

تأثیر فرآیند غشایی اولترافیلتراسیون بر رئولوژی و شاخصه‌های رنگی آب نارنج

محمد مهدی سیدآبادی^{۱*}، مهدی کاشانی‌نژاد^۲، علیرضا صادقی ماهونک^۳، یحیی مقصدلو^۲

^۱ دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲ استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: آبمیوه‌ها نوشیدنی‌هایی با ارزش تغذیه‌ای فراوان، سرشار از آنتی‌اکسیدان‌ها و مواد معدنی ضروری برای سلامت انسان‌ها هستند. روش‌های نگهداری آبمیوه‌ها شامل تیمار حرارتی، انجماد، سرد کردن و برای برخی از آبمیوه‌ها؛ شفاف‌سازی و صاف کردن می‌باشند. شفاف‌سازی عبارت است از جدا کردن ترکیبات پخش شده به حالت پراکنده و کلوئیدی از سیستم و حفظ ترکیباتی که به صورت حقیقی در سیستم حل شده‌اند در روش‌های شیمیایی شفاف کردن (کلاسیک) از انواع مختلف آنزیم‌ها (پکتیناز، آمیلاز، پروتئاز و ...) و کمک شفاف‌کننده‌هایی همچون ژلاتین، بنتونیت، سیلیکاژل یا ترکیبی از این‌ها بهره گرفته می‌شود. روش‌های کلاسیک گران قیمت و وقت‌گیر هستند و عملیات دفع مواد ذکر شده مشکل می‌باشد. در سال‌های اخیر، فیلتراسیون غشایی به‌عنوان روش جدید فرآوری پیشنهاد شده است. استفاده از صافی‌های غشایی نیز یک روش مناسب است که مشکلات ناشی از کدورت را تا حد زیادی حل کرده است. استفاده از فرایندهای غشایی در عملیات شفاف‌سازی، باعث می‌شود که محصول از نظر کیفی دارای ثبات بیشتری بوده و به علت طبیعت استریل فرآیند، حذف میکروارگانیسم‌ها نسبت به روش‌های متداول به مراتب بیشتر شود. در این پژوهش، تأثیر پارامترهای غشایی شامل فشار (در دامنه ۲/۲-۱/۲ بار) و دمای خوراک (در دامنه ۳۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) بر ویسکوزیته، وزن مخصوص و شاخصه‌های رنگی آب نارنج (L^* ، a^* ، b^* ، اختلاف رنگ کل، کروما و شاخص قهوه‌ای شدن) در طول فرآیند شفاف‌سازی به کمک اولترافیلتراسیون بررسی شد.

مواد و روش‌ها: فرآیند غشایی UF برای شفاف‌سازی آب نارنج استفاده شد. آزمون‌های فیزیکوشیمیایی طبق استاندارد ملی ایران (۲۶۸۵) انجام شد. ویسکوزیته با ویسکومتر چرخشی بروکفیلد اندازه‌گیری شد. روش پردازش تصویر برای بررسی تغییرات رنگ بعد از فرآیند، استفاده شد. روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای فرآیند شفاف‌سازی غشایی (شامل دما و فشار عملیاتی) بر رئولوژی و رنگ آب نارنج به‌کاربرده شد. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert 9.0.0.7 صورت پذیرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که افزایش دما باعث افزایش شاخص قهوه‌ای شدن، ویسکوزیته، وزن مخصوص و کاهش L^* و TCD شد. افزایش فشار باعث کاهش شاخص قهوه‌ای شدن، کروما، ویسکوزیته و افزایش L^* و b^* و TCD شد. اثر سطوح مختلف دما و فشار بر روی اندیس a^* معنی‌دار نبود. مدل خطی و چندجمله‌ای درجه دوم به ترتیب بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی (وزن مخصوص، TCD) و (L^* ، b^* ، BI و کروما) بودند.

*مسئول مکاتبات: mahdi.seyedabadi@gmail.com

نتیجه‌گیری: استفاده از فرآیندهای غشایی باعث بهبود کیفیت (رنگ) نوشیدنی‌ها و آبمیوه‌ها (مثل نارنج) می‌شود. فیلتراسیون غشایی آب نارنج بدون پیش تیمار آنزیمی، کارایی مطلوبی در شفاف‌سازی آن داشت.

واژه‌های کلیدی: نارنج، شفاف‌سازی، غشاء، ویسکوزیته، شاخصه‌های رنگی

مقدمه

نارنج با نام علمی (*Citrus aurantium*) یکی از محصولات باغی و از انواع مرکبات در مناطق جنوب غرب آسیا و خصوصاً ایران می‌باشد که به پرتقال تلخ^۱ و یا سویل^۲ شهرت دارد. نارنج به دلیل طعم ترش و تلخ مصرف تازه خوری ندارد بلکه عصاره‌ی آن به عنوان چاشنی در تهیه غذاها و سالادها مورداستفاده قرار می‌گیرد. استفاده از روش‌های فرآوری که در آن‌ها از حرارت کمتری استفاده می‌شود به حفظ خواص تغذیه‌ای و حسی از جمله رنگ این محصول کمک می‌کند.

یکی از فاکتورهای مهم در پذیرش محصول توسط مصرف‌کنندگان خواص کیفی محصول است که متأثر از نوع و شرایط فرآوری محصول نیز می‌باشد. نخستین ویژگی‌های که یک مصرف‌کننده هنگام انتخاب محصول به آن توجه می‌کند، رنگ محصول می‌باشد. گاهی اوقات چنانچه ارتباطی بین ترکیبات رنگی موجود در ماده غذایی و ترکیب شیمیایی آن وجود داشته باشد. به جای آنالیز شیمیایی از اندازه‌گیری رنگ استفاده می‌شود. چون اندازه‌گیری رنگ نسبت به آنالیز شیمیایی آسان‌تر و سریع‌تر است (کاشانی نژاد و جعفری، ۲۰۱۰). اگرچه ممکن است در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بین رنگ، عطر و طعم مواد غذایی رابطه علمی وجود نداشته باشد، اما نتایج آزمون‌های حسی نشان می‌دهد که در اکثر موارد رنگ مطلوب، بر احساس عطر و طعم ماده غذایی اثر مثبت و قابل ملاحظه‌ای دارد (بلوریان و همکاران، ۲۰۱۱). از آنجایی که رفتار رئولوژیکی محصولات تولیدشده از آبمیوه‌ها تحت تأثیر مقدار و ویژگی ترکیبات تشکیل‌دهنده آن‌ها می‌باشد و به نوع میوه و تیمارهای انجام‌شده روی آن‌ها در طی فرآوری نیز بستگی دارد، لذا مطالعه رفتار رئولوژیکی این محصولات نه تنها از

جهت ارزیابی کیفی فرآورده‌ها مهم است، بلکه به منظور طراحی مراحل فرآوری شامل پمپ کردن، هم زدن، انتقال به وسیله خطوط لوله، تغلیظ و سایر مراحل، حائز اهمیت می‌باشد (واندرسین و همکاران، ۲۰۰۹).

شفاف‌سازی آبمیوه یک عملیات مهم در صنعت فرآوری میوه‌جات است که دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد؛ زیرا کیفیت محصول نهایی مثل رنگ، طعم، آروما، ظاهر و احساس دهانی محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عملیات شفاف‌سازی عبارت است از جدا کردن ترکیبات پخش‌شده به حالت پراکنده و کلوئیدی از سیستم و حفظ ترکیباتی که به صورت حقیقی در سیستم حل شده‌اند (بدبدک، ۲۰۰۹). با وجود اثرات مفید پلی فنل‌ها بر سلامت انسان، حضور این ترکیبات سبب ایجاد گسی و تلخی در آب نارنج می‌گردد. این ترکیبات عامل کدورت آب نارنج در طی تغلیظ و نگهداری نیز می‌باشند. لذا شفاف‌سازی و حذف عوامل کدورت‌زا اهمیت پیدا کرده است. در روش‌های شیمیایی (کلاسیک) از ترکیبات مختلف مانند آنزیم‌ها (پکتیناز، آمیلاز، پروتئاز و...) و کمک شفاف‌کننده‌هایی همچون ژلاتین، بنتونیت، سیلیکاژل یا ترکیبی از این‌ها بهره گرفته می‌شود. نحوه عملکرد کمک شفاف‌کننده‌ها، ایجاد لخته و به دنبال آن تشکیل رسوب می‌باشد. روش‌های کلاسیک گران و وقت‌گیر (۳۶-۲۴ ساعت) هستند و عملیات دفع مواد ذکرشده مشکل می‌باشد (علی‌پور و همکاران، ۲۰۱۳).

استفاده از صافی‌های غشایی نیز یک روش مناسب است که مشکلات ناشی از کدورت را تا حد زیادی حل کرده است. اساس فرایندهای غشایی عبور مواد از میان صافی است که این امر توسط یک نیروی رانشی صورت می‌گیرد. در فرایندهای غشایی، جزئی از خوراک که از غشاء عبور می‌کند به نام تراوه^۳ و

1. Bitter Orange
2. Soil

TCD و اندیس قهوه‌ای شدن) طی فرآیند غشایی اولترافیلتراسیون می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی آبمیوه: میوه نارنج واریته *citrus aurantium* L. از بازار میوه و تره‌بار گرگان خریداری شد و برای انجام تیمارها به صورت تصادفی از میان جعبه‌ها نمونه‌برداری شد. ابتدا نارنج‌ها را شسته و عمل آب‌گیری توسط آبمیوه‌گیر خانگی انجام شد. به منظور حذف هسته، لرد و مواد اضافی نمونه آب نارنج با استفاده از یک سری الک (با مش‌های ۳۰، ۶۰، ۱۰۰)، صاف گردید. آبمیوه حاصل بلافاصله وارد فرآیند اولترافیلتراسیون شد. در صورت ایجاد فاصله زمانی در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

سیستم غشایی: در این تحقیق از یک سیستم پایلوت غشایی UF^۲ با پیکربندی ۵ کاناله استفاده گردید. مشخصات فنی سیستم غشایی در جدول (۱) به صورت خلاصه آورده شده است.

اجزاء دستگاه شامل مخزن خوراک، پمپ سانتریفیوژی فشار بالا با پره‌ها و قاب تمام استیل، دماسنج عقربه‌ای، فشارسنج عقربه‌ای قبل و بعد از مدول غشایی جهت تنظیم فشار، گرم‌کن استیل برقی مجهز به ترموستات، شیر کنترل جریان و ترازوی دیجیتال بود. جنس تمام لوله‌ها، شیرها و اتصالات از استیل L ۳۱۶ بود. دمای خوراک با استفاده از گردش آب در مخزن دوجداره تنظیم گردید. به منظور کنترل بهتر سرعت جریان موقع آزمون و همچنین شستشوی پایلوت غشایی، از یک فرستنده (تغییردهنده فرکانس)^۳ استفاده گردید. تراوه در یک ظرف جمع‌آوری شده و ناتراوه به منبع تغذیه برگشت داده می‌شد (شکل ۱).

بخشی که نتواند از غشاء عبور کند، ناتراوه^۱ نامیده می‌شود. استفاده از فرآیندهای غشایی در عملیات شفاف‌سازی، باعث می‌شود که محصول از نظر کیفی دارای ثبات بیشتری بوده و به علت طبیعت استریل فرآیند، حذف میکروارگانیسم‌ها نسبت به روش‌های متداول به مراتب بیشتر شود (اسچورمن و همکاران، ۲۰۰۵).

منتظر و نیاکوثری (۲۰۱۲) اثر دو روش تولید سنتی و صنعتی را بر روی تغییرات رنگ (ارزش‌های روشنایی، قرمزی-سبزی، آبی-زردی، اشباعیت و اختلاف رنگ) و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب نارنج بررسی نمودند. رنگ آب نارنج نگهداری شده در دمای یخچال و دمای انجماد بدون کاهش چشمگیری حفظ شده بود. افزایش دما سبب تغییرات معنادار رنگ محصول و قهوه‌ای شدن و تولید بالای HMF و کاهش ویتامین ث آن شد.

بدبذک و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر تیمارهای مختلف با مواد کم‌کافی را بر شاخص‌های کیفی و رنگ آب انار بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تیمار آنزیم پکتولیتیک-ژلاتین-بنتونیت-سیلیکاسل از نظر شاخص‌های رنگ، بیشترین کاهش را در اندیس قهوه‌ای شدن (۵۳/۷٪)، رنگ پلیمری (۴۰/۸۵٪)، رنگ آنتوسیانینی (۲۰/۳۵٪) و رنگ ناشی از تانن (۳۵/۶۳٪) ایجاد کرد. کاسانو و همکاران (۲۰۰۸) اثر سطوح مختلفی دما و فشار و سرعت جریان را بر خواص عملکردی غشاء و ویژگی‌های کیفی آب انگور بررسی نمودند. کاهش شدت رنگ با افزایش شفافیت در فشارهای بسیار بالا مشاهده شد.

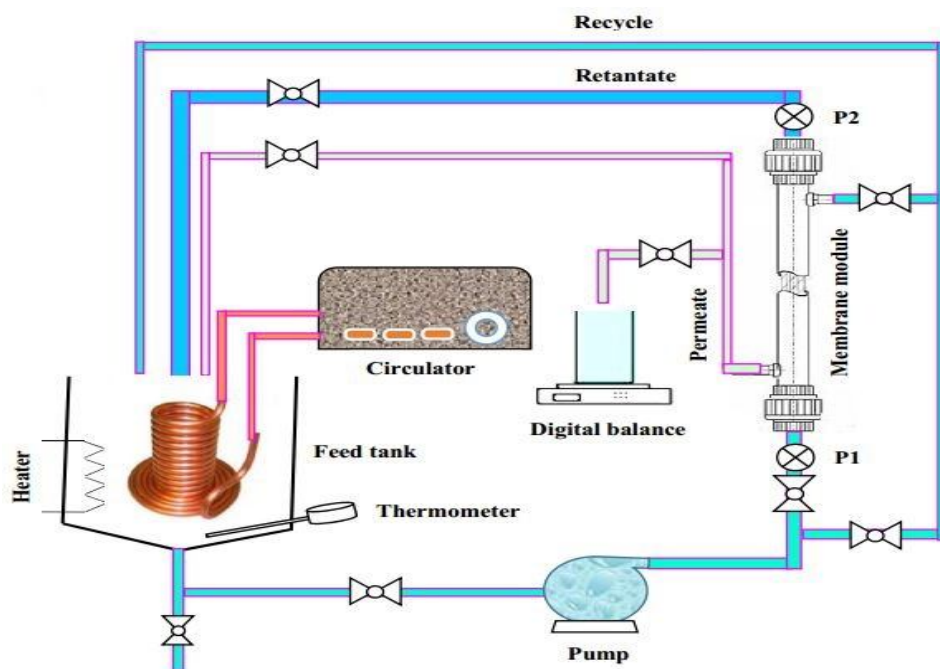
هدف از این پژوهش بررسی اثر پارامترهای عملیاتی دما (در دامنه ۲۵-۳۵ درجه سانتی‌گراد) و فشار (در دامنه ۲/۲-۱/۲ بار) بر رئولوژی (ویسکوزیته)، وزن مخصوص و پارامترهای رنگ سنجی آب نارنج (شاخص‌های L*، a*، b*، کروما،

2. Ultrafiltration
3. Frequency Changer

1. Retentate

Table 1. Technical characteristics of UF membrane at pilot scale

F01740	نوع غشاء (membrane type)
پلی وینیلیدین دی فلوراید (PVDF) (polyvinylidene difluoride)	جنس غشاء (membrane material)
0.1 m ²	سطح مؤثر غشاء (membrane area)
1.5_10.5	دامنه تحمل pH (pH range)
60 °C	حداکثر دمای قابل تحمل (maximum temperature)
1_10 bar	حداکثر فشار عملیاتی (maximum operating pressure)
200 KDa	قابلیت عبور مولکولی (molecular cut off)
لوله‌ای (tubular)	نوع مدول (module type)



شکل ۱: شماتیکی از پایلوت غشایی اولترافیلتراسیون

Figure 1. A schematic of the ultrafiltration membrane pilot

شماره ۲۶۸۵). PH نمونه توسط pH متر دیجیتال (PHS-3BW MICROPROCESSOR pH/Mv pH meter) ساخت کشور ایتالیا اندازه‌گیری شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۶۸۵). مواد جامد

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی: آزمون اسیدیته به روش عیارسنجی انجام شد و میزان اسیدیته برحسب گرم اسید غالب موجود در آب نارنج (اسیدسیتریک) در ۱۰۰ گرم آبمیوه بیان گردید (استاندارد ملی ایران،

طریق معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شود (دادالی و همکاران، ۲۰۰۷).

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$TCD = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (2)$$

در معادله (۲) اندیس 0 مربوط به مقادیر خوانده‌شده از نمونه اولیه است و مقادیر بیش‌تر TCD نمایانگر تغییرات بیش‌تر رنگ است.

شاخص قهوه‌ای شدن^۲، خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و یک شاخص مهم در فرایند حرارتی است. معادله‌های (۳) و (۴) جهت محاسبه‌ی این اندیس استفاده می‌شوند (دادالی و همکاران، ۲۰۰۷).

$$BI = \frac{[100(x - 0.31)]}{0.17} \quad (3)$$

$$x = \frac{a^* + 1.75 \times L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (4)$$

اندازه‌گیری ویسکوزیته: در این بررسی برای اندازه‌گیری ویسکوزیته از دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (Model LVDV-II Brookfield Engineering Laboratories, Inc. USA) استفاده شد. نمونه‌های آب نارنج به درون محفظه استوانه ای انتقال داده شد و ویسکوزیته با استفاده اسپیندل شماره S00 در ۸۰ دور بر دقیقه و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده و برحسب واحد سانتی‌پواز (cp) بیان شد. (بدبک، ۲۰۰۹ و عزت زادگان، ۲۰۱۲).

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش روش سطح پاسخ (RSM^۳) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD^۴) چرخش‌پذیر^۵ برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای فرآیند شفاف‌سازی

محلول (Brix) با استفاده از دستگاه رفاکتومتر دیجیتالی (ABBE) ساخت ژاپن اندازه‌گیری شده و به صورت درجه بریکس بیان شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۶۸۵).

وزن مخصوص: وزن مخصوص با استفاده از پیکنومتر دماسنج دار ۵۰ ml در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۲۶۸۵).

ارزیابی رنگ: ۳۰ میلی‌لیتر نمونه آب نارنج داخل پلیت ریخته و تصویر آن به کمک اسکنر ماسدل (HP scanjet G2710) گرفته شد. به‌منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور جانبی، سطح اسکنر با پارچه کاملاً سیاه و ضخیم پوشانیده شد. تصاویر با وضوح ۱۲۰۰ dpi و با فرمت JPEG ذخیره گردیدند. پس از انتقال تصاویر به رایانه، مختصات رنگی آن‌ها در فضای رنگی L*a*b* با نرم‌افزار ImageJ ورژن ۱/۴۸ استخراج شد. این فضای رنگی از سه مؤلفه L* معادل روشنایی تصویر که بین ۰ معادل مشکی و ۱۰۰ معادل انعکاس کامل نور است. مقادیر مؤلفه a* نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی معادل رنگ سبز است. b* مقادیر نامحدود است و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد و مقادیر منفی معادل رنگ آبی است. این سیستم رنگی عملکرد مشابه چشم انسان دارد. برخلاف فضاهای RGB و HSI متأثر از وسیله عکس‌برداری نیست. در اکثر موارد در پژوهش‌های صنایع غذایی از فضای رنگی L*a*b* استفاده می‌شود (پام و پاپاداکیس، ۲۰۰۴).

برای توصیف تغییرات رنگ^۱ (TCD) در طی فرآیند غشایی از شاخص‌های کروما (C)، اختلاف رنگ کل (TCD) استفاده شد. شاخص کروما نشان‌دهنده‌ی اشباعیت رنگ است. "C" و "TCD" به‌ترتیب از

2. Browning Index (BI)
3. Response Surface Methodology
4. Central Composite Design
5. Rotatable

1. Total Color Difference

L, a, b*, کروما، TCD و اندیس قهوه‌ای شدن) بودند. سه سطح کدبندی شده برای دو متغیر مستقل به صورت ۱-، ۰ و ۱ بود. سطوح متغیرهای مستقل ورودی به صورت کدبندی و غیر کدبندی شده در جدول (۲) نشان داده شده است. آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Design-Expert 9.0.0.7 صورت پذیرفت.

غشایی بر رئولوژی و رنگ آب نارنج به کار برده شد. تیمارها در ۱۳ آزمایش بر اساس طرح CCD شامل ۵ تکرار در نقطه مرکزی چیده شد. متغیرهای مستقل مورد استفاده شامل دما (محدوده ۲۵-۳۵ درجه سانتی‌گراد) و اختلاف فشار (محدوده ۱/۲-۲/۲ بار) و پاسخ‌های اندازه‌گیری شده شامل وزن مخصوص، ویسکوزیته و پارامترهای رنگ سنجی (شاخص‌های

جدول ۲: مقادیر کدبندی و غیر کدبندی شده متغیرها و سطوح آنها

Table 2. Coded and non-coded values of variables and their levels

+1	0	-1	سطوح کدبندی شده (coded data)	متغیرهای مستقل (independent variables)
35	30	25	X ₁	دما (temperature)
2.2	1.7	1.2	X ₂	فشار (pressure)

مساوی ۰/۰۵ باشد؛ به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر می‌باشد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی آب نارنج تازه مورد استفاده در این بررسی در جدول ۳ ذکر شده است. **تأثیر پارامترهای غشایی بر وزن مخصوص آب نارنج:** آنالیز واریانس (ANOVA) وزن مخصوص تراوه تیمارهای غشایی مختلف نشان داد که اثر سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی دما بر میزان وزن مخصوص معنی‌دار و اثر فشار غیر معنی‌دار بود.

آنالیز واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای فرآیند بر روی هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. توابع پاسخ در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های مختلف (خطی^۱، چندجمله‌ای درجه ساده^۲ و چندجمله‌ای درجه دوم^۳) بر اساس R² تصحیح شده^۴ (R²-adj) و R² پیش‌بینی شونده^۵ (R²-pred) مقایسه شدند. به صورتی که مدلی که دارای بیش‌ترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای قدرت پیش‌بینی بالا و دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش^۶ و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و برهمکنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته صورت گرفت. اگر مقدار P برای آزمون عدم برازش در ANOVA، بزرگ‌تر

1. Linear Model
2. 2FI Model
3. Quadratic Model
4. Adjusted R-Squared
5. Predicted R-Squared
6. Lack of fit

جدول ۳: ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب نارنج مورد استفاده

Table 3. Physicochemical characteristics of sour orange juice used in this study

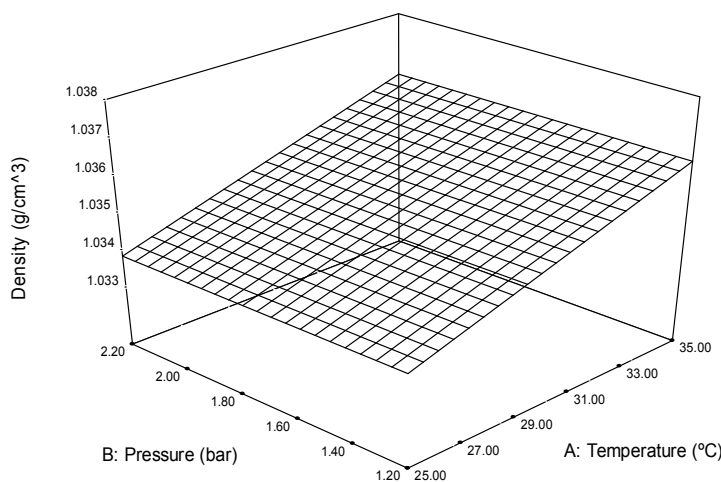
خوراک (feed)	خصوصیات فیزیکوشیمیایی (physicochemical properties)	خوراک (feed)	خصوصیات فیزیکوشیمیایی (physicochemical properties)
75.15	L*	2.63	PH
27.19	b*	4.864	اسیدیته (گرم اسیدسیتریک در ۱۰۰ گرم آبمیوه) Acidity (gr citric acid / 100 gr juice)
739.15	Chroma	9.8	بریکس (brix)
-45.29	BI	1.038	وزن مخصوص (Specific Gravity)
		1.73	ویسکوزیته (cp) Viscosity (cp)

با افزایش دما ضریب نفوذپذیری حلال و اجزای محلول و نیز ضریب انتشار مواد کلوئیدی انباشته شده از سطح غشاء به توده خوراک افزایش می‌یابد، بنابراین ضخامت غشاء ثانویه ناشی از این مواد و اثر ممانعتی آن در برابر عبور مواد کمتر می‌شود و در نتیجه وزن مخصوص تراوه افزایش می‌یابد (مک‌لیلان و همکاران، ۲۰۰۵). میانگین وزن مخصوص تراوه نسبت به خوراک به میزان ۰/۳۶٪ کاهش یافت. بر اساس نتایج به دست آمده، بیش‌ترین مقدار R^2 -adj و R^2 -pred برای مدل خطی و به ترتیب برابر ۸۳/۹۸٪ و ۷۶/۹۳٪ بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش،

۰/۰۵۰۵ بود. معادله (۵) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر مقدار وزن مخصوص نشان می‌دهد.

$$1.02781 - 0.000245029 \times \text{temperature} - 0.0000227513 \times \text{pressure} \quad (5)$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی دما در افزایش وزن مخصوص مؤثرتر از اثر خطی فشار هست. شکل (۲) اثرات متغیرهای مورد بررسی را بر میزان وزن مخصوص تراوه نشان می‌دهد. رای و همکاران (۲۰۰۷) کاهش چشمگیری در وزن مخصوص آب موسامبی طی فرآیند شفاف‌سازی غشایی و نزدیک شدن به وزن مخصوص آب را گزارش کردند.

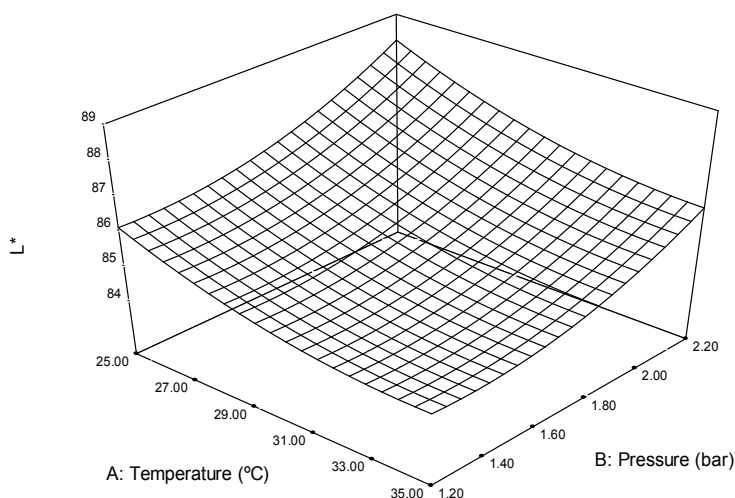


شکل ۲: نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر وزن مخصوص تراوه
Figure 2. 3D plot for the effect of pressure and temperature on density

$$L^* = 109.15161 - 1.21787 \times \text{temperature} - 5.36707 \times \text{pressure} - (0.027300 \times \text{temperature} \times \text{pressure}) + 0.018060 \times \text{temperature}^2 + 2.39587 \times \text{pressure}^2 \quad (6)$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی فشار در افزایش مؤلفه L^* مؤثرتر از اثر خطی دما می‌باشد. همچنین اثر درجه دوم فشار بیشتر از اثر درجه دوم دما در افزایش این مؤلفه می‌باشد. شکل (۳) اثرات متغیرهای موردبررسی را بر مؤلفه L^* تراوه نشان می‌دهد. با افزایش دما میزان تجزیه ترکیبات فنلی موجود در آب نارنج افزایش یافته و میزان مؤلفه L^* کاهش می‌یابد. افزایش فشار نیز باعث فشرده شدن لایه پلاریزاسیون غلظت و گرفتگی شده و این لایه فشرده مانع از عبور ترکیبات رنگی می‌شود و در نتیجه میزان مؤلفه L^* افزایش می‌یابد.

تأثیر پارامترهای غشایی بر پارامترهای رنگی آب نارنج: نتایج ANOVA مؤلفه‌های L^* ، a^* و b^* تراوه حاصل از تیمارهای غشایی مختلف نشان داد که اثر سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی دما و فشار بر میزان مؤلفه‌های L^* و b^* معنی‌دار و بر مؤلفه a^* غیر معنی‌دار بود. تیمارهای فرآیند غشایی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش روشنایی (مؤلفه L^*) آب نارنج در مقایسه با خوراک شدند. بیش‌ترین و کمترین افزایش L^* به ترتیب مربوط به تیمارهای 25°C ، $2/2$ بار و 37°C ، $1/7$ بار بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین مقدار $R^2\text{-pred}$ و $R^2\text{-adj}$ برای مدل چندجمله‌ای درجه دوم و به‌ترتیب برابر 74% و 52% بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش، $0/0505$ بود. معادله (۶) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر روی مؤلفه L^* نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر L^* تراوه

Figure 3. 3D plot showing the effect of pressure and temperature on L^*

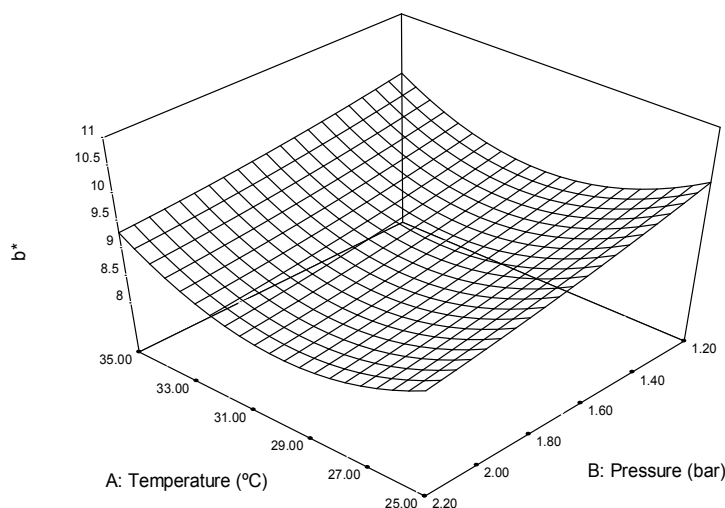
مقدار $R^2\text{-pred}$ و $R^2\text{-adj}$ برای مدل چندجمله‌ای درجه دوم و به‌ترتیب برابر 79% و 48% درصد بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش، $0/2686$ بود. معادله (۷) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر روی مؤلفه b^* نشان می‌دهد.

تیمارهای فرآیند غشایی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش زردی (مؤلفه b^*) آب نارنج در مقایسه با خوراک شدند. افزایش فشار سبب افزایش مؤلفه b^* شد. با افزایش دما، مؤلفه b^* ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین

دما در کاهش این مؤلفه می‌باشد. شکل (۴) اثرات متغیرهای موردبررسی را بر مؤلفه‌ی b^* تراوه نشان می‌دهد. اونسکزیگلو و همکاران (۲۰۱۰)، طی شفاف سازی آب سیب با UF و تغلیظ آن با OD، افزایش مؤلفه L^* و کاهش مؤلفه b^* را مشاهده نمودند.

$$b^* = 43.38117 - 2.11185 \times \text{temperature} - 2.90509 \times \text{pressure} + (0.038006 \times \text{temperature} \times \text{pressure}) + 0.034256 \times \text{temperature}^2 + 0.28633 \times \text{pressure}^2 \quad (7)$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی فشار در کاهش مؤلفه‌ی b^* مؤثرتر از اثر خطی دما می‌باشد. همچنین اثر درجه دوم فشار بیشتر از اثر درجه دوم



شکل ۴: نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر b^* تراوه

Figure 4. 3D plot showing the effect of pressure and temperature on b^*

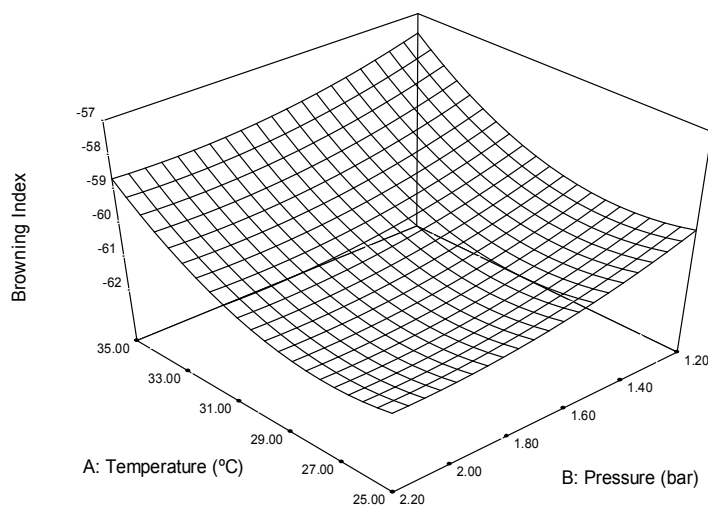
٪ بود. مقدار P برای آزمون فقدان برآزش، ۰/۳۴۶۸ بود. معادله (۸) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر روی BI نشان می‌دهد.

$$\text{Browning Index} = - 19.46269 - 2.51323 \times \text{temperature} - 7.24235 \times \text{pressure} + (0.029065 \times \text{temperature} \times \text{pressure}) + 0.045027 \times \text{temperature}^2 + 1.51845 \times \text{pressure}^2 \quad (8)$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی افزایش فشار در کاهش BI بیشتر از اثر خطی دما می‌باشد. همچنین اثر درجه دوم فشار بیشتر از اثر درجه دوم دما در کاهش BI می‌باشد. شکل (۵) اثرات متغیرهای موردبررسی را بر BI نشان می‌دهد. با افزایش دما، مقدار BI افزایش یافت. همچنین با افزایش فشار به دلیل متراکم و ضخیم‌تر شدن لایه ذرات انباشته‌شده بر سطح غشاء و در نتیجه کاهش اندازه مؤثر منافذ غشاء،

در این بررسی BI به روش رنگ‌سنجی ارزیابی شد و مشابه نتایج به‌دست‌آمده با روش اسپکتوفتومتری در پژوهش پیشین ما (سیدآبادی و همکاران/ چاپ نشده) بود. بررسی نتایج AVONA شاخص قهوه‌ای شدن تراوه تیمارهای غشایی مختلف نشان داد که اثر سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی فشار و دما بر BI معنی‌دار بود. مقایسه BI تراوه تیمارهای غشایی مختلف با خوراک نیز نشان داد که فرآیند شفاف‌سازی غشایی، باعث کاهش BI یا بهبود رنگ آب نارنج می‌گردد. بیش‌ترین و کمترین کاهش در BI به ترتیب مربوط به تیمارهای ۳۰ °C، ۲/۴ بار و ۳۷ °C، ۱/۷ بار بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین مقدار R^2 -pred و R^2 -adj برای مدل چندجمله‌ای درجه دوم و به ترتیب برابر ۹۱٪ و ۷۸٪

میزان عبور ترکیبات قهوه‌ای رنگ از غشاء کمتر شده و BI کاهش یافت (مکلیلان و همکاران، ۲۰۰۵؛ رازی و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۵: نمودار سه بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر BI تراوه

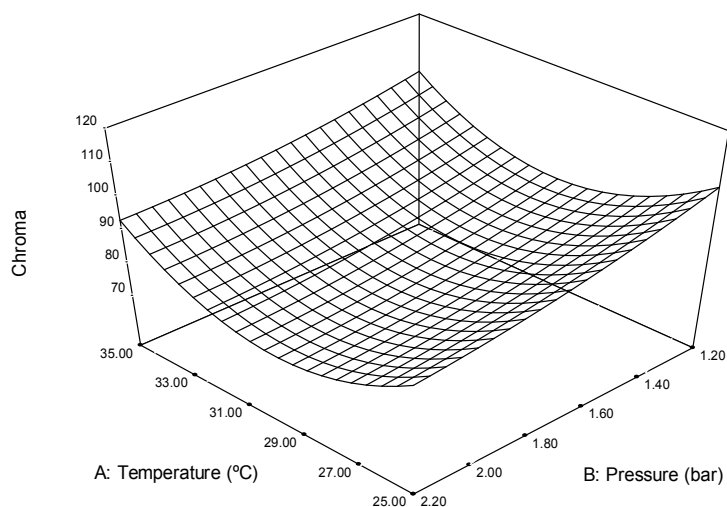
Figure 5. 3D plot showing the effect of pressure and temperature on BI

$$\text{temperature} \times \text{pressure}) + 0.63595 \times \text{temperature}^2 + 8.60248 \times \text{pressure}^2 \quad (9)$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی افزایش فشار در کاهش شاخص کروما بیشتر از اثر خطی دما می‌باشد. همچنین اثر درجه دوم فشار بیشتر از اثر درجه دوم دما در کاهش این شاخص می‌باشد. افزایش فشار باعث کاهش شدت رنگ محصول شد. مطابق شکل (۶) با افزایش دما شاخص کروما ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت که دلیل آن، افزایش بیش‌تر میزان قرمزی رنگ محصول (a^*) نسبت به کاهش میزان زردی (b^*) در بازه دمایی ۳۰ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد است (رازی و همکاران، ۲۰۱۱). این تغییرات ناشی از اثرات متقابل دما و فشار بر این پارامتر می‌باشد.

شاخص کروما تعیین‌کننده شدت رنگ محصول است. مقایسه میانگین کروما تراوه تیمارهای غشایی مختلف با خوراک نیز نشان داد که فرآیند شفاف‌سازی غشایی، باعث کاهش ۸۷ درصدی در مقدار این شاخص می‌گردد. بیشترین و کمترین کاهش در کروما به ترتیب مربوط به تیمارهای 30°C ، $1/7$ بار و 23°C ، $1/7$ بار بود. بر اساس نتایج به دست آمده، بیش‌ترین مقدار R^2 -adj و R^2 -pred برای مدل چندجمله‌ای درجه دوم و به ترتیب برابر ۸۲ و ۴۶ درصد بود. مقدار P برای آزمون فقدان برازش، $0/2868$ بود. معادله (۹) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر روی شاخص کروما نشان می‌دهد.

$$\text{Chroma} = + 723.28689 - 38.99492 \times \text{temperature} - 60.67813 \times \text{pressure} + (0.62377 \times$$

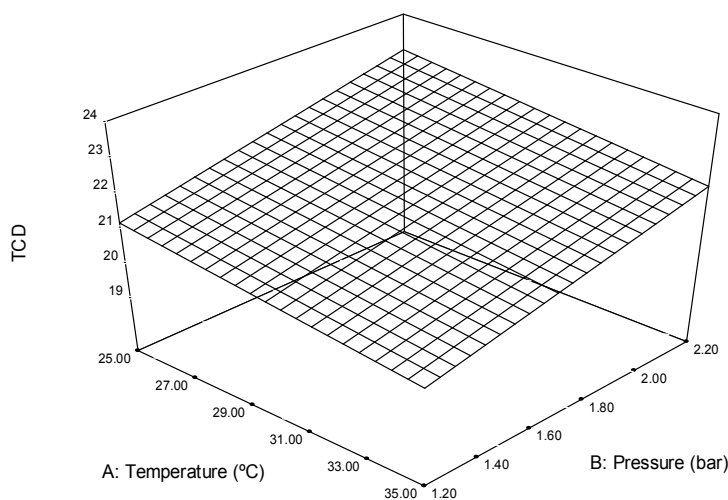


شکل ۶: نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر کرومای تراوه
Figure 6. 3D plot showing the effect of pressure and temperature on Chroma

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی افزایش فشار در کاهش TCD بیشتر از اثر خطی دما می‌باشد. روند تغییرات رنگ TCD در شکل (۷) نشان داده شده است. با افزایش دما به دلیل تغییرات بیشتر (کاهش) مؤلفه b^* نسبت به مؤلفه L^* و a^* ، روند کاهش در TCD مشاهده شد. همچنین با افزایش فشار به دلیل تغییرات بیشتر (افزایش) مؤلفه L^* و a^* نسبت به مؤلفه b^* ، TCD افزایش یافت.

تغییر پارامترهای غشایی باعث تغییر در TCD شد. بر اساس نتایج به دست آمده، بیش‌ترین مقدار R^2 -adj و R^2 -pred برای مدل خطی و به ترتیب برابر ۵۲٪ و ۴۲٪ بود. مقدار P برای آزمون فقدان برآزش، ۰/۰۵۰۳ بود. معادله (۱۰) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر روی TCD نشان می‌دهد.

$$TCD = + 21.54563 - 0.096882 \times \text{temperature} + 1.76259 \times \text{pressure} \quad (10)$$



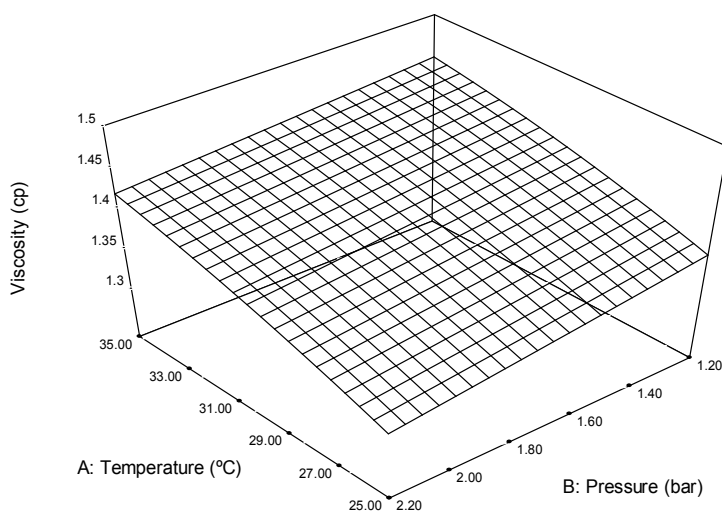
شکل ۷: نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر TCD تراوه
Figure 7. 3D plot showing the effect of pressure and temperature on TCD

آزمون فقدان برازش، ۰/۷۳۳۴ بود. معادله (۱۱) اثرات متغیرهای مستقل دما و فشار را بر روی مقدار ویسکوزیته نشان می‌دهد.

$$\text{Viscosity} = 1.04770 + 0.022589 \times \text{temperature} - 0.10424 \times \text{pressure} + (0.002 \times \text{temperature} \times \text{pressure}) - 0.000285 \times \text{temperature}^2 + 0.0015 \times \text{pressure}^2 \quad (11)$$

از این معادله می‌توان دریافت که اثر خطی دما مؤثرترین متغیر بر افزایش ویسکوزیته است. همچنین اثر درجه دوم فشار بیشتر از اثر درجه دوم دما در کاهش ویسکوزیته می‌باشد. شکل (۸) اثرات متغیرهای مورد بررسی را بر میزان ویسکوزیته تراوه نشان می‌دهد. افزایش دما سبب افزایش ضریب انتشار درشت مولکول‌ها و نازک شدن لایه‌ی ثانویه ایجادشده بر سطح غشاء شده و میزان عبور درشت مولکول‌ها نسبت به دمای پایین افزایش یافته و در نتیجه ویسکوزیته افزایش می‌یابد (لاورکو و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش فشار نیز باعث فشردن لایه پلاریزاسیون غلظت و گرفتگی شده و این لایه فشرده مانع از عبور ذراتی می‌شود و در نتیجه ویسکوزیته کاهش می‌یابد.

تأثیر پارامترهای غشایی بر ویسکوزیته آب نارنج: ویسکوزیته معیار اندازه‌گیری شدت جریان است، به‌طور کلی ویسکوزیته سیال بر انتخاب پمپ و مبدل حرارتی و سایر تجهیزات حین انتقال تأثیر می‌گذارد. آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین ویسکوزیته تراوه تیمارهای غشایی با خوراک نشان داد که مقادیر ویسکوزیته به‌طور معنی‌داری در مقایسه با خوراک و به میزان ۱۹٪ کاهش می‌یابد. دلیل این امر خروج مواد معلق و ذرات بزرگ مانند پکتین و مواد فنلی می‌باشد (مک‌لیلان و همکاران، ۲۰۰۵). لاورکو و همکاران (۲۰۱۰) کاهش ۳۳/۳ درصدی ویسکوزیته در تراوه آب آناناس حاصل از اولترافیلتراسیون با غشاء ۳۰ kDa و کاهش ۳۱/۴ درصدی در تراوه حاصل از اولترافیلتراسیون با غشاء ۱۰۰ kDa را گزارش نمودند. رای و همکاران (۲۰۰۷) کاهش چشمگیری در میزان ویسکوزیته عصاره نارنگی و نزدیک شدن به ویسکوزیته آب را پس از اعمال فرآیند شفاف‌سازی غشایی گزارش کردند. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیش‌ترین مقدار $R^2\text{-pred}$ و $R^2\text{-adj}$ برای مدل چندجمله‌ای درجه دوم و به ترتیب برابر ۸۳٪ و ۷۸٪ بود. مقدار P برای



شکل ۸: نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دما و فشار بر ویسکوزیته تراوه

Figure 8. 3D plot showing the effect of pressure and temperature on viscosity

- Daneshgahi Press. 1th Edition. 110pp. (In Persian).
5. Cassano, A., Mecchia, A., and Drioli, E. 2008. Analyses of hydrodynamic resistances and operating parameters in the ultrafiltration of grape must. *Journal of food engineering*, 89(2), 171-177.
 6. Dadali, G., Kılıç Apar, D., and Özbek, B. 2007. Color change kinetics of okra undergoing microwave drying. *Drying Technology*, 25(5): 925-936.
 7. Ezzatzadegan, S. 2012. The effect of ultrafiltration membrane parameters on quality characteristics parameters of mixed vegetable juices. M. Sc Dissertation, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian).
 8. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, 2007. Juice and experimental method, ISIRI 2685, 1st.revision.
 9. Jafari, S.M., and Kashaninejad, M. 2010. Physical properties of food. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources & Makhtumgholi faraghi Press. 1th Edition. 236pp. (Translated in Persian).
 10. Laorko, A., Li, Z., Tongchitpakdee, S., Chantachum, S., and Youravong, W. 2010. Effect of membrane property and operating conditions on phytochemical properties and permeate flux during clarification of pineapple juice. *Journal of food engineering*, 100(3): 514-521.
 11. McLellan, M.R., and Padilla-Zakour, O.I. 2005. Juice Processing. In: *Processing Fruits, Science & Technology*, Eds: Barrett, D.M., Somogyi, L., and Ramaswamy, H., Second edition, Florida. USA., CRC Press LLC, 71-95.
 12. Montazer, Z., and Niakousari, M. 2012. Evaluation of color change of sour orange juice (from different stages of processing line) during storage. *Journal of food science and technology*, 9(4), 109-121. (In Persian).
 13. Onsekizoglu, P., Bahceci, K.S., and Acar, M.J. 2010. Clarification and the concentration of apple juice using membrane processes: A comparative

نتیجه گیری کلی

استفاده از فرآیندهای غشایی باعث بهبود کیفیت (رنگ) نوشیدنی‌ها و آبمیوه‌هایی مثل نارنج، توسعه محصولات جدید و در نهایت افزایش بهره‌وری و سودآوری می‌شود. افزایش دما باعث افزایش BI، ویسکوزیته، وزن مخصوص و کاهش L^* شد. افزایش فشار باعث کاهش BI، کروما و افزایش مؤلفه‌های L^* و b^* شد. تیمارهایی غشایی باعث تغییر در TCD تراوه حاصل شد، به طوری که افزایش دما باعث کاهش TCD شده ولی افزایش فشار نتیجه عکس را نشان داد. فیلتراسیون غشایی آب نارنج بدون استفاده از هرگونه پیش‌تیمار آنزیمی، کارایی مطلوبی در شفاف‌سازی آن داشت.

منابع

1. Alipour, E., Koocheki, A., and Mortazavi, S.A. 2013. Optimization of kiwi fruit juice clarification using pectinase enzyme, bentonite and polyvinyl polypyrrolidone. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 8(4): 361-370. (In Persian).
2. Bodbodak, S. 2009. Effects of membrane clarifying process operational parameters and enzymatic-filter aid pre-treatment on pomegranate juice (*Punica Granatum L.*) quality. M. Sc Dissertation, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian).
3. Bodbodak, S., Hesari, J., Kashaninejad, M., Razavi, S.M.A., and Sarhadi, S. 2010. The effect of different treatments of clarification with filter aid material on the quality characteristics and color of pomegranate juice. *Journal of Food Research (Agricultural Science)*. 3(1): 57-71. (In Persian).
4. Bolourian, Sh., Hosseini, F., Rahimizadeh, M., Fazli Bazzaz, B.S., Karimi, M., and Najafi, Mn. (2011). Natural edible colorants. Mashhad Jahad

- of (kieselguhr free) beer membrane filtration and latest developments on combined membrane filtration and stabilisation. In 10th brewing convention, Pilanesberg, South Africa.
17. Vandresen, S., Quadri, M.G., de Souza, J.A., and Hotza, D. 2009. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*, 92(3): 269-274.
18. Yam, K.L., and Papadakis, S.E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61(1): 137-142.
- quality assessment. *Journal of Membrane Science*, 352(1): 160-165.
14. Rai, P., Majumdar, G.C., Das Gupta, S., and De, S. 2007. Effect of various pretreatment methods on permeate flux and quality during ultrafiltration of mosambi juice. *Journal of Food Engineering*, 78(2): 561-568.
15. Razi, B., Aroujalian, A., Raisi, A., and Fathizadeh, M. 2011. Clarification of tomato juice by cross-flow microfiltration. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1): 138-145.
16. Schuurman, R., Broens, L., Mepschen, A., and Meijer, D. 2005. Full scale results

Effect of ultrafiltration process on rheology and color indices of sour orange juice

M. Seyedabadi^{1*}, M. Kashaninejad², A. Sadeghi Mahoonak³, Y. Maghsoudlou²

¹Ph.D. student, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

²Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

Received: 2014/05/17; Accepted: 2017/01/04

Abstract

Background and objectives: Fruit Juice has great nutritional value and rich in antioxidants and essential minerals for human health. Different processes such as heat treatment, freezing, cooling and in some cases clarification and filtration are applied for the preparation and preservation of juices. In clarification, the suspended solids and colloid compounds are removed from the solution system. In chemical clarification methods (classic method), different types of enzymes (pectinase, amylase, protease, etc.) and finning compounds such as gelatin, bentonite, and silica gel or combination of these agents are used. Classic methods are expensive and time-consuming, and it is difficult to remove the mentioned added materials. In the recent years, membrane filtration has been proposed as a new processing method. The use of membrane filtration is a good way to overcome juice turbidity. In addition, by using membrane filtration, higher stability and lower microbial contamination will be gained in the final product in comparison to conventional methods. In this study, the effect of membrane parameters including pressure (1.2-2.2 bar) and temperature (25-35 °C) on the viscosity, density and color indices (L^* , a^* , b^* , total color difference, chroma and browning index) of sour orange juice during membrane clarification was investigated.

Materials and methods: UF membrane was used for the clarification of sour orange juice. Physicochemical tests were performed according to Institute of Standard and Industrial Research of Iran (2685) methods. Viscosity was measured by using rotational Brookfield viscometer. Image processing method was used for tracing color changes after the process. Response surface methodology with central composite design was employed to predict the impact of UF process variables (temperature and operating pressure) on the rheology and color of sour orange juice. Data analysis was performed using Design-Expert 9.0.0.7 software.

Results: Results showed that by increasing temperature, the browning index, viscosity and density increased, but L^* and TCD decreased. The browning index, chroma and viscosity decreased by increasing the pressure, but L^* , b^* and TCD increased. Effect of temperature and pressure on a^* index was not significant. Linear and quadratic models were the best models to predict density, TCD and to predict L^* , b^* , BI and Chroma, respectively.

Conclusion: The use of membrane processes improves the quality (color) of beverages and fruit juices. The membrane filtration showed good performance in sour orange juice clarification.

Keywords: Sour orange, Clarification, Membrane, Viscosity, Color indices.

* Corresponding author; seyedabadi@gmail.com