

بهبود ویژگی‌های کیفی کامکوات نیمه مرطوب با فرآیندهای آبگیری اسمزی و اولتراسونیک

زهره کرمی^۱، زهرا امام جمعه^۲، علیرضا صادقی ماهونک^{۳*} و فرزانه شهریار^۴

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۰/۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه تهران

^۳ دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۴ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد ورامین

*مسئول مکاتبه: Email: sadeghiaz@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، روش سطح پاسخ به منظور تعیین کردن نقاط بهینه‌ی فرایند آبگیری اسمزی - اولتراسونیک میوه کامکوات جهت دستیابی به بیشینه‌ی کاهش محتوای رطوبتی ماده‌ی غذایی، ترکیبات فنولی و همچنین کمینه‌ی جذب مواد جامد از محلول اسمزی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی (EC_{50} ٪) مورد استفاده قرار گرفت. درجه حرارت ($40, 50, 60^{\circ}C$)، مدت زمان فرایند (۴، ۷، ۱۰ ساعت)، غلظت شربت ساکارز (۶۰٪، ۵۰، ۴۰ حجمی/وزنی) و شدت فرکانس (۱۳۰، ۳۵، ۰ KHz) فاکتورهایی بودند که تاثیر آنها بر ویژگی‌های کامکوات طی آبگیری اسمزی - اولتراسونیک مورد ارزیابی قرار گرفت. در آزمایش‌های انجام شده نسبت محلول اسمزی به نمونه ۱/۱۰ (وزنی/وزنی) در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها بر اساس طرح کامپوزیت مرکزی با در نظر گرفتن سه سطح شامل نقاط مرکزی و محوری برای هر یک از فاکتورهای یاد شده، انجام شد. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که تاثیرات خطی هر چهار متغیر مستقل دما، زمان، غلظت شربت ساکارز و شدت فرکانس بر روی کاهش محتوای رطوبتی ماده‌ی غذایی، جذب مواد جامد از محلول اسمزی، میزان ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). برای هر پاسخ با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های چند جمله‌ای درجه‌ی دوم به دست آمد. آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور ارزیابی صحت و دقت مدل‌های به دست آمده اجرا گردید.

واژه‌های کلیدی: کامکوات، روش اسمز اولتراسونیک، ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی

Optimizing quality characteristics of semiwet kumquat with osmotic-ultrasonic methods

Z Karami¹, Z Emam-Djomeh², A Sadeghi Mahoonak³ and F Shahryari⁴

Received: December 24, 2011 Accepted: September 23, 2012

¹MSc, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

²Associate Professor, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

³ Associate Professor, Faculty of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

⁴ MSc Graduate, Faculty of Food Science and Technology University of Varamin, Varamin Iran

*Corresponding author: Email: sadeghiaz@yahoo.com

Abstract

In this study, response surface methodology was used to optimize the osmotic-ultrasonic drying condition to achieve maximum water loss, phenolic compounds and minimum solid gain and %EC₅₀. Temperature (40, 50 and 60°C), processing time (4, 7 and 10h), sucrose syrup concentration (40, 50 and 60% v/w) and frequency (0, 35 and 130 KHz) were the investigated factors influencing kumquat properties during the osmotic-ultrasonic drying. The liquid medium to fruit ratio was 10:1 (weight basis). Experiments were designed according to the central composite rotatable design. Results showed that the linear effects of temperature, processing time, sucrose syrup concentration and frequency on water loss, solid gain, phenolic compound and EC₅₀ were statistically significant (p<0.05). For each response, second-order polynomial models were developed using multiple linear regression analysis. Analysis of variance was performed to check the adequacy and accuracy of the fitted models.

Keywords: Kumquat, Osmotic-ultrasonic method, Phenolic compound, Antioxidant activity

مقدمه

میوه‌های مرکبات متعلق به تیره گیاه‌شناسی روتاسه^۱ و زیرتیره اورانتیواید^۲ هستند و به ۳ نوع سیتروس^۳، فورچونلا^۴ (کامکوات^۵) و نارنج سه برگ^۶ تقسیم می‌شوند. در میوه‌های مرکبات فقط همین ۳ نوع جنس وجود داشته و این جنس‌ها نیز دارای ۱۸ گونه^۷ مشخص هستند (دنگ و همکاران ۱۹۹۱). البته دورگه‌ها و نیز درختان جهش یافته

زیادی نیز در مرکبات دیده شده است و این موضوع دلیل پراکندگی وسیع میوه‌های مرکبات را در سراسر جهان بازگو می‌کند. کامکوات‌ها در جنس فورچونلا واقع شده‌اند و گروه کوچکی از مرکبات را شامل می‌شوند. این درختان در ابتدا تا حدود سال ۱۹۱۵ در جنس سیتروس قرار می‌گرفتند، ولی سوییگل در سال ۱۹۱۵ این درختان را در جنس فورچونلا قرار داد (ایواهوری و تومیناگا ۱۹۸۶). این جنس ۶ گونه آسیایی را در بر می‌گیرد. واژه عمومی کامکوات در زبان چینی به معنی نارنج طلایی^۷ می‌باشد. واژه‌های معادل آن در زبان ژاپنی کین‌کان یا کین‌کیت برای انواع گرد و توکین‌کان

¹Rutaceae
²Aurantioideae
³Citrus
⁴Fortunella
⁵Kumquat
⁶PoncirusTrifoliata

⁷ Gold orange

مکانیسم مکانیکی می‌توانند نسبت به کشش سطحی که آب را در لوله‌های موئینه میوه نگه می‌دارد، بیشتر شده و با ایجاد کانال‌های ماکروسکوپی در میوه، باعث حذف آسان آب از میوه شده و لذا عمل خشک کردن را می‌توان در حرارت‌های پایین انجام داد (سیمال و همکاران ۱۹۹۸؛ فرناندس و همکاران ۲۰۰۷). تیمار آبیگری اسمزی به تنهایی یا همراه با فرایند اولتراسونیک به عنوان یک پیش‌فرایند یک فرایند ملایم مقداری از رطوبت محصول را کاهش داده و ماده غذایی با رطوبت کمتر وارد مرحله خشک کردن تکمیلی می‌گردد که در نتیجه با کاهش مدت زمان حرارت‌دهی و کاهش درجه حرارت به کار رفته با حداقل صدمات وارده به ماده غذایی همراه خواهد شد (لین و همکاران ۲۰۰۸). پیش‌فرایند اسمز- اولتراسونیک به عنوان یک روش آبیگری نسبی^۲ می‌تواند روش مناسبی برای کاهش زمان خشک کردن باشد. از آنجائیکه در این روش، خروج آب در درجه حرارت‌های پائین و بدون تغییر فاز صورت می‌گیرد، تاثیر مثبتی بر فاکتورهای کیفی محصول از قبیل عطر و طعم و رنگ خواهد داشت. از جمله مهم‌ترین مشکلات محصولات خشک شده در صنایع غذاهای آماده، مسئله‌ی عدم غوطه‌وری و دانسیته‌ی پائین آنهاست که قابلیت بازجذب آب را تحت تاثیر قرار داده و درجه‌ی مرغوبیت محصول را کاهش می‌دهد. با انجام پیش‌فرایند اسمز می‌توان این معضل را تا حد زیادی حل نمود (فرناندس و رودرگویس ۲۰۰۷).

هدف از این مطالعه بررسی تاثیر زمان، دما، غلظت محلول اسمزی و شدت فرکانس اولتراسونیک روی میزان از دست دادن آب^۳، میزان جذب مواد جامد^۴، خصوصیات بافتی و تغییرات ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی کامکوات نیمه مرطوب است. اثرات گفته

برای انواع تخم‌مرغی شکل هستند (دنگ و همکاران ۱۹۹۱). گیاه کامکوات درختی کندرشد، متراکم با فرم درختچه‌ای است که ۲/۴ تا ۴/۵ متر ارتفاع دارد. شاخه‌ها سبز روشن بوده و موقع جوانی زاویه‌دار هستند. برگ‌های کامکوات ساده و به صورت متناوب روی شاخه‌ها آراسته شده‌اند. این برگ‌ها نیزه‌ای شکل و به اندازه ۳ تا ۸/۵ سانتی‌متر طول هستند. پوست میوه زردطالی تا نارنجی متمایل به سرخ که گوشتی نیز می‌باشد دیده می‌شود. پوست میوه کامکوات دارای غدد روغنی مشخصی بوده و ضخیم است. این پوست که محکم به گوشت چسبیده است، خوراکی بوده و لایه بیرونی معطر و لایه درونی آن شیرین است. کل میوه کامکوات- های تازه را می‌توان به صورت خام مصرف کرد. برای فرآوری بایستی مدتی میوه نگهداری شود تا مقداری از آب خود را از دست داده و طعم بیشتری بگیرد (ایواهوری و تومیناگا ۱۹۸۶).

استفاده از بهترین روش‌های خشک کردن و انجام عملیات صحیح اهمیت زیادی دارد. روش‌های سنتی خشک کردن مواد غذایی اثر منفی بر کیفیت فرآورده‌ها مانند افزایش چروکیدگی بافت، سخت شدن سطح محصول، تغییرات نامطلوب در رنگ، عطر، طعم و کاهش ارزش غذایی باقی می‌گذارد. یکی از نوآوری‌ها در خشک‌کردن مواد غذایی، خشک‌کردن اولتراسونیک است. در این روش، محصول توسط موج‌های صوتی با شدت بالا و فرکانس کم در دامنه‌ی دمایی پایین ۱۴۰ تا ۲۰۰ درجه فارنهایت خشک می‌شود. این موج‌های صوتی نیرومند، ضرایب انتقال گرما و جرم را در لایه‌ی مرزی محصول افزایش داده و باعث جدا شدن مایع از جامد می‌گردد. امواج اولتراسونیک می‌توانند باعث ایجاد یکسری انقباض و انبساط‌های سریع و متوالی در محیط شوند که این پدیده باعث ایجاد فشار بر ماده و حذف متوالی آن^۱ می‌شود. نیروهای حاصل بوسیله این

^۲Partial dehydration^۳Water loss^۴Solid gain^۱Sponge effect

در این آزمایش‌ها برای تهیه‌ی محلول‌های اسمزی از ساکارز و آب مقطر استفاده شد. این محلول‌ها جمعاً در سه غلظت آماده شدند. غلظت‌های انتخاب شده برای محلول‌های اسمزی ۴۰، ۵۰ و ۶۰٪ بود.

تیمار اسمزی

کامکوات‌های تازه با آب شسته شده و پس از خشک شدن با دستمال، توزین گردیدند. نمونه‌ها با رعایت نسبت ۱ به ۱۰ (میوه به محلول) به بشر حاوی محلول اسمزی اضافه گردیدند. این پیش فرایند در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C انجام گرفت (امام جمعه و علاءالدینی، ۲۰۰۴).

تیمار اسمزی همراه با اولتراسوند

در این تیمار نیز در ابتدا همانند تیمار اسمزی عمل شد سپس بشرهای حاوی محلول اسمزی در حمام اولتراسوند قرار گرفتند. تیمار اولتراسوند در دو سطح فرکانس ۳۵ و ۱۳۰ کیلو هرتز با توان ۱۰۰٪ اعمال شد. این فرایند نیز در سه دمای ۴۰، ۵۰ و ۶۰°C انجام گرفت.

اندازه‌گیری میزان آبگیری و جذب مواد جامد

هم نمونه‌های تیمار اسمزی و هم نمونه‌های تیمار اولتراسوند پس از سپری شدن ۲، ۴ و ۶ ساعت، از محلول اسمزی خارج شدند. سپس با آب مقطر شسته شده و آب اضافی آن‌ها حذف و وزن آن‌ها یادداشت گردید و سپس میزان از دست دادن آب (معادله ۱) و میزان جذب مواد جامد (معادله ۲) بدست آمد (امام جمعه و علاءالدینی، ۲۰۰۴).

$$SG = \frac{(W_s - W_t)}{W_0} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

SG: درصد جذب مواد جامد

W_s : وزن خشک نمونه پس از اسمز

W_t : وزن خشک شاهد

W_0 : وزن اولیه نمونه

شده توسط روش سطح پاسخ^۱ بهینه‌سازی^۲ خواهد شد.

مواد و روش‌ها

مواد مصرفی

کامکوات از مناطق شمال ایران خریداری شد. ساکارز، DPPH^۳، متانول، کربنات سدیم و فولین سیوکالته^۴ نیز از شرکت مرک آلمان خریداری شدند.

آماده‌سازی نمونه

کامکوات پس از خریداری و تا زمان فرایند در یخچال با دمای سه درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. میوه یک ساعت قبل از فرایند از یخچال خارج شد و در معرض دمای محیط قرار گرفت و به منظور جداسازی مواد خارجی مثل گرد و خاک بخوبی شسته شد. میوه‌ها بر اساس درجه رسیدگی، اندازه و رنگ یکنواخت دسته‌بندی شده و کامکوات‌های نرسیده و آسیب‌دیده جدا گردیدند.

مرحله تعیین ماده‌ی خشک کامکوات

نمونه‌های کامکوات که هیچ‌گونه فرایندی بر روی آنها انجام نگرفته بود، پس از وزن کردن، در آون با دمای ۵۵°C تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. نهایتاً نمونه‌ها از آون خارج شده و برای جلوگیری از جذب رطوبت محیط در دسیکاتور قرار گرفتند. پس از گذشت ده دقیقه نمونه‌ها مجدداً وزن شده و میزان ماده‌ی خشک کامکوات از فرمول زیر محاسبه گردید. این آزمون سه مرتبه تکرار شده، ارقام به دست آمده در فرمول قرار گرفت و میانگین آنها به عنوان وزن خشک کامکوات در معادله زیر قرار گرفت.

۱۰۰ × (وزن شاهد قبل از آون / وزن شاهد بعد از آون) = وزن خشک

روش تهیه و آماده‌سازی محلول‌های اسمزی

^۱Response Surface Methodology

^۲Optimization

^۳2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

^۴Folin-Ciocalteu

صورت میلی‌گرم در گرم نمونه خشک بیان گردید (لین و تانگ، ۲۰۰۷).

تعیین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ابتدا غلظت‌های گوناگونی از محلول متانولی ۲۰۲- دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل (DPPH) تهیه و جذب آنها توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۵۱۵ nm اندازه‌گیری شد و منحنی استاندارد آن بدست آمد. سپس ۳/۹ CC متانول با ۰/۱ آبیوه مخلوط و جذب آن در طول موج ۵۱۵ nm پس از رسیدن به حالت پایدار خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد غلظت ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل در این جذب بدست آمده و تحت عنوان مقدار ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل در زمان صفر در نظر گرفته شد. پس از آن ۳/۹ CC از محلول متانولیک ۲۵ میلی‌گرم در لیتر از ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل با ۰/۱ آبیوه مخلوط و پس از گذشت نیم ساعت مقدار جذب آن در طول موج ۵۱۵ nm در حالت پایدار خوانده و به عنوان مقدار ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل در زمان t در نظر گرفته شد. آنگاه مقدار ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل باقیمانده از رابطه زیر بدست آمد:

$$\%DPPH_{Rem} = \frac{[DPPH]_t}{[DPPH]_{of\ controlsample}}$$

آزمون آخر با غلظت‌های مختلف عصاره تا زمانی تکرار گردید که درصد ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل باقیمانده به ۵۰ برسد. مقدار غلظت عصاره که باعث کاهش ۵۰ درصدی غلظت ۲۰۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل شد تحت عنوان غلظت مؤثر (EC₅₀) بیان گردید که نمودی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره است. لازم به ذکر است که تنظیم صفر دستگاه اسپکتروفوتومتر ابتدا با متانول خالص انجام گرفت (کم و همکاران، ۲۰۰۹).

$$WL = \left[\frac{W_0 - W_{0s}}{W_0} \times 100 \right] + SG \quad (2) \text{ معادله}$$

WL: میزان از دست دادن آب

W_{0s}: وزن نمونه پس از اسمز

آماده‌سازی عصاره

به منظور محاسبه فعالیت آنتی‌اکسیدانی، نمونه‌های آبیگری شده با استفاده از آسیاب خانگی، آسیاب شدند. سپس نمونه‌ها به نسبت ۱۰ به ۱ با متانول و به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد داخل شیکر مخلوط شدند. سپس مخلوط با کاغذ صافی شماره یک صاف شد و عصاره در آون تحت خلا N-1000S, Eyela, (Tokyo, Japan) به منظور از دست دادن متانول قرار گرفت (لین و همکاران، ۲۰۰۸).

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی کل

مقدار کل ترکیبات فنولی موجود در عصاره کامکوات توسط رنگ‌سنجی و به روش فولین-سیوکالته مورد بررسی قرار گرفت. در این روش مقدار کل ترکیبات فنولی بر اساس یک ترکیب فنولی انتخاب شده، بیان می‌گردد. در اغلب مواقع این ترکیب اسید گالیک بوده و نتایج آن به صورت اکی‌والانت اسید گالیک بیان می‌گردد. پس از تهیه عصاره‌ها، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره در لوله آزمایش ریخته شد، سپس ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر به عصاره اضافه کرده و با ۱۰۰ میکرولیتر معرف فولین-سیوکالته (که به نسبت ۱:۱۰ با آب مقطر رقیق شده بود) و ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۲ درصد به خوبی مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۷۵۰ نانومتر خوانده شد. مقدار کل ترکیبات فنولی با استفاده از معادله خط بر مبنای اسید گالیک^۱ رسم شده و به

^۱Gallic acid

روش‌های انجام تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، از نرم‌افزار آماری Minitab 16 برای اعمال RSM بر روی داده‌ها استفاده شد. متغیرهای مستقل که برای استفاده در RSM مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از: زمان فرآیند اسمز در سه سطح (۴، ۷ و ۱۰ ساعت)، درجه حرارت در سه سطح (۶۰-۵۰-۴۰-۳۵ و ۳۰ کیلوهرتز) و غلظت شربت ساکارز در سه سطح (۴۰، ۵۰ و ۶۰٪). همچنین متغیرهای وابسته عبارت بودند از: SG، WL، میزان ترکیبات فنولیک و EC₅₀٪. طرح آماری مورد نظر با انتخاب طرح کامپوزیت مرکزی، تعداد فاکتور چهار، بدون بلوک و تکرار، آلفا= یک و تعداد RUN= ۳۱ ریخته شد. سطوح بالا (+۱) و میانی (۰) و پایینی (-۱) برای فاکتورها مطابق جدول ۱ انتخاب گردیدند.

نتایج و بحث

بررسی داده‌ها توسط روش سطح پاسخ طرح ریزی و به دست آوردن داده‌ها در نقاط تعیین شده

با توجه به نقاط تعریف شده در طرح RSM، آزمون‌های مربوطه انجام شد. در جدول ۲ نتایج به دست آمده از انجام آزمون‌های تعیین میزان SG، WL، ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در مرحله‌ی بعدی داده‌های به دست آمده از آزمون‌های مختلف توسط روش سطح پاسخ آنالیز گردیدند. ضرایب رگرسیونی تخمین زده شد و جدول‌های تجزیه‌ی واریانس برای هر یک از پاسخ‌ها مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۱- سطوح انتخاب شده برای فاکتورها

فاکتورها/سطوح	پایین (-۱)	میانی (۰)	بالا (+۱)
زمان (ساعت)	۴	۷	۱۰
دما (درجه سانتی‌گراد)	۴۰	۵۰	۶۰
فرکانس (کیلوهرتز)	۰	۳۵	۱۳۰
غلظت شربت ساکارز (٪)	۴۰	۵۰	۶۰

جدول ۲- نتایج آزمون‌ها در نقاط مشخص شده با طرح کامپوزیت مرکزی

EC ₅₀ %	ترکیبات فنولیک	جذب مواد جامد	میزان از دست دادن آب	زمان	فرکانس	غلظت	دما	بلوک	تیمار
۰/۰۵۵۱	۵/۰۴	۱۳/۰۶۸۹	۱۸/۰۱۰۸	-۱	-۱	-۱	۱	۱	۱
۰/۰۳۷۹	۴/۸۵	۳/۵۶۶۹	۶/۶۸۷۸	-۱	-۱	-۱	-۱	۱	۲
۰/۰۳۵۵	۳/۱۹	۳۷/۸۰	۴۱/۸۶۸۵	۱	-۱	۱	-۱	۱	۳
۰/۰۳۱۸	۴/۲	۱۴/۹۱۳۱	۲۴/۵۸۶۳	۰	۰	۰	۰	۱	۴
۰/۰۳۱۶	۳/۴	۱۳/۰۸۳۷	۲۴/۷۸۰۵	۰	۰	۰	۰	۱	۵
۰/۰۳۲	۴/۲۷	۱۲/۵۱۳۲	۲۳/۷۹۴۵	۰	۰	۰	۰	۱	۶
۰/۰۴۴۳	۲/۳۵	۴۱/۷۰۹۶	۴۷/۱۹۶۳	۱	۱	۱	-۱	۱	۷
۰/۰۴۵۱	۳/۹۵	۷/۹۹۳۵	۱۰/۶۷۸۱	-۱	۱	-۱	-۱	۱	۸
۰/۰۴۸۶	۳/۰۱	۱۲/۳۳۴	۱۳/۹۵۳	-۱	۱	۱	-۱	۱	۹
۰/۰۳۰۱	۳/۶۵	۸/۵۵۰	۱۴/۲۰۳۸	۰	-۱	۰	۰	۱	۱۰
۰/۰۴۱۱	۳/۵۹	۴۱/۴۹۲۵	۵۸/۴۷۰۴	۱	۱	-۱	۱	۱	۱۱
۰/۰۳۳۵	۳/۵۲	۱۰/۱۶۱۴	۱۳/۲۶	۰	۰	۰	۰	۱	۱۲
۰/۰۲۸۶	۴/۰۷	۲۲/۰۶۶۹	۲۴/۵۶۲۱	۱	-۱	-۱	-۱	۱	۱۳
۰/۰۳۲۲	۴/۲۵	۱۶/۷۸۸۷	۲۷/۵۰۳۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱۴
۰/۰۴۴۵	۳/۳۱	۶/۳۷۵۹	۹/۶۷۲۶	-۱	-۱	۱	-۱	۱	۱۵
۰/۰۳۶۸	۴/۴	۳۴/۲۱۰۶	۴۷/۹۷۶۴	۰	۰	۰	۱	۱	۱۶
۰/۰۵۸۵	۳/۷۶	۳۵/۵۳۵۰	۴۰/۳۰۶۸	۰	۱	۰	۰	۱	۱۷
۰/۰۲۸۸	۳/۸۶	۲۴/۲۴۴۸	۲۷/۷۶۰۵	۰	۰	۰	-۱	۱	۱۸
۰/۰۳۹۲	۳/۹۵	۴۱/۸۰۳۷	۵۹/۲۸۶۹	۱	-۱	۱	۱	۱	۱۹
۰/۰۲۷۷	۳/۶۳	۱۷/۰۴۰۷	۲۱/۳۳۳۲	-۱	۰	۰	۰	۱	۲۰
۰/۰۶۵۴	۳/۸۶	۲۴/۰۴۰۱	۳۰/۴۲۹۰	-۱	۱	-۱	۱	۱	۲۱
۰/۰۳۱۸	۴/۲۱	۲۱/۸۲۴۸	۳۰/۳۸۶۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲۲
۰/۰۳۲۱	۴/۳۲	۱۹/۷۹۰۶	۲۸/۲۵۸۸	۰	۰	۰	۰	۱	۲۳
۰/۰۷۴۴	۴/۰۳	۳۶/۸۴۲۳	۴۳/۷۳۸۹	-۱	۱	۱	۱	۱	۲۴
۰/۰۲۰۸	۳/۶۳	۲۹/۹۱۲۵	۳۱/۶۳۹۶	۱	۱	-۱	-۱	۱	۲۵
۰/۰۵۴۴	۴/۱۵	۳۳/۰۱۶۹	۳۹/۸۸۵۶	-۱	۱	-۱	۱	۱	۲۶
۰/۰۲۹۸	۳/۵۴	۲۰/۱۴۵۰	۲۹/۶۲۴۵	۰	۰	۱	۰	۱	۲۷
۰/۰۵۶۵	۳/۲۴	۳۷/۹۷۴۲	۴۵/۶۷۶۹	۰	۱	۰	۰	۱	۲۸
۰/۰۲۲۳	۳/۸۵	۱۶/۷۳۷۷	۲۱/۷۶۳۷	۰	-۱	۰	۰	۱	۲۹
۰/۰۴۶۸	۳/۵۸	۴۸/۴۴۵	۷۶/۰۶۰۳	۱	۱	۱	۱	۱	۳۰
۰/۰۳۶۵	۴	۳۳/۳۰۵	۵۴/۴۴	-۱	-۱	۱	۱	۱	۳۱

جدول ۳ - جدول تجزیه واریانس برای میزان از دست دادن آب، جذب مواد جامد، ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

EC ₅₀		ترکیبات فنولیک		جذب مواد جامد		از دست دادن آب		درجه آزادی	
عدد p	ضرایب رگرسیون	عدد p	ضرایب رگرسیون	عدد p	ضرایب رگرسیون	عدد p	ضرایب رگرسیون		
۰/۰۰۰	۰/۰۳۲۶	۰/۰۰۰	۳/۹۹	۰/۰۰۰	۱۸/۵۷۲۵	۰/۰۰۰	۲۶/۵۶۷	۱۴	مدل
۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۲۴۳	۰/۰۰۱	۶/۶۷۸۷	۰/۰۰۰	۱۱/۹۰۴۷	۱	X ₁
۰/۰۰۰	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۲۱۹	۰/۰۰۰	۹/۰۲۲۵	۰/۰۰۰	۱۲/۷۰۹۱	۱	X ₂
۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۳۳۵	۰/۰۰۲	۵/۷۸۴۴	۰/۰۰۱	۶/۷۰۲۹	۱	X ₃
۰/۰۱۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۲۷۷	۰/۰۱۵	۴/۳۷۴۸	۰/۰۱۳	۴/۶۵۸۳	۱	X ₄
۰/۹۳۲	۰/۰۰۰	۰/۱۰۶	۰/۳۳۵	۰/۱۰۸	۷/۱۶۶۶	۰/۰۵۵	۹/۰۶۸۶	۱	X ₁ ²
۰/۳۱۹	-۰/۰۰۴	۰/۲۸۷	۰/۲۱۵	۰/۴۲۳	-۳/۴۶۸۲	۰/۴۶۰	-۳/۳۲۰۹	۱	X ₂ ²
۰/۱۷۷	۰/۰۰۶۱	۰/۲۱۱	۰/۲۵۴	۰/۲۲۷	۵/۲۹۴۹	۰/۲۷۹	۴/۹۲۰۵	۱	X ₃ ²
۰/۰۲۲	۰/۰۱۱	۰/۶۳۲	۰/۰۹۵	۰/۹۹۷	-۰/۰۱۸۵	۰/۷۳۰	-۱/۵۴۴۵	۱	X ₄ ²
۰/۱۸۷	-۰/۰۰۲	۰/۹۵۴	۰/۰۰۴	۰/۱۳۲	-۲/۶۹۶۵	۰/۶۷۹	۰/۷۴۵۲	۱	X ₁ X ₂
۰/۴۱۰	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۲۴۱	۰/۶۲۵	۰/۸۴۴۸	۰/۵۲۳	۱/۱۵۵۸	۱	X ₁ X ₃
۰/۲۹۹	۰/۰۰۱۸	۰/۷۴۷	۰/۰۲۵	۰/۷۸۶	۰/۴۶۸۰	۰/۵۷۰	۱/۰۲۴۶	۱	X ₁ X ₄
۰/۴۷۹	۰/۰۰۱۲	۰/۴۴۵	۰/۰۶۱	۰/۹۱۱	۰/۱۹۲۸	۰/۶۳۱	۰/۸۶۵۶	۱	X ₂ X ₃
۰/۳۲۷	-۰/۰۰۱	۰/۷۲۷	۰/۰۲۷	۰/۹۶	۰/۰۸۷۴	۰/۷۶۳	۰/۵۴۱۳	۱	X ₂ X ₄
۰/۳۶۵	۰/۰۰۱۶	۰/۳۱۸	۰/۰۸۱	۰/۶۸۸	-۰/۶۹۳۸	۰/۹۲۴	۰/۱۷۰۲	۱	X ₃ X ₄
۰/۰۰۰		۰/۳۶۱		۰/۰۶۳		۰/۲۰۴		10	Lack of fitness
	۰/۸۳۷		۰/۸۱۴		۰/۸۴۴		۰/۹۰۳		R ²
	۰/۶۹۴		۰/۶۵۱		۰/۷۰۷		۰/۸۱۸		R ² -Adj
	۰/۰۰۷		۰/۳۱۴		۶/۷۸۸		۷/۰۷۲		CV

X₁ درجه اول، X₁² درجه دوم، X₁X₂ واکنش بین متغیرها (۱. دما، ۲. زمان، ۳. غلظت ساکارز، ۴. فرکانس)

بررسی اثر متقابل فاکتورهای موثر بر میزان از دست

دادن آب و جذب ساکارز

مدل‌های به دست آمده برای هر یک از پاسخ‌ها در سطح ۵٪ معنی‌دار و به قرار زیر می‌باشند:

$$WL = 11/904 + 26/567 \cdot X_1 + 12/7091 + X_2 + 6/7029 + X_3 + 4/6583 + X_4 + 9/686 + X_1^2$$

معادله ۳

$$SG = 6/6787 + 18/5725 \cdot X_1 + 9/0225 + X_2 + 5/7844 + X_3 + 4/3748 + X_4$$

معادله ۴

معادلات ۳ و ۴، توصیف کننده اثر متغیرهای آگیری اسمزی-اولتراسونیک بر روی میزان از دست دادن آب (WL) و جذب مواد جامد (SG) نمونه‌های کامکوات

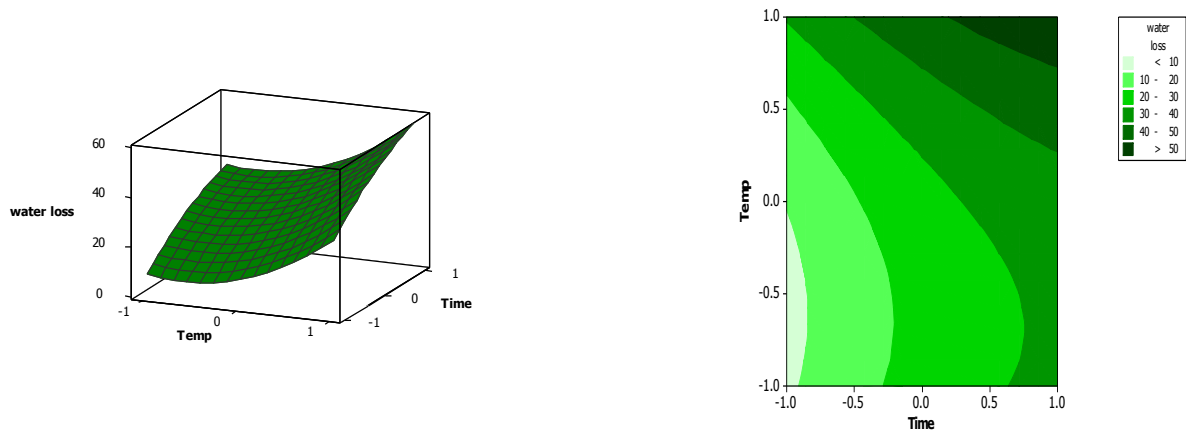
دهیدراته می‌باشد. بالا بودن ضریب همبستگی و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای هر ۲ پاسخ، صحت مدل را برای برازش اطلاعات تایید می‌کند. ضریب همبستگی بالا (۰/۹۰ و ۰/۸۴) نشان می‌دهد که این مدل به خوبی توانسته نتایج به دست آمده را پیش بینی کند. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار سه بعدی سطح پاسخ رسم شده توسط مدل استفاده شد. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالتی که متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار دارد بررسی گردیده است.

اثر تغییر دما، زمان فرآیند، غلظت ساکارز و فرکانس بر روی WL در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است. همانطور که از مطالعه شکل ۱ و جدول ۳ بر می‌آید

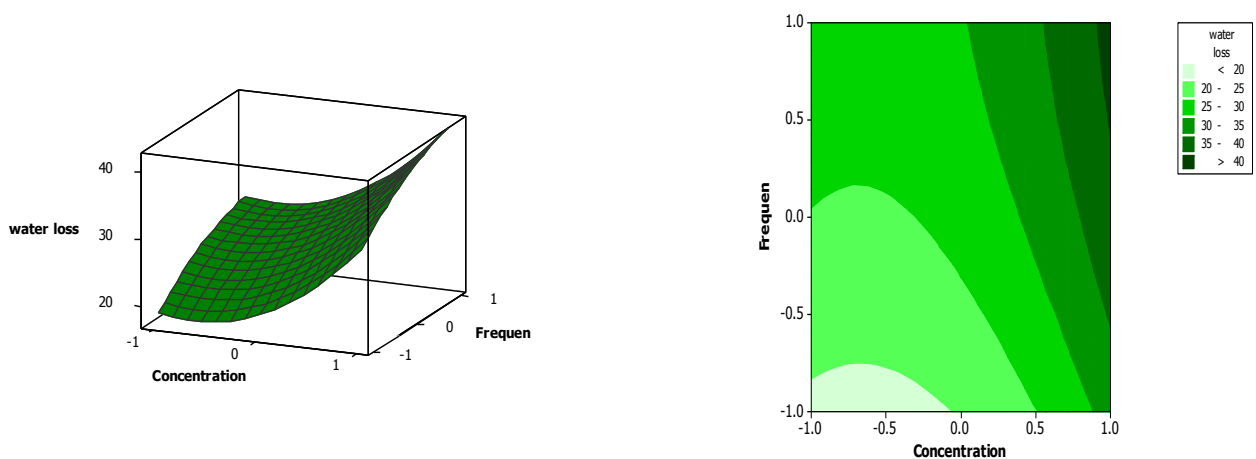
میکروکانال‌هایی در میوه را به همراه دارد که باعث افزایش از دست دادن آب نسبت به اسمز بدون اولتراسوند می‌گردد. با افزایش فرکانس اولتراسوند از ۳۵ kHz به ۱۳۰ kHz به دلیل تخریب بیشتر دیواره سلولی از دست دادن آب افزایش می‌یابد (راستوگی و همکاران ۲۰۰۲).

همانطور که از مطالعه شکل ۳ و جدول ۳ بر می‌آید اثر زمان و دما بر جذب مواد از لحاظ آماری معنی‌دار است و با افزایش هر دو میزان جذب مواد نیز افزایش می‌یابد. در مورد اثر همزمان غلظت ساکارز و شدت فرکانس نیز همانطور که از مطالعه شکل ۴ بر می‌آید اثر غلظت ساکارز و شدت فرکانس بر جذب مواد معنی‌دار است و با افزایش هر دو میزان جذب مواد نیز افزایش می‌یابد. با افزایش غلظت ساکارز، تشکیل کانال‌های میکروسکوپی با درجه معنی‌داری از تخریب سلولی همراه می‌شود. اکثر سلولها به شدت تخریب شده و حلالیت پکتین با کاهش قدرت دیواره سلولی همراه می‌شود. بنابراین جذب مواد جامد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (سیمال و همکاران ۱۹۹۸).

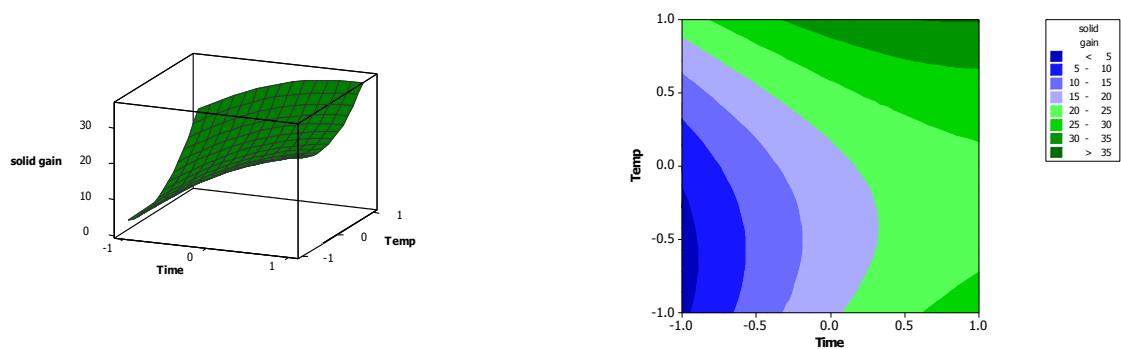
اثر زمان و دما بر خروج آب از لحاظ آماری معنی‌دار است ($P < 0.05$) و با افزایش هر دو میزان خروج آب نیز افزایش می‌یابد. با افزایش درجه حرارت میزان آب خارج شده از بافت ماده غذایی افزایش می‌یابد که این امر با توجه به قانون آرنیوس قابل توجیه است. علاوه بر آن با افزایش دما به دلیل کاهش ویسکوزیته در محلول اسمزی ضریب انتقال جرم از طریق جابجایی افزایش می‌یابد و بنابراین انتقال جرم بیشتر می‌شود (ایسپیر و تگرو ۲۰۰۹). با توجه به اینکه اعمال دمای بالا در آبگیری اسمزی چندان مطلوب نیست، بنابراین کاربرد زمان طولانی‌تر در دمای پایین توصیه می‌شود (ایسپیر و تگرو ۲۰۰۹). در مقادیر پایین دما با افزایش دما مقدار WL به آرامی و در مقادیر بالای دما با افزایش دما مقدار WL به تندی افزایش پیدا می‌کند. این موضوع می‌تواند به این دلیل توجیه شود که انتقال جرم در دمای پایین کند می‌باشد. مطالعه شکل ۲ و جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر فرکانس و غلظت بر خروج آب از لحاظ آماری معنی‌دار است و با افزایش هر دو میزان خروج آب نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر این است که علت از دست دادن آب در فرایند اسمز وجود گرادیان اسمزی است و با افزایش غلظت قند این گرادیان افزایش می‌یابد و انتقال جرم بیشتر صورت می‌گیرد. فابینو^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که میزان WL با افزایش زمان فرآیند و با افزایش میزان مواد جامد محلول اسمزی افزایش می‌یابد. همان‌طور که قبلاً اشاره شده است استفاده از فرایند اولتراسوند موجب ایجاد پدیده کاویتاسیون در محیط اسمزی می‌شود و این پدیده منجر به ایجاد انقباض و انبساط‌های متوالی و سریع و تولید و اضمحلال حباب در محلول اسمزی می‌شود که تمامی این موارد ایجاد فشار موضعی در جهت گرادیان اسمزی، گرم شدن محیط اسمزی، هم زنی محیط، کاهش لایه مرزی اطراف میوه و ایجاد



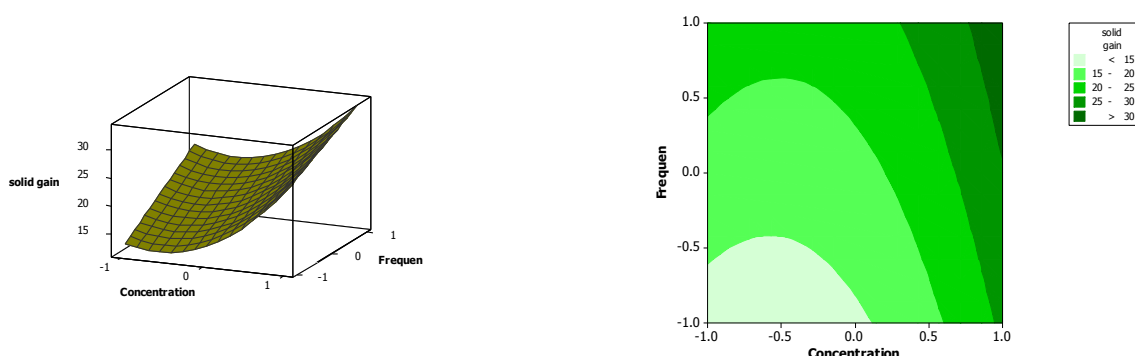
شکل ۱- نمودار خطی و سطحی از دست دادن آب (%) در برابر زمان (ساعت) و دما (درجه سانتی‌گراد) (در فرکانس ۳۵ کیلوهرتز، غلظت ۵۰٪)



شکل ۲- نمودار خطی و سطحی از دست دادن آب (%) در برابر فرکانس (کیلوهرتز) و غلظت (%) (در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۷ ساعت)



شکل ۳- نمودار خطی و سطحی جذب ساکارز (%) در برابر زمان (ساعت) و دما (درجه سانتی‌گراد) (در غلظت ۵۰٪ و فرکانس ۳۵ کیلوهرتز)



شکل ۴- نمودار خطی و سطحی جذب ساکارز (%) در برابر فرکانس (کیلوهرتز) غلظت ساکارز (%) (دمای ۵۰ درجه سانتی گراد و زمان ۷ ساعت)

باشد. بنابراین بالابودن ضریب تبیین ومعنی‌دار نبودن عدم برازش برای آن، صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند.

ضریب رگرسیون مناسب ($R^2_{\text{phenolic Compounds}} = 0.814$)، ضریب $R^2_{\text{EC50}} = 0.837$ نشان می‌دهد که مدل به‌طور نسبتاً مناسبی توانسته نتایج به دست آمده را پیش‌بینی کند. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته از نمودار سه بعدی سطح پاسخ رسم شده توسط مدل استفاده شد. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالتیکه متغیر سوم در نقطه مرکزی قرار دارد بررسی گردیده است.

میزان ترکیبات فنولی در کامکوات خام mg/gr $3/713$ می‌باشد. نتایج نشان داد، با کاهش میزان ترکیبات فنولی، میزان EC_{50} افزایش می‌یابد. با کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، میزان نمونه‌ای که لازم است تا غلظت اولیه DPPH را به ۵۰٪ برساند افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی رابطه مستقیم و شدیدی با میزان ترکیبات فنولی ماده مورد نظر دارد (مویر و همکاران ۲۰۰۲ و وانگ و همکاران ۱۹۹۷). همانطور که در شکل ۵ و جدول ۳ ملاحظه می‌شود اثر زمان و دما بر روی میزان ترکیبات فنولیک از لحاظ آماری معنی‌دار است و با

آنالیز سطح پاسخ ترکیبات فنولیک و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ بررسی گردید. آنالیز سطح پاسخ داده‌ها در جدول ۳، روابط بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ترکیبات فنولیک و پارامترهای دما، زمان، فرکانس و غلظت ساکارز را به صورت خطی نشان می‌دهد. همچنین در میان اثرات درجه دوم، فرکانس بیشترین تاثیر معنی‌دار را بر روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی داشت ($P < 0.05$). در مورد اثرات متقابل دما و غلظت، اثر معنی‌داری بر روی ترکیبات فنولیک نشان دادند ($P < 0.05$). معادلات ۵ و ۶ روابط بین ترکیبات فنولیک، فعالیت آنتی‌اکسیدانی (EC_{50}) و پارامترهای آبیگری اسمزی-اولتراسونیک کامکوات را نشان می‌دهند.

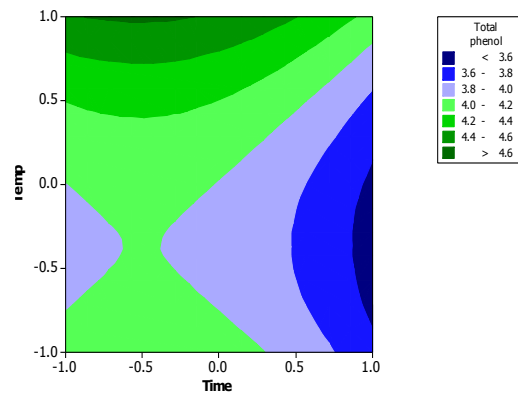
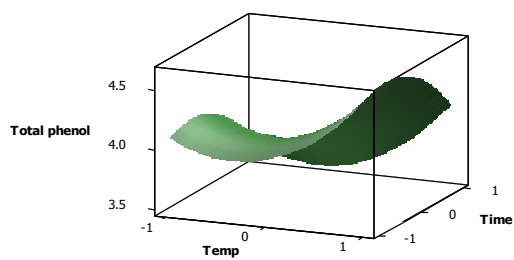
$$Y_3(\text{Total phenol}) = 3/99 + 0/242 X_1 - 0/219 X_2 - 0/335 X_3 - 0/247 X_4 - 0/241 X_1 X_3 \quad \text{معادله ۵}$$

$$Y_4(\%EC_{50}) = 0/326 + 0/064 X_1 - 0/007 X_2 + 0/005 X_3 - 0/046 X_4 + 0/011 X_4^2 \quad \text{معادله ۶}$$

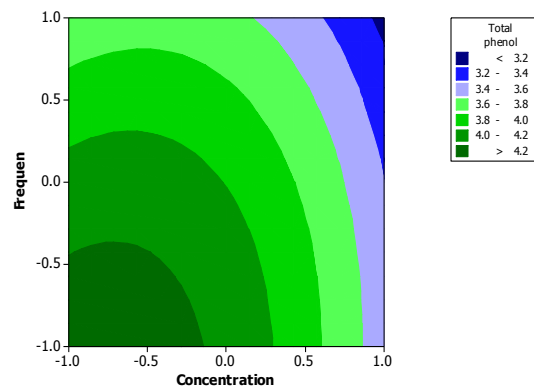
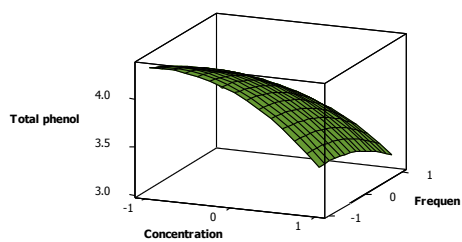
همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، عدم برازش برای پاسخ مورد نظر در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.

ترکیبات فنولیک بیشتری نسبت به بافت داخلی آن می- باشد به علاوه در خشک کردن با آن، فرایند حرارتی میزان ترکیبات فنولیک را در پوسته و در بافت افزایش می‌دهد (لین و همکاران ۲۰۰۷).

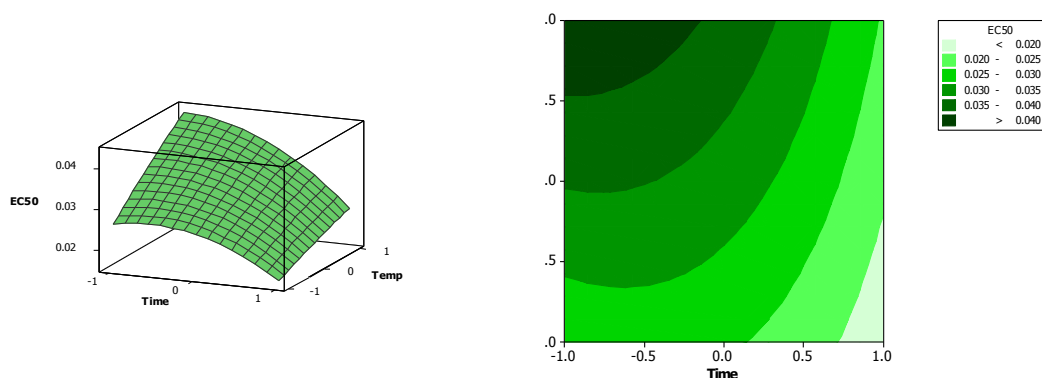
افزایش دما و زمان میزان ترکیبات فنولیک افزایش می- یابد. فرایند حرارتی، پخش و توزیع ترکیبات فنولیک را در عصاره‌های پوست مرکبات افزایش می‌دهد جئونگ و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که فرایند حرارتی ممکن است ترکیبات فنولیک را از فرم غیر قابل استخراج به فرم قابل استخراج تبدیل کند. پوست کامکوات دارای



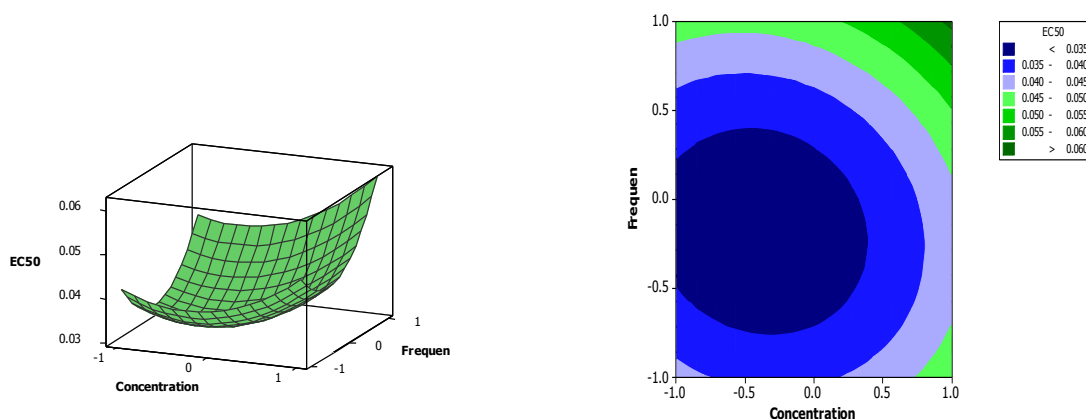
شکل ۵- نمودار سطحی و خطی ترکیبات فنولیک (mg/g) در برابر زمان (ساعت) و دما (درجه سانتی‌گراد) (در غلظت ۵۰٪ و دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد)



شکل ۶- نمودار سطحی و خطی ترکیبات فنولی کل (mg/g) در برابر فرکانس (کیلوهرتز) و غلظت ساکارز (%) (در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۴ ساعت)



شکل ۷- نمودار سطحی و خطی EC_{50} در برابر زمان (ساعت) و دما (درجه سانتی‌گراد) (در غلظت ۵۰٪ و فرکانس ۳۵ کیلوهرتز)



شکل ۸- نمودار سطحی و خطی EC_{50} در برابر غلظت ساکارز (٪) و فرکانس (کیلوهرتز) (در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۷ ساعت)

بر ترکیبات فنولیک میزان فنول ها کاهش می‌یابد (عسگری ۱۳۸۲).

شرایط اسمزی، ترکیبات فنولیک را به واسطه مهاجرت به داخل محلول اسمزی کاهش می‌دهد. تیمار اولتراسوند تشکیل رادیکال‌های آزاد و پلیمریزاسیون فنول‌ها را افزایش می‌دهد و در نتیجه میزان ترکیبات فنولیک را کاهش می‌دهد (استوجانویک و سیلوا ۲۰۰۶). همچنین فرکانس‌های بالای اولتراسوند با پدیده کاویتاسیون آن ممکن است سبب افزایش شکستگی سطحی و از دست دادن ترکیبات فنولیک شود بنابراین واضح است که افزایش فرکانس سبب کاهش ترکیبات

با توجه به شکل ۶ و جدول ۳ ملاحظه می‌شود که اثر غلظت بر روی میزان ترکیبات فنولیک از لحاظ آماری معنی‌دار است. به طور کلی با افزایش غلظت ساکارز میزان ترکیبات فنولیک کاهش می‌یابد این موضوع ممکن است به دلایل زیر اتفاق افتد:

- ۱- افزایش قند منجر به افزایش گرادیان غلظت و به دنبال آن از دست دادن آب می‌شود که این پدیده، از دست دادن ترکیبات فنولیک را در پی دارد.
- ۲- با افزایش غلظت قند، میزان قند جذب شده توسط نمونه افزایش می‌یابد و به دلیل اثر تخریبی قند

ماکزیمم خروج آب، ترکیبات فنولیک و کمترین میزان جذب مواد جامد و EC_{50} با استفاده از RSM به دست آمد. مقادیر بهینه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۰ ساعت و غلظت ساکارز ۴۹ درصد و فرکانس کمتر از ۳۵ کیلوهرتز بدست آمد. میزان مطلوبیت به دست آمده نیز برابر ۶۴٪ بود. در این شرایط بهینه مقادیر ترکیبات فنولیک، جذب مواد جامد و کاهش رطوبت و EC_{50} به ترتیب، ۴/۲ mg/g، ۳۰/۴۷ درصد، ۵۱/۰۴ درصد و ۰/۰۲۴ درصد به دست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که شرایط متفاوت از جمله غلظت ساکارز، دما، زمان و فرکانس اولتراسوند در آبیگری اسمزی-اولتراسونیک میوه کامکوات مؤثر است. معادلات رگرسیونی به دست آمده در این بررسی، می‌تواند برای یافتن شرایط بهینه جهت رسیدن به خصوصیات حسی و تغذیه‌ای مطلوب در آبیگری اسمزی-اولتراسونیک کامکوات مورد استفاده قرار گیرند.

فنولیک می‌شود (شکل ۶). شرایط اسمزی در زمان‌های طولانی میزان از دست دادن مواد مغذی از جمله ترکیبات فنولیک را تغییر می‌دهد که این می‌تواند به دلیل پدیده leaching (نفوذ به محلول اسمزی) باشد. فرکانس‌های بالای اولتراسوند نیز میزان از دست دادن ترکیبات مغذی را افزایش می‌دهد. نمونه‌های تغلیظ شده اسمزی فعالیت آنتی‌اکسیدانی ضعیف‌تری نشان می‌دهند و فرایند اولتراسوند فعالیت آنتی‌اکسیدانی کامکوات را کاهش داد (شکل‌های ۷ و ۸).

نتایج حاصل از تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که فرایند حرارتی فعالیت آنتی‌اکسیدانی را کاهش می‌دهد که این اثر می‌تواند به دلیل نابودی فعالیت اسید آسکوربیک باشد اگر چه ترکیبات فنولیک نقش عمده‌ای در فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها دارند اما اسید آسکوربیک نیز در فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها سهم بسزایی دارد (گادندر و همکاران ۲۰۰۰ و هاسیموتو و همکاران ۲۰۰۰).

بهینه‌سازی

شرایط بهینه برای کامکوات‌های نیمه مرطوب با روش اسمز-اولتراسونیک جهت به دست آوردن

منابع مورد استفاده

- عسگری غ، ۱۳۸۲. بررسی و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی برش‌های نازک سیب خشک شده با استفاده از سه روش خشک کردن با هوای داغ، مایکروویو و انجمادی. پایان‌نامه دانشگاه تهران.
- Cam M, Hisil Y and Durmaz G, 2009. Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food Chemistry* 112: 721-726.
- Deng Grosser JW and Gmitter FG, 1992. Lntergeneric somatic hybrid plants from protoplast fusion of *Fortunellacrassifolia* cultivar 'Meiwa' with *Citrus sinensis* cultivar 'Valencia'. *Scientia Horticulturae* 49: 55-62.
- Fabiano AN, Fernandes M, Gallo and Rodrigues S, 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during Dehydration. *Journal of Food Engineering* 90: 186-190.
- Rastogi NK, Raghavarao KSMS, Niranjana K and Knorr D, 2002. Recent developments in osmotic dehydration: Methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science and Technology* 13: 58-69.
- Hassimotto NM, Genovese M I and Lajoli F M, 2005. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 2928-2935.
- Iwahori S. and Tominaga S, 1986. Increase in first-flash flowering of MEIWA kumquat, *Fortunellacrassifolia* single, trees by paclobutrazol. *Scientia Horticulturae* 28: 347-353.

- Emam-Djomeh Z and Allaeddini B, 2004. Formulation and quality improvement of dried kiwifruit slices using an osmotic pre-treatment. *Drying proceedings of the 14th international drying symposium*. Vc: 2127-2132.
- Fernandes FAN and Rodrigues S, 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. *Journal of Food Engineering* 82: 261-267.
- Fernandes FAN, Linhares FE and Rodrigues S, 2008. Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry* 15: 1049-1054.
- Jeong SM, Kim SY, Kim DR, Jo SC, Nam KC and Ahn DU, 2004. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 3389-3393.
- Ispir A and Togrul IT, 2009. Osmotic dehydration of apricot: Kinetics and the effect of process parameters. *Chemical Engineering Research and Design* 87: 166-180.
- Lako J, Trenerry VC, Wahlqvist M, Wattanapenpaiboon N, Sotheeswaran S and Premier R, 2007. Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry* 101: 1727-1741.
- Lin CC, Hung PF and Ho S C, 2008. Heat treatment enhances the NO-suppressing and peroxynitrite-intercepting activities of kumquat (*Fortunella margarita* Swingle) peel. *Food Chemistry* 109: 95-103.
- Lin JY and Tang CY, 2007. Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry* 101: 140-147.
- Moyer RA, Hummer KE, Finn CEB and Wrolstad RE, 2002. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 519-525.
- Simal S, Benedito J, Sgnchez E and Rossem, C, 1998. Use of Ultrasound to Increase Mass Transport Rates During Osmotic Dehydration. *Journal of Food Engineering*. 36: 323-336.
- Wang H, Cao Gand Prior RL, 1997. Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 701-705.