Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Food Processing and Preservation

Print ISSN: 2322 - 2069
Online ISSN: 2322 - 2794

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Evaluation of physicochemical and rheological properties of reconstituted beverage from dried apricot

Mohammad Mahdi Seyedabadi[1*] | Mahdi Kashaninejad[2] | Alireza Asadi Amirabadi[3]

[1]Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
Email: mahdi.seyedabadi@gmail.com
[2]Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[3]Faculty of Food Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 26.12.2019
Revised: 14.12.2019
Accepted: 17.09.2019

Keywords:
Beverage
Apricot
Formulation
Rheology
Optimization

ABSTRACT

Background and objectives: Fruit-based drinks are secured with antioxidants, carotenoids, vitamins and other nutrients necessary for human health. Apricot juice is especially consumed in the summer due to its high nutritional value. As the apricot is a seasonal fruit, apricot juice is prepared by using concentrated juice in the other seasons. This study is devoted to examine the possibility of the production of beverage from dried apricot due to the high cost of concentrate preparation (equipment and energy consumption), and relatively high mineral loss.

Materials and Methods: Apricot fruit was purchased from a local market, washed, dried in a laboratory oven (70°C), and then used in for the beverage preparation. The effect of formulation parameters, including pectin percentage (0.1-0.3 %), the amount of sugar (8-12 %), and amount of citric acid (0.3-0.7 %) was evaluated on the physicochemical (viscosity, Brix, suspended solids and sediment content) and rheological properties of the reconstituted beverage. The flow behavior of the samples was investigated by a power law and Herschel-Bulkley models. The response surface methodology (RSM) based on the central composite design (α=1) was used to predict the effect of formulation variables on the qualitative characteristics of the apricot beverage.

Results: The Brix and viscosity of the beverage increased with the simultaneous increase of pectin and sugar due to enhancement of concentration of the sample. The analysis of the rheological behavior demonstrated that the flow index (n) was less than 1, and the resulted beverage displayed shear-thinning behavior. According to the statistical indices, the Herschel-Bulkley model with the highest correlation coefficient was selected as the best model for describing the rheological behavior. Results of the process optimization indicated that the best conditions for reaching the minimum viscosity and suspended solids with maximum desirability of 0.885 were obtained at levels of 0.1, 0.7 and 8.978 % for pectin, citric acid and sugar, respectively.

Conclusion: The current study was developed to produce beverages from dried apricot. This technique is low-cost compared to the conventional method in which the beverage is reconstituted from concentrated juice, and also reduces fruit damage and loss. With respect to the high content of minerals and fibers in the dried slices of apricot compared to the fresh fruit, the prepared beverage also follow this trend. The results of this investigation indicated that incorporation of pectin in the beverage formulation may reduce

the undesirable phase separation.

Cite this article: Seyedabadi, M.M., Kashaninejad, M., Asadi Amirabadi, A.R. 2022. Evaluation of physicochemical and rheological properties of reconstituted beverage from dried apricot. *Journal of Food Processing and Preservation*, 13 (4), 129-146.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJFPP.2022.17150.1573
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵۴۴-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲۴۲۳

بررسی خصوصیات فیزیکو شیمیایی و رئولوژیکی نوشیدنی بازسازی شده از برگه خشک‌شده زردآلو

محمدمهدی سیدآبادی[1*]، مهدی کاشانی‌نژاد[2]، علیرضا اسدی امیرآبادی[3]

۱.گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: mahdi.seyedabadi@gmail.com
۲.گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳.گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۵

واژه‌های کلیدی:
نوشیدنی
زردآلو
فرمولاسیون
رئولوژی
بهینه‌سازی

چکیده

سابقه و هدف: نوشیدنی‌های بر پایه میوه می‌توانند یک منبع بسیار مناسب از آنتی‌اکسیدان‌ها، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و سایر مواد مغذی را به‌صورت کامل در اختیار مصرف‌کننده قرار دهند. آب زردآلو به علت ارزش تغذیه‌ای فراوان، مصرف گسترده‌ای در ایام گرم سال دارد. از آنجا که زردآلو میوه‌ای فصلی می‌باشد، برای تولید آبمیوه در سایر فصول، از کنسانتره این میوه برای تولید آبمیوه استفاده می‌شود. با توجه به بالا بودن هزینه‌های تولید (تجهیزات و انرژی مصرفی) کنسانتره و کاهش میزان املاح و مواد معدنی در فرآیند تولید کنسانتره، در این پژوهش به بررسی امکان تولید نوشیدنی از برگه خشک زردآلو پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: میوه زردآلو از بازار محلی خریداری شد؛ پس از شستشو با استفاده از آون آزمایشگاهی در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس برای تهیه نوشیدنی مورد استفاده قرار گرفت. اثر پارامترهای فرمولاسیون شامل میزان پکتین (۰/۱ تا ۰/۳ درصد)، مقدار شکر (۸ تا ۱۲ درصد) و مقدار اسیدسیتریک (۰/۳ تا ۰/۷ درصد) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی (شامل ویسکوزیته، بریکس، مواد جامد معلق و درصد رسوب) و رئولوژیکی نوشیدنی حاصله مورد بررسی قرار گرفت. رفتار جریان نمونه‌ها با مدل‌های قانون توان و هرشل-بالکلی مورد بررسی قرار گرفت. روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی (α=۱) برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای فرمولاسیون بر خصوصیات کیفی نوشیدنی زردآلو به‌کار برده شد.

یافته‌ها: با افزایش همزمان میزان پکتین و شکر به‌واسطه افزایش غلظت نمونه، مقدار بریکس و ویسکوزیته نوشیدنی افزایش یافت. بررسی رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها نشان داد، شاخص رفتار جریان (**n**) کمتر از یک بوده و نوشیدنی حاصل رفتار رقیق شونده با برش داشت. بر اساس شاخص‌های آماری، مدل هرشل- بالکلی با بیشترین ضریب همبستگی به‌عنوان بهترین مدل برای برازش داده‌های رئولوژیکی انتخاب شد. شرایط بهینه به‌منظور دستیابی به حداقل ویسکوزیته و مواد جامد معلق و بالاترین درجه مقبولیت ۰/۸۸۵ و همچنین بریکس نزدیک ۱۵ در میزان پکتین برابر ۰/۱ درصد، اسید سیتریک برابر ۰/۷ درصد و شکر برابر ۸/۹۸۷ درصد به دست آمد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش با هدف تولید نوشیدنی میوه‌ای از زردآلو خشک انجام شد. این روش به‌مراتب کم‌هزینه‌تر از فرآیند تغلیظ و سپس بازسازی آبمیوه است و آسیب کمتری به میوه وارد می‌شود. با توجه

به این‌که تکه‌های خشک‌شده زردآلو حاوی املاح و مواد معدنی و فیبر بیشتری نسبت به عصاره استخراج شده از میوه می‌باشد؛ آبمیوه تولیدی نیز از این قضیه مستثنی نیست. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از پکتین در فرمولاسیون نوشیدنی‌ها می‌تواند نقش بسیار مفیدی برای جلوگیری از دو فاز شدن بر عهده داشته باشد.

استناد: سیدآبادی، م.م.، کاشانی‌نژاد، م.، اسدی امیرآبادی، ع. (۱۴۰۰). بررسی خصوصیات فیزیکو شیمیایی و رئولوژیکی نوشیدنی بازسازی شده از برگه خشک‌شده زردآلو. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۳ (۴)، ۱۴۶-۱۲۹.

DOI:10.22069/EJFPP.2022.17150.1573

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

آب‌میوه‌ها در سرتاسر جهان توسط گروه‌های سنی مختلف به‌صورت گسترده مصرف می‌شوند. در دو دهه گذشته به‌دلیل کاهش احتمال خطر ابتلا به بسیاری از بیماری‌های مزمن ناشی از مصرف آب‌میوه‌ها میزان استفاده به‌سرعت افزایش یافته است (۲۲). زردآلو با نام علمی *prunus Armeniaca* یا *Armeniaca vulgaris* یکی از میوه‌های تیره گل‌سرخیان[1] است که معمولاً در نیم‌کره شمالی می‌روید. میوه آن تقریباً کروی و گوشتی و بعضی از انواع آن بیضی‌شکل و یا نوک دراز بوده و به‌واسطه شیاری به دو قسمت مساوی تقسیم شده است (۵). میوه زردآلو می‌تواند به‌عنوان منبع مناسب از ترکیبات شیمیایی گیاهی مانند ترکیبات فنلی، کاروتنوئیدها، ویتامین‌ها و ویتامین ث معرفی شده است که به‌صورت قابل توجهی در بافت، رنگ، مزه و ارزش تغذیه‌ای نقش دارد (۷).

طبق آمار سازمان خواروبار جهانی (فائو) در سال ۲۰۱۳ بیش از ۳۲ هزار هکتار سطح باغ‌های زردآلو در ایران واقع است که میوه آن علاوه بر مصرف داخلی با تبدیل به برگه زردآلو به خارج از کشور نیز صادر می‌شود. این محصول همانند دیگر میوه‌های فرازگرا، سریع فاسد شده و بخشی از آن پس از برداشت و تا فاصله حمل به میدان بار ضایع می‌شود. بخشی از آن نیز در میدان بار می‌ماند و از چرخه مصرف خارج می‌شود. در این شرایط انتظار می‌رود با توجه به ماندگاری بسیار خوب میوه‌های خشک، صنایع تبدیلی و تکمیلی برای فرآوری میوه‌های مازاد بر تازه خوری در کشور ایجاد شود. با تحقق این امر، علی‌رغم ارزآوری، حقوق کشاورزان و باغداران و همچنین منابع آب و خاک کشور حفظ می‌شود.

زردآلو میوه‌ای بسیار حساس به شرایط انبارداری است. فرآیند رسیدن زردآلو از نوع فرازگرا است و می‌تواند تحت شرایط کنترل نشده تسریع یابد. حساسیت این میوه به پوسیدگی، دمای کم و از بین رفتن طبیعی به‌علت رسیدگی سریع و نرم شدن، پتانسیل انبارداری، جابجایی و حمل‌ونقل را محدود می‌کند (۴). برای افزایش دوره نگهداری زردآلو، استفاده از روش‌های مختلف ازجمله کنسرو کردن، خشک‌کردن، بسته‌بندی و انبار کردن به‌روش اتمسفر اصلاح‌شده گسترش یافته است (۱۰). آب زردآلو فرآورده‌ای تخمیر نشده ولی قابل تخمیر به‌صورت غیر شفاف همراه با ذرات ریز میوه می‌باشد که از اختلاط میوه سالم و رسیده زردآلو به‌صورت پوره زردآلو با آب و شکر به‌دست می‌آید (۸). به‌منظور حمل و نقل اقتصادی و کاهش حجم آب‌میوه‌ها دوسوم از آب از طریق فرآیند تبخیر استخراج و کنسانتره به‌دست‌آمده بسته‌بندی می‌شود (۲).

با توجه به بالا بودن هزینه‌های تولید کنسانتره (تجهیزات و انرژی مصرفی) و کاهش املاح و مواد معدنی میوه تازه با حذف قسمتی از گوشته و پوسته زردآلو توصیه می‌شود ابتدا میوه توسط روش خشک کردن (که به‌مراتب روشی کم‌هزینه‌تر و به علت کوتاه بودن فرآیند آسیب کمتری به میوه وارد می‌شود.) تبدیل به برگه شده و سپس برای تولید نوشیدنی میوه‌ای در سایر فصول استفاده شود. برگه زردآلو سرشار از پتاسیم است. مصرف مواد غنی از پتاسیم باعث تنظیم فشار خون می‌شود. با توجه به این‌که تکه‌های خشک‌شده زردآلو حاوی املاح و مواد معدنی و فیبر بیشتری نسبت به عصاره استخراج‌شده از میوه است؛ آبمیوه تولیدی نیز از این قضیه مستثنی نیست. استفاده از مواد طبیعی (صمغ‌های گیاهی و پکتین حاصل از مرکبات) در فرمولاسیون آبمیوه‌ها

1. Rosaceae

می‌تواند نقش بسیار مفیدی را برای جلوگیری از دو فاز شدن، بر عهده داشته باشد.

پکتین یکی از پرکاربردترین ترکیبات پایدارکننده در صنایع غذایی است. پکتین یک پلی‌ساکارید پیچیده با وزن مولکولی بالاست که عمدتاً از پلی گالاکتورونیک اسید با متیل استرهای موضعی و نمک‌های سدیم، آمونیوم و پتاسیم آن تشکیل شده است. بخش عمده پکتین تولید شده به‌وسیله صنایع فرآوری میوه مصرف می‌شود. پکتین بافت مطلوب را ایجاد می‌کند و ایجاد لایه آب (دو فاز شدن) بر روی سطح نوشیدنی را محدود می‌کند. این صمغ از هیدروکلوئیدهای جاذب به شمار می‌رود و به دلیل نیروی الکترواستاتیک و از طریق سازوکار ممانعت فضایی موجب پایداری سامانه می‌شود (۲۳).

در تحقیقی اثر پارامترهای فرمولاسیون شامل شکر، استویوزید و پکتین به‌منظور بهینه‌سازی تولید نکتار پرتقال کم‌کالری مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین خواص فیزیکوشیمیایی آن در طی انبارداری (۴ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) بررسی گردید. میزان ساکارز، کدورت و ویسکوزیته نیز در طول انبارداری کاهش داشت اما بریکس نمونه‌ها تغییری نکرد. در نهایت مشخص شد که با استفاده از استویوزید (حداکثر ۰/۰۶ درصد) و پکتین (حداکثر ۰/۰۳ درصد) می‌توان میزان شکر مصرفی در محصول را تا ۷۰ درصد کاهش داد، بدون آنکه در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ارگانولپتیکی آن تغییر قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده شود (۶). در پژوهشی دیگر، اثر برهمکنش صمغ‌های کربوکسی‌متیل‌سلولز و پکتین در ایجاد پایداری شیر- آب تمشک مورد ارزیابی قرار گرفت. در ضمن، سازوکارهای مؤثر بر پایدار کنندگی، به‌وسیله اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی، ویسکوزیته ظاهری و درصد رسوب مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس یافته‌های مطالعه مذکور، بهترین مدل رئولوژیکی برای توصیف رفتار جریان تیمارها، مدل قانون توان بود. تیمارهای حاوی مخلوط پکتین و کربوکسی متیل سلولز در سطح معنی‌داری ($P<0/05$) پایداری و ویسکوزیته بهتری نسبت به تیمارهای حاوی کربوکسی‌متیل‌سلولز به‌تنهایی دارا بودند (۲۴). در تحقیقی دیگر نوشیدنی لیموترش با فرمولاسیون‌های مختلف حاوی شکر، استویا و زانتان تهیه گردید. رفتار جریانی، توزیع اندازه ذرات و همچنین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (pH، اسیدیته، خاکستر، بریکس و چگالی)، حسی (ظاهر و طعم) و میکربی نوشیدنی رژیمی لیموترش مورد بررسی قرار گرفت. زانتان با تأثیر قابل‌توجه بر رفتار جریانی نوشیدنی لیموترش در نرخ‌های برش پایین ویسکوزیته ظاهری بالایی ایجاد نمود. با توجه به ویژگی‌های رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی نوشیدنی لیموترش، نمونه حاوی ۶ درصد شکر، ۰/۰۲ درصد استویا و ۰/۱۸ درصد زانتان به‌عنوان بهترین فرمولاسیون انتخاب گردید (۱۴).

با توجه به اینکه میوه زردآلو میوه‌ای فصلی می‌باشد، برای تولید آب‌میوه در سایر فصل‌ها از کنسانتره استفاده می‌شود. تولید کنسانتره علاوه بر بالا بودن هزینه‌های تولید (تجهیزات، انبارداری و انرژی مصرفی)، موجب کاهش املاح و مواد معدنی میوه تازه با حذف قسمتی از گوشته و پوسته زردآلو می‌شود؛ درحالی‌که در خشک کردن، میوه زردآلو به‌صورت کامل خشک می‌شود و هزینه‌های تولید و انبارداری آن نیز نسبت به تولید کنسانتره کمتر می‌باشد. لذا در این پژوهش امکان تولید نوشیدنی از برگه‌های خشک زردآلو و بهینه‌سازی پارامترهای فرمولاسیون به کمک روش سطح پاسخ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: شکر از کارخانه قند شیرین مشهد، اسیدسیتریک از شرکت دکتر مجللی ایران، پکتین از شرکت ام‌پی بیومدیکال (DE = ۷۱/۱) هلند خریداری شد.

تهیه محلول پکتین: محلول ۲ درصد پکتین از حل کردن ۲ گرم پودر پکتین در ۱۰۰ گرم آب و حرارت دادن آن روی همزن مغناطیسی (۷۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۲۰ دقیقه و متعاقباً سرد کردن و نگهداری به مدت یک شب در دمای ۴ درجه‌سانتی‌گراد به دست آمد. از محلول حاصل، رقت‌های مورد نیاز با استفاده از آب مقطر تهیه شد (۱۷).

آماده‌سازی آبمیوه: میوه زردآلو رقم جهانگیری از بازار میوه و تره‌بار گرگان خریداری شد و پس از شستشو، توسط آون (Memmert- UFB 400) در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت و تا رطوبت ۱۲ درصد خشک شد. برگه زردآلو حاصل توسط آسیاب خانگی پارس خزر (مدل ویتافروت) خرد شد و از الک با مش ۸ عبور داده شد. در مرحله بعد به‌منظور تهیه کنسانتره آبمیوه، مقدار کافی آب به قطعات خرد شده برگه زردآلو اضافه شد (هر ۳/۲ گرم کنسانتره حاوی ۱ گرم برگه زردآلو خرد شده). پس از افزودن سایر اجزای فرمول (پکتین، اسید سیتریک و شکر) به کنسانتره تولیدی، فرمولاسیون‌های مختلف با حجم یک لیتر تهیه شد و مورد آزمون قرار گرفت. در صورت ایجاد فاصله زمانی در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی: مواد جامد محلول (Brix) با استفاده از دستگاه رفراکتومتر دیجیتالی رومیزی (ABBE ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شده و با درجه بریکس بیان شد (۹). مواد جامد معلق به روش کاسانو و همکاران (۲۰۰۷) اندازه‌گیری شد و به‌صورت گرم در ۱۰۰ گرم آبمیوه گزارش شد (۳).

دوفاز شدن (پایداری): برای اندازه‌گیری میزان جداسازی فازی نوشیدنی و درنتیجه پایداری محصول، مقدار ۳۰ میلی‌لیتر از هر یک از نمونه‌ها را در لوله‌های شیشه‌ای ۳۰ میلی‌لیتری ریخته و در شرایط ثابت و در یخچال ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ماه نگهداری شد. میزان دو فاز شدن نمونه‌ها با جداسازی فاز شفاف بالایی (در صورت وجود) به‌وسیله پیپت پاستور و توزین آن و بیان آن بر اساس درصدی از وزن کل نمونه به دست آمد (۱۱، ۱۸).

اندازه‌گیری ویسکوزیته: برای اندازه‌گیری ویسکوزیته نوشیدنی از دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (DVII-pro-LVDV) استفاده شد. پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی، اسپیندل شماره S00 به‌عنوان مناسب‌ترین اسپیندل انتخاب شد (با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده، اسپیندل مناسب جهت اندازه‌گیری ویسکوزیته، اسپیندلی است که در سرعت مورد نظر گشتاوری بالاتر از ۱۰ درصد را نشان دهد). ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها در ۸۰ دور بر دقیقه و در دمای ۲۵ درجه اندازه‌گیری شده و برحسب واحد سانتی‌پوآز (cp) بیان شد (۲۰).

رفتار جریان: به‌منظور تعیین رفتار رئولوژیکی نمونه‌های آبمیوه، از دستگاه ویسکومتر بروکفیلد (DVII-pro-LVDV) استفاده شد. مقدار ۱۶ میلی‌لیتر از نمونه‌های آب زردآلو به درون محفظه استوانه‌ای انتقال داده شد. سپس ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها در سرعت‌های برشی ۵ تا ۲۰۰ دور در دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. رفتار جریان نمونه‌ها با مدل‌های قانون توان[1] (رابطه ۱) و هرشل-بالکلی[2] (رابطه ۲) مورد بررسی قرار گرفت. در روابط ۱ و ۲، τ، τ_0، γ، k و n به ترتیب تنش برشی (mPa)، تنش تسلیم (mPa)، سرعت برشی (1/s)، ضریب قوام

1. Power law
2. Herschel–Bulkley

($mpa.s^n$) و شاخص رفتار جریان (بدون واحد) می‌باشند (۲۱).

رابطه ۱.
$$\tau = \kappa \gamma^n$$

رابطه ۲.
$$\tau = \kappa \gamma^n + \tau_0$$

جدول ۱- سطوح متغیرهای مستقل ورودی برای فرمولاسیون نوشیدنی زردآلو

Table 1. Experimental design results for the formulation of apricot beverage

تیمار Treatment	پکتین (درصد) Pectin (%)	اسیدسیتریک (درصد) Citric acid (%)	شکر (درصد) Sugar (%)
1	0.1	0.5	10
2	0.3	0.3	12
3	0.3	0.7	8
4	0.1	0.3	8
5	0.2	0.5	12
6	0.2	0.7	10
7	0.2	0.5	10
8	0.2	0.3	10
9	0.1	0.7	12
10	0.2	0.5	10
11	0.2	0.5	8
12	0.3	0.5	10

تجزیه‌وتحلیل آماری: در این پژوهش روش سطح پاسخ[1] (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی[2] (CCD) (α=۱) برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای فرمولاسیون بر خصوصیات کیفی نوشیدنی زردآلو به‌کار برده شد. تیمارها در ۱۲ آزمایش بر اساس طرح CCD شامل ۲ تکرار در نقطه مرکزی چیده شد. آنالیز واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای مستقل بر روی هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. توابع پاسخ در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های مختلف (خطی[3]، چند جمله‌ای ساده[4] و چند جمله‌ای درجه دوم[5]) بر اساس R^2 تصحیح شده[6] (R^2-adj) و R^2 پیش‌بینی شونده[7] (R^2-pred) مقایسه شدند. مدلی که دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی بوده و مقدار P برای آزمون عدم برازش[8] در ANOVA، بزرگ‌تر مساوی ۰/۰۵ باشد؛ دارای قدرت پیش‌بینی بالا و دقت بیشتری خواهد بود. متغیرهای مستقل مورداستفاده شامل مقدار پکتین (۰/۱ تا ۰/۳ درصد)، مقدار شکر (۸ تا ۱۲ درصد) و مقدار اسید سیتریک (۰/۳ تا ۰/۷ درصد) در یک لیتر نوشیدنی تولیدی و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل ویسکوزیته، بریکس، مواد جامد معلق و درصد رسوب بودند. سطوح متغیرهای مستقل ورودی در جدول ۱ نشان داده شده است. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert 9.0.0.7 و Microsoft Excel 2013 صورت پذیرفت. جهت برازش داده‌ها بر روی مدل‌های رئولوژیکی از نرم‌افزار Sigma Plot 12.3 یا MATLAB 2010a استفاده شد (۱۹).

1. Response Surface Methodology
2. Central Composite Design
3. Linear Model
4. 2FI Model
5. Quadratic Model
6. Adjusted R-Squared
7. Predicted R-Squared
8. lack of fit

نتایج و بحث

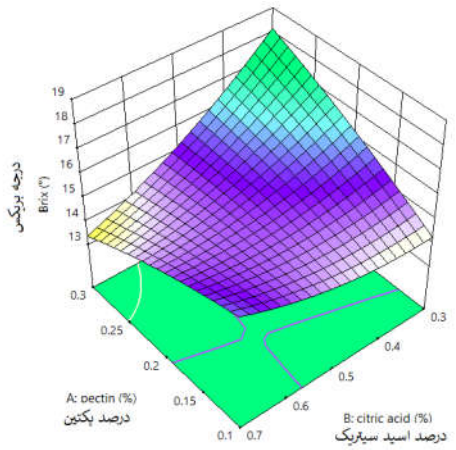
تأثیر پارامترهای فرمولاسیون بر بریکس: آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین بریکس تیمارهای فرمولاسیون نشان داد که اثر سطوح مختلف پکتین، شکر و اسید سیتریک بر میزان بریکس نوشیدنی زردآلو به ترتیب در سطح‌های ۹۵، ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین معنی‌داری اثرات متقابل و اثرات درجه دوم با علامت‌های * (سطح ۹۵ درصد) و ** (سطح ۹۹ درصد) در معادله مربوطه نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین مقدار R^2-adj و R^2-pred برای مدل چند جمله‌ای درجه دوم و به ترتیب برابر ۹۹ و ۸۶ درصد بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش، ۰/۴۵۳۹ بود. رابطه ۳ اثرات متغیرهای مستقل مقدار پکتین، شکر و اسید سیتریک را بر روی میزان بریکس نوشیدنی حاصل نشان می‌دهد.

رابطه ۳.

$$Brix = +0.07500 + (108.60000 \times sugar)^{*} - (9.50000 \times citric\ acid)^{**} + (1.40000 \times pectin)^{*} - (80.00000 \times pectin \times citric\ acid)^{**} - (0.57500 \times pectin \times sugar)^{**} + (0.10000 \times citric\ acid \times sugar)^{*} - (19.00000 \times pectin^2)^{*} + (11.50000 \times citric\ asid^2)^{**} - (0.03500 \times suger^2)^{*}$$

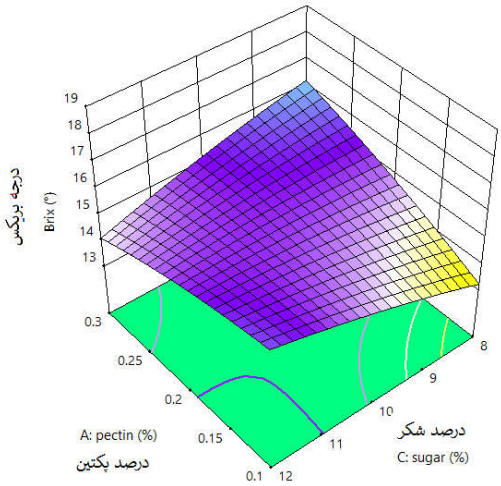
از رابطه ۳ می‌توان دریافت که اثر خطی شکر مؤثرترین متغیر بر افزایش بریکس است. همچنین اثر متقابل (پکتین × اسید سیتریک) بیشترین تأثیر را در کاهش بریکس دارد. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ اثرات متغیرهای موردبررسی را بر میزان بریکس نشان می‌دهد. با افزایش هم‌زمان مقدار پکتین و شکر به‌واسطه افزایش غلظت نمونه، مقدار بریکس افزایش یافت. با افزایش میزان اسید سیتریک، بریکس نوشیدنی ابتدا کاهش و سپس با شیب ملایم افزایش یافت. این تغییرات را می‌توان به شکستن و تشکیل مجدد شبکه پلی ساکاریدی نسبت داد.

تأثیر پارامترهای فرمولاسیون بر میزان مواد جامد معلق: بررسی آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین مواد جامد معلق تیمارهای فرمولاسیون نشان داد که اثر سطوح مختلف پکتین و اسید سیتریک بر میزان TSS نوشیدنی زردآلو در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار و اثر شکر بی‌معنی است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین مقدار R^2-adj و R^2-pred برای مدل خطی و به ترتیب برابر ۶۷ و ۳۵ درصد بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش، ۰/۷۳۲۸ بود. رابطه ۴ اثرات متغیرهای مستقل مقدار پکتین و اسیدسیتریک را بر روی میزان بریکس نوشیدنی حاصل نشان می‌دهد.



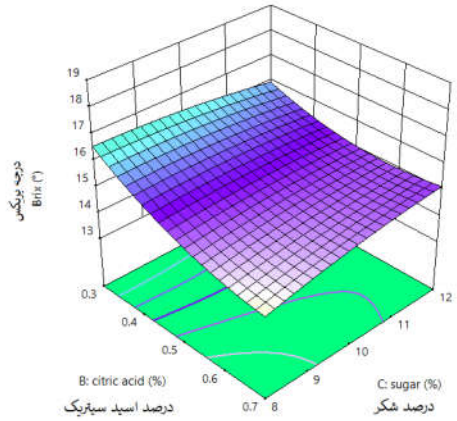
شکل ۱- پلات سه‌بعدی اثر مقدار پکتین و اسیدسیتریک بر میزان بریکس نوشیدنی زردآلو

Figure 1- 3D plot for the e ect of pectin and citric acid on brix of apricot beverage



شکل ۲- پلات سه‌بعدی اثر مقدار پکتین و شکر بر میزان بریکس نوشیدنی زردآلو

Figure 2- 3D plot for the effect of pectin and sugar on brix of apricot beverage



شکل ۳- پلات سه‌بعدی اثر مقدار شکر و اسید سیتریک بر میزان بریکس نوشیدنی زردآلو

Figure 3- 3D plot for the effect of sugar and citric acid on brix of apricot beverage

رابطه ۴.

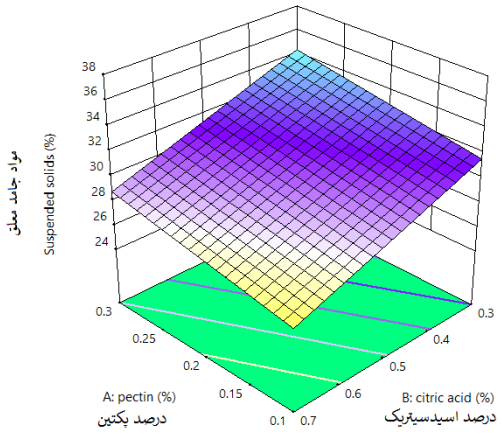
$$\text{Suspended solids} = +13.53417 + (13.90000 \times \text{pectin})^{*} - (13.88333 \times \text{citric acid})^{*} + (2.08333 \times \text{sugar})$$

از رابطه ۴ می‌توان دریافت که اثر خطی پکتین مؤثرترین متغیر بر افزایش مواد جامد معلق است. همچنین اثر خطی اسید سیتریک بیشترین تأثیر را در کاهش مواد جامد معلق دارد. شکل ۴ اثرات متغیرهای مورد بررسی را بر میزان مواد جامد معلق نشان می‌دهد. با افزایش مقدار پکتین و اسید سیتریک، مقدار مواد جامد معلق به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت.

دو فاز شدن (پایداری): بر طبق شکل (۵) کلیه فرمولاسیون‌های نوشیدنی زردآلو، پس از ۳ ماه کاملاً پایدار بوده و میزان دوفاز شدن و آب اندازی نوشیدنی مذکور بسیار ناچیز بود.

رفتار جریان: نتایج حاصل از برازش داده‌های تنش برشی در برابر سرعت برشی بر روی مدل‌های قانون توان و هرشل- بالکلی به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آورده شده است. در این پژوهش مدل هرشل- بالکلی بهترین مدل برای بیان و تشریح رفتار رئولوژی نوشیدنی زردآلو بر اساس شاخص‌های آماری انتخاب شد. با تغییر سرعت برشی و همچنین تغییر نسبت‌های پارامترهای فرمولاسیون، تغییرات کمی در n و k مشاهده شد. شاخص رفتار جریان برای تمامی نمونه‌ها کمتر از ۱ بود که خود مؤید آن است که سیال

رقیق شونده با برش است. نمودار تغییرات نیروی برشی در برابر سرعت برشی تیمارهای مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۴- پلات سه‌بعدی اثر مقدار پکتین و اسید سیتریک بر مواد جامد معلق نوشیدنی زردآلو

Figure 4- 3D plot for the effect of pectin and citric acid on suspended solids of apricot beverage

شکل ۵- فرمولاسیون‌های تهیه‌شده بر اساس جدول (۱) پس از نگهداری به مدت ۳ ماه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد

Figure 5- Formulations prepared according to table 1 after 3 months storage at 4 °C

جدول ۲- پارامترهای مدل قانون توان برای نوشیدنی زردآلو

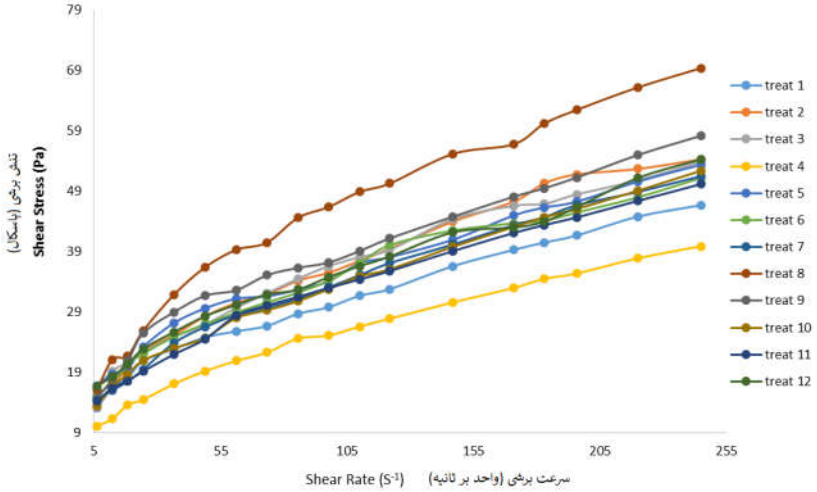
Table 2. Evaluation of power law model for apricot beverage

Treat	N	K	R^2	R^2-adj
1	0.3677	5.907	0.9792	0.9779
2	0.4097	5.722	0.9907	0.9901
3	0.3727	6.741	0.9867	0.9858
4	0.428	3.645	0.9920	0.9915
5	0.2536	7.258	0.9789	0.9776
6	0.362	6.780	0.9893	0.9887
7	0.4028	5.461	0.9900	0.9894
8	0.4104	7.131	0.9961	0.9958
9	0.3752	7.051	0.9875	0.9867
10	0.4066	5.334	0.9853	0.9844
11	0.3951	5.526	0.9905	0.9899
12	0.359	7.014	0.9773	0.9758

جدول ۳- پارامترهای مدل هرشل-بالکلی برای نوشیدنی زردآلو

Table 3. Evaluation of Herschel-Bulkley models for apricot beverage

Treat	n	K	σ0	R^2	R^2-adj
1	0.6486	0.988	11.440	0.9935	0.9926
2	0.5479	2.345	7.829	0.9946	0.9939
3	0.6007	1.553	11.770	0.9977	0.9974
4	0.6151	1.126	6.583	0.9990	0.9989
5	0.6129	1.364	12.930	0.9918	0.9907
6	0.5186	2.410	8.990	0.9446	0.9939
7	0.5981	1.569	9.374	0.9978	0.9975
8	0.4550	5.301	3.823	0.9965	0.9960
9	0.4963	3.165	7.984	0.9903	0.9890
10	0.6670	1.039	4.090	0.9980	0.9978
11	0.5860	1.622	9.153	0.9982	0.9979
12	0.6444	1.133	13.880	0.9926	0.9916



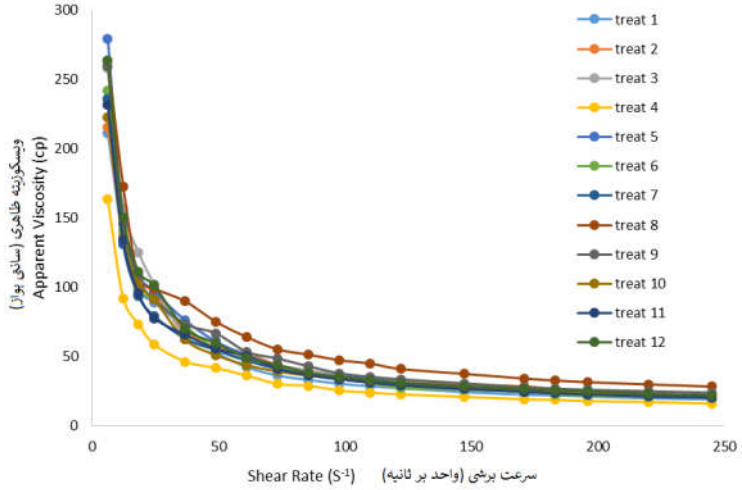
شکل ۶- تغییرات نیروی برشی در برابر سرعت برشی برای تیمارهای نوشیدنی زردآلو

Figure 6- Shear stress variations versus shear rate for different formulation of apricot beverage

تأثیر پارامترهای فرمولاسیون بر ویسکوزیته:

ویسکوزیته عبارت است از مقاومت در برابر جریان. میزان مواد پایدارکننده و مواد معلق بیشترین تأثیر را بر ویسکوزیته در آب‌میوه‌ها دارند. آگاهی از میزان ویسکوزیته، علاوه بر کمک به تعیین بهترین فرمولاسیون نوشیدنی زردآلو، در انتخاب پمپ مناسب جهت انتقال و طراحی تجهیزات موردنیاز اهمیت دارد. به‌علاوه ویسکوزیته عامل مهمی در سرعت انتقال جرم و حرارت است. نمودار تغییرات ویسکوزیته در برابر سرعت برشی تیمارهای مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است.

بیشترین ویسکوزیته مربوط به تیمار ۹ با ۳۸/۱ سانتی‌پوآز و کمترین ویسکوزیته برای تیمار ۴ با ۲۵/۷ سانتی‌پوآز بود. سیر تغییرات ویسکوزیته در برابر سرعت برشی نشانگر رفتار رقیق شونده بود؛ یعنی ویسکوزیته ظاهری با افزایش سرعت برشی کاهش می‌یابد و سیال حالت غیر نیوتنی دارد (شکل ۶). در سرعت برشی بالا برخلاف سرعت برشی پایین همگرایی و همسویی مولکول‌ها بیشتر است و ویسکوزیته کاهش می‌یابد. رفتار غیر نیوتنی نوشیدنی‌ها و آبمیوه‌ها پیش از این توسط محققان زیادی گزارش شده است (۱، ۱۳، ۱۶).



شکل ۷- تغییرات ویسکوزیته در برابر سرعت برشی برای تیمارهای نوشیدنی زردآلو

Figure 7- Apparent viscosity variations for different formulation of apricot beverage

آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین ویسکوزیته تیمارهای فرمولاسیون نشان داد که اثر سطوح مختلف پکتین، شکر و اسید سیتریک بر روی ویسکوزیته نوشیدنی زردآلو در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین معنی‌داری اثرات متقابل و اثرات درجه دوم با علامت‌های* (سطح ۹۵ درصد) و** (سطح ۹۹ درصد) در معادله مربوطه نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین مقدار R^2-adj و R^2-pred برای مدل چند جمله‌ای درجه دوم و به ترتیب برابر ۹۹ و ۸۴ درصد بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش، ۰/۴۵۳۹ بود. رابطه ۵ اثرات متغیرهای مستقل مقدار پکتین و اسیدسیتریک را بر روی میزان ویسکوزیته نوشیدنی حاصل نشان می‌دهد.

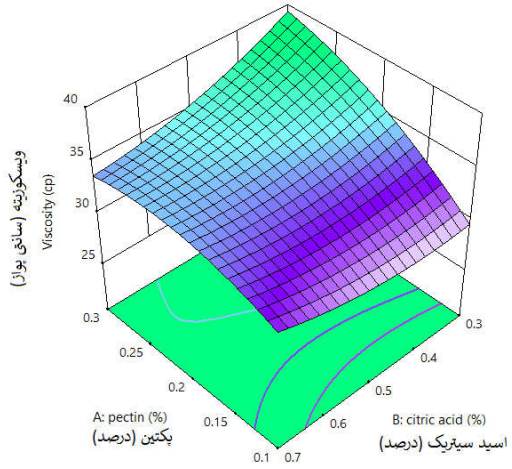
رابطه ۵.

$$\text{Viscosity} = -2.48333 + (342.22500 \times \text{pectin})^{**} - (24.12500 \times \text{citric acid})^{*} + (0.83125 \times \text{sugar})^{*} - (98.75000 \times \text{pectin} \times \text{citric acid})^{**} - (20.62500 \times \text{pectin} \times \text{sugar})^{**} + (1.43750 \times \text{citric acid} \times \text{sugar}) - (144.00000 \times \text{pectin}^2)^{**} + (25.25000 \times \text{citric asid}^2)^{*} + (0.15250 \times \text{suger}^2)^{*}$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی پکتین مؤثرترین متغیر بر افزایش ویسکوزیته است. همچنین اثر خطی اسید سیتریک بیشترین تأثیر را در کاهش ویسکوزیته دارد. شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ اثرات متغیرهای مورد بررسی را بر میزان ویسکوزیته نشان می‌دهد. افزایش شکر و پکتین، هر دو باعث افزایش ویسکوزیته شد. این افزایش را می‌توان به ترتیب به افزایش بریکس و تحریک مولکول‌ها برای تشکیل یک شبکه ضعیف در نوشیدنی نسبت داد (۱۵). همچنین با افزایش میزان اسید سیتریک به‌دلیل تأثیر کم بر روی زنجیره پلی‌ساکاریدی، ویسکوزیته با شیب ملایم کاهش یافت.

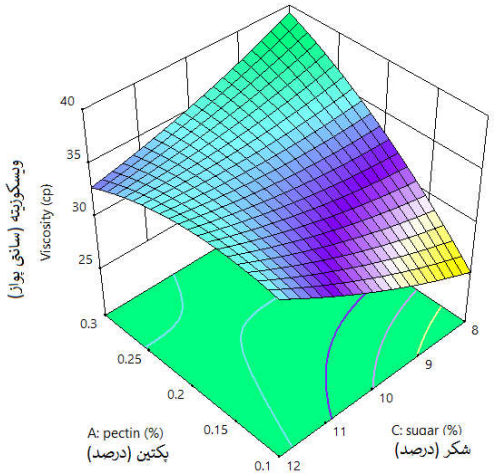
بهینه‌یابی: بهینه‌یابی درواقع یک سری محاسبات ریاضی محض است که خصوصیت مطلوب پاسخ را طوری تعریف می‌کند که فرمولاسیون و شرایط فرآوری بهینه بتواند تهیه شود. به‌عبارت‌دیگر در این روش یک یا چند تابع هدف تعریف می‌شود و سپس عملیات بیشینه کردن یا کمینه کردن آن صورت می‌پذیرد. شرایط بهینه فرمولاسیون نوشیدنی زردآلو برای دستیابی به حداقل ویسکوزیته و مواد جامد معلق و همچنین بریکس نزدیک ۱۵ موردبررسی قرار گرفت. بر این اساس، شرایط بهینه فرمولاسیون در مقدار پکتین برابر ۰/۱ درصد، اسیدسیتریک برابر ۰/۷

درصد و شکر برابر ۸/۹۷۸ درصد و با درجه مقبولیت ۰/۸۸۵ حصول گردید. در این شرایط مقادیر به‌دست‌آمده برای هر یک از پاسخ‌ها عبارت بودند از: مواد جامد معلق برابر «۲۳/۹»، ویسکوزیته برابر «۲۹/۴» و بریکس برابر «۱۵». آزمایشات با توجه به پارامترهای پیش‌بینی‌شده (نقطه بهینه) به‌منظور تأیید صحت مدل انجام شد. مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط RSM با مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایشات (از طریق محاسبه درصد خطا) تفاوت کمی را نشان داد (جدول ۴).



شکل ۸- پلات سه‌بعدی اثر مقدار پکتین و اسیدسیتریک بر تغییرات ویسکوزیته نوشیدنی زردآلو

Figure 8-3D plot for the e ect of pectin and citric acid on viscosity of apricot beverage



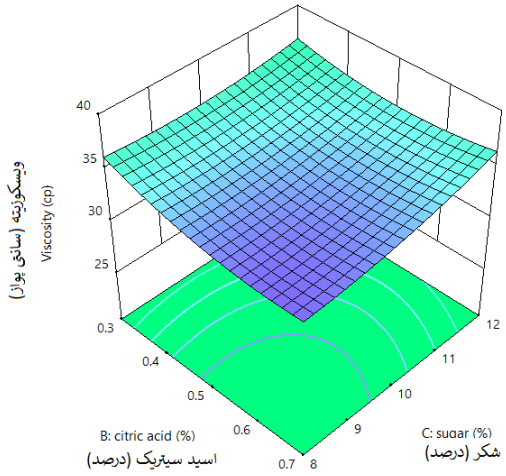
شکل ۹- پلات سه‌بعدی اثر مقدار پکتین و شکر بر تغییرات ویسکوزیته نوشیدنی زردآلو

Figure 9- 3D plot for the e ect of pectin and sugar on viscosity of beverage

جدول ۴- درصد خطای بین پاسخ‌های پیش‌بینی‌شده و پاسخ‌های به‌دست‌آمده

Table 4- Error percentages between the predicted and experimental responses

Responses	experimental	predicted	Error percentage
suspended solid	24.8	23.9	3.62
viscosity	27.7	29.4	5.78
brix	14.7	15	2



شکل ۱۰- پلات سه‌بعدی اثرات مقدار شکر و اسیدسیتریک بر تغییرات ویسکوزیته نوشیدنی زردآلو

Figure 10- 3D plot for the effect of sugar and citric acid on viscosity of apricot beverage

نتیجه‌گیری

فرآوری میوه‌ها و تولید نوشیدنی باعث کاهش ضایعات و همچنین افزایش بازار مصرف آن می‌شود. در پژوهش حاضر ابتدا میوه زردآلو توسط روش خشک‌کردن تبدیل به برگه شده و سپس برای تولید نوشیدنی میوه‌ای استفاده شد. این روش به‌مراتب کم‌هزینه‌تر از فرآیند تغلیظ و سپس بازسازی آبمیوه است و آسیب کمتری به میوه وارد می‌شود. با توجه به این‌که تکه‌های خشک‌شده زردآلو حاوی املاح و مواد معدنی و فیبر بیشتری نسبت به عصاره استخراج‌شده از میوه می‌باشد، آبمیوه تولیدی نیز از این قضیه مستثنی نیست. بررسی رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها با مدل‌های مزبور نشان داد که شاخص جریان (n) کمتر از یک بوده و نوشیدنی حاصل رفتار رقیق شونده با برش داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مواد طبیعی (صمغ گیاهی و پکتین حاصل از مرکبات) در فرمولاسیون نوشیدنی‌ها می‌تواند نقش بسیار مفیدی را برای جلوگیری از دو فاز شدن، بر عهده داشته باشد؛ به‌طوری‌که نوشیدنی تولیدی کاملاً پایدار بوده و بعد از ۳ ماه نگهداری در دمای یخچال دو فاز شدگی مشاهده نشد.

References

1. Augusto, P. E., Falguera, V., Cristianini, M., and Ibarz, A. 2012. Rheological behavior of tomato juice: steady-state shear and time-dependent modeling. Food and Bioprocess Technology. 5: 5.1715-1723.
2. Cardador, M.J., and Gallego, M. 2015. Haloacetic acids content of fruit juices and soft drinks. Food chemistry. 173: 685-693.
3. Cassano, A., Marchio, M., and Drioli, E. 2007. Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. Desalination. 212: 1-3. 15-27.
4. Garousi, F., Javanmard, M., and HASANI, F. 2011. Application of edible coating based on Whey Protein-Gellan gum for apricot (*Prunus armeniaca* L.), Food Science and Technology. 8: 2. 39-48. (In Persian)
5. Ghaebi, S.M., Hasan beigi bidgoli, S.R., and Kianmehr, M.H. 2011. Determination of Some Physical and Mechanical Properties of Apricot Fruit, Pit and Kernel, Ghermez-Shahrood Variety. Iranian J. of Biosystems Engineering. 41: 2. 127-263. (In Persian)

6. Hosseini, S., Goli, S.A.H., and Keramat, J. 2015. Production Optimization of Low-Calorie Orange Nectar Using Stevioside Sweetener and Evaluation of Its Physicochemical Properties during Storage. J. of Crop production and processing. 5: 16. 39-52. (In Persian)
7. Igual, M., García-Martínez, E., Martín-Esparza, M., and Martínez-Navarrete, N. 2012. Effect of processing on the drying kinetics and functional value of dried apricot. Food Research International. 47: 2.284-290.
8. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2007. Apricot juice - Specifications, ISIRI 10499, 1st.revision. (In Persian)
9. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2007. Juice and experimental method, ISIRI 2685, 1st.revision. (In Persian)
10. Jiménez, A., Martínez-Tomé, M., Egea, I., Romojaro, F., and Murcia, M. 2008. Effect of industrial processing and storage on antioxidant activity of apricot (*Prunus armeniaca v. bulida*). European Food Research and Technology. 227: 1.125-134.
11. Joudaki, H., Mousavi, M., Safari, M., Razavi, S. H., Emam-Djomeh, Z., and Gharibzahedi, S. M. T. 2013. A practical optimization on salt/high-methoxyl pectin interaction to design a stable formulation for Doogh. Carbohydrate polymers. 97: 2. 376-383.
12. Kandasamy, P., and Shanmugapriya, C. 2015. Medicinal and Nutritional Characteristics of Fruits in Human Health. J. of Medicinal Plants Studies. 4: 4. 124-131.
13. Kar, F., and Kaya, B.A. 2014. The rheological behavior of concentrated orange juice. International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Orlando, Florida.
14. Kargozari, M., Bagheri, L., and Mohammadi, A. 2017. Functional and dietary lemon beverage, stabilization and evaluation of physicochemical and sensory characteristics. Iranian Food Science and Technology Research J. 13: 2. 214-226. (In Persian)
15. Kiani, H., Mousavi, M., Razavi, H., and Morris, E. 2010. Effect of gellan, alone and in combination with high-methoxy pectin, on the structure and stability of doogh, a yogurt-based Iranian drink. Food Hydrocolloids. 24: 8. 744-754.
16. Nasiri, M., Farahnaky, A., Niakousari, M., Majzoobi, M., and Masbahi, G. 2014. Evaluation of processing condition on physicochemical properties and flow behavior of sour orange juice concentrate. J. of Food Research (AGRICULTURAL SCIENC). 24: 2. 155-166. (In Persian)
17. Salomonsen, T., Sejersen, M.T., Viereck, N., Ipsen, R., and Engelsen, S.B. 2007. Water mobility in acidified milk drinks studied by low-field 1H NMR. International Dairy Journal. 17: 4. 294-301.
18. Sejersen, M.T., Salomonsen, T., Ipsen, R., Clark, R., Rolin, C., and Engelsen, S.B. 2007. Zeta potential of pectin-stabilised casein aggregates in acidified milk drinks. International dairy J. 17: 4. 302-307.
19. Seyedabadi, M.M., Kashaninejad, M., Mahoonak, A. R., and Maghsoudlou, Y. 2016. Effect of ultrafiltration process on quality characteristics of sour orange juice. J. of Food Science and Technology. 13: 52. 119-129. (In Persian)
20. Seyedabadi, M.M., Suraki, A., Kashaninejadm., S., and Ziaiifar, M.A. 2017. Investigation of the effect of microwave on some physicochemical properties of sour orange juice. Food Science and Technology. 14: 1. 17-29. (In Persian)
21. Sharoba, A.M., and Ramadan, M.F. 2011. Rheological behavior and physicochemical characteristics of goldenberry (*Physalis peruviana*) juice as affected by enzymatic treatment. J. of Food Processing and Preservation. 35: 2. 201-219.
22. Szymczycha-Madeja, A., Welna, M., Jedryczko, D., and Pohl, P. 2014. Developments and strategies in the spectrochemical elemental analysis of fruit juices. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 55: 68-80.

23. Tromp, R.H., de Kruif, C.G., van Eijk, M., and Rolin, C. 2004. On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. Food Hydrocolloids. 18: 4. 565-572.
24. Valokalaei, S.F.A., Sani, A.M., Karazhiyan, H., and Salehi, E.A. 2011. Evaluating Synergetic effects between pectin and Carboxymethylcellulose in milk-raspberry juice drink. Innovation in Food Science and Technology. 3: 7. 1-10. (In Persian)