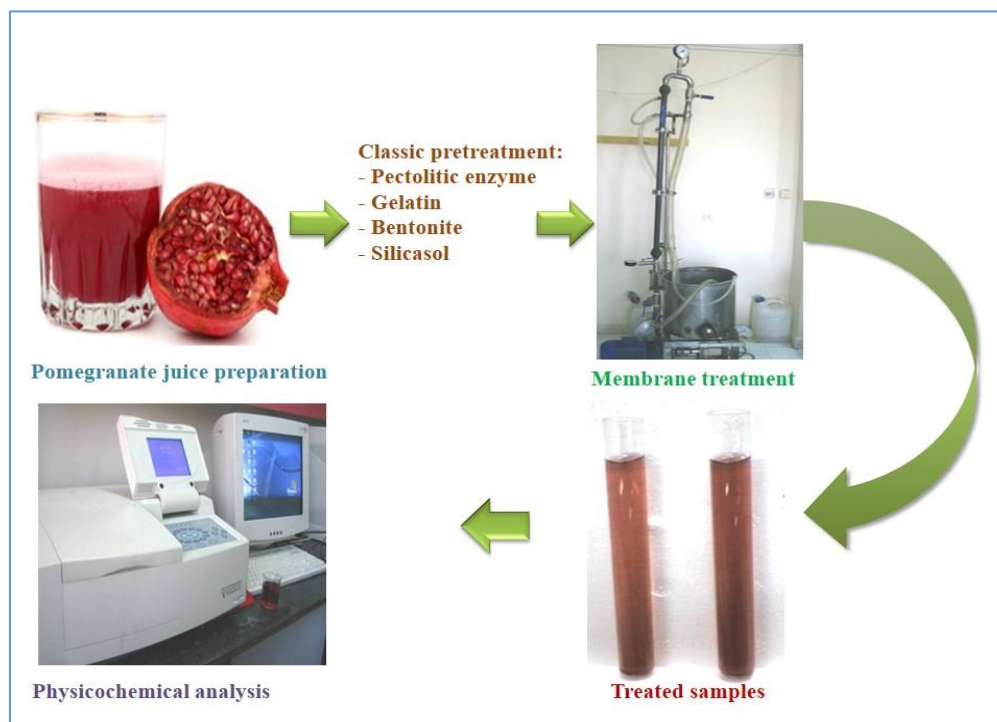


## Role of Ultrafiltration Process in Pomegranate Juice Clarification: Quality and Rheological Indices and Bioactive Compounds

Samad Bodbodak<sup>1\*</sup> and Boukaga Farmani<sup>1</sup>

1. Department of Food Science and Technology, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(Received: June 21, 2021- Revised: Oct. 20, 2021- Accepted: Nov. 7, 2021)



**ABSTRACT:** In this study, the effect of ultrafiltration membrane clarification process on quality indices, bioactive compounds and rheology of pomegranate juice was investigated. For this purpose, after clarification of pomegranate juice by classic method, the juice was treated by ultrafiltration clarification and the effect of operating parameters such as temperature (20 and 30°C) and pressure (1.5, 2.0 and 2.5 bar) on clarity, viscosity, pectin, anthocyanin, phenol, tannin and DPPH radical scavenging activity of pomegranate juice was studied. The results showed that treatments of temperature 20°C and pressure 2 bar and temperature 30°C and pressure 2 bar had the lowest (2.8%) and highest (14.3%) reduction in total anthocyanin, respectively. The treatments temperature 20°C and pressure 2 bar and temperature 30°C and pressure 2 bar had the lowest (6564 mg/L) and highest (5697 mg/L) total phenol content, respectively. The highest reduction of total tannin was observed for treatment temperature 20°C and pressure 2.5 bar (49.7%). The results showed that in all treatments, pectin amount had been reduced over 98% and also, the maximum clarity (96.5%) was observed in sample temperature 20°C and pressure 2.5 bar. In addition, the results showed that an increase in pressure from 1.5 to 2.5 bar led to a significant decrease in viscosity in both temperatures of 20 and 30°C ( $p < 0.05$ ). Finally, it was concluded that treatment temperature 20°C and pressure 2.5 bar in ultrafiltration membrane clarification are suitable for pomegranate juice clarification.

**Keywords:** Clarity, Permeate flux, Membrane process, Anthocyanin.

\*Corresponding author: s.bodbodak@tabrizu.ac.ir

# نقش فرآیند اولترافیلتراسیون در شفاف‌سازی آب انار: شاخص‌های کیفی و رئولوژیکی و ترکیبات زیست فعال

صمد بدبدک<sup>\*</sup> و بیوک آقا فرمانی<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز،

تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۳۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۷/۲۸ - تاریخ تصویب:

۱۴۰۰/۸/۱۶)

چکیده: در این تحقیق تاثیر فرآیند شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون بر شاخص‌های کیفی، ترکیبات زیست فعال و ویسکوزیته آب انار مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، آب انار پس از پیش تیمار اولیه با روش کلاسیک شفاف‌سازی تحت تیمار شفاف‌سازی اولترافیلتراسیون قرار گرفت و اثر شاخص‌های عملیاتی شامل: دما (۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس) و فشار (۱/۵، ۲/۰ و ۲/۵ بار) بر شفافیت، ویسکوزیته، محتوی پکتین، آنتوسیانین، فنول، تانن و درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH آب انار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که از نظر آنتوسیانین کل، تیمارهای دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار و دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار به ترتیب کمترین (۲/۸ درصد) و بیشترین (۱۴/۳ درصد) کاهش را داشتند. میزان فنول کل تیمارهای دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار و دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار به ترتیب کمترین (۶۵۶۴ میلی‌گرم بر لیتر) و بیشترین (۵۶۹۷ میلی‌گرم بر لیتر) مقدار بود. بیشترین کاهش در تانن کل در تیمار دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۵ بار (۵۰ درصد) بود. نشان داد که در همه تیمارها مقدار پکتین بیش از ۹۸ درصد کاهش یافت و بیشترین شفافیت (۹۶/۵ درصد) نیز در تیمار دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۵ بار مشاهده شد. بعلاوه، نتایج نشان داد افزایش فشار از ۱/۵ بار به ۲/۵ بار باعث کاهش معنی‌دار مقدار ویسکوزیته در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس شد ( $p < 0.05$ ). در نهایت، نتیجه‌گیری شد که تیمار دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۵ بار در شفاف‌سازی غشاء اولترافیلتراسیون برای فرآیند آب انار مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شفافیت، شار تراوه، فرآیند غشایی، آنتوسیانین.

## مقدمه

قسمت خوراکی میوه انار ۵۲ درصد وزن کل میوه را شامل می‌شود که از ۷۸ درصد آب‌میوه و ۲۲ درصد هسته تشکیل شده است. آب‌میوه تازه حاوی ۸۵/۴ درصد آب، مقدار قابل توجه مواد جامد کل مانند قندها، آنتوسیانین‌ها، تانن‌ها، فنول‌ها، اسید اسکوربیک و پروتئین‌ها است (El-Nemr *et al.*, 1990). میوه انار منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال است که به خاطر قدرت آنتی‌اکسیدانی بالا توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Kalaycıoğlu & Erim, 2017). فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب انار استخراج شده از میوه کامل انار ۳ برابر بیشتر از چای سبز است که به حضور ترکیبات آنتوسیانینی، فنولی و تانن‌های قابل هیدرولیز مانند پانی‌کالاگین نسبت داده می‌شود (Kalaycıoğlu & Erim, 2017). بررسی‌ها نشان می‌دهد که از نظر فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه انار جزء ۷ میوه برتر است (Fu *et al.*, 2011). آزمایشات برون‌تنی و درون‌تنی ثابت کرده است که آب انار دارای فعالیت ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدالتهابی و ضدسرطانی است (Rahimi *et al.*, 2012). همچنین مطالعات نشان داده که آب انار دارای اثر درمانی و بازدارندگی بر انواع سرطان مانند سرطان پروستات، بیماری‌های التهابی و گرفتگی قلبی-عروقی و چاقی است (Turrini *et al.*, 2015).

آب انار از نظر تقسیم‌بندی در گروه آب‌میوه‌های شفاف قرار دارد. بنابراین، عملیات شفاف‌سازی پس از فرآیند استخراج آب انار ضروری می‌باشد. ترکیبات پکتینی، پروتئین‌ها، ترکیبات پلی‌فنولی، تانن‌ها، یون‌های فلزی و سلولز عوامل ایجاد کننده کدورت طبیعی در آب انار هستند. شفاف‌سازی آب انار پس از آنزیم‌زنی، با افزودن مواد کمک صافی (بنتونیت، ژلاتین، سیلیکاسل و ...) در دمای آنزیم‌زنی (دمای ۲۵-۲۰ درجه سلسیوس) انجام می‌شود (Turrini *et al.*, 2015). در صنعت آب‌میوه، شفاف‌سازی یک عملیات واحد است که شامل حذف رنگ نامطلوب، کدورت، تلخی، گسی، عطر

و طعم نامطلوب می‌باشد (Pyrrouzifard, 2000). از مواد کمک صافی رایج در صنعت آب‌میوه می‌توان به بنتونیت، ژلاتین و سیلیکاسل اشاره کرد. در شفاف‌سازی آب انار با روش کلاسیک نتیجه‌گیری شده است که بهترین روش شفاف‌سازی آب انار استفاده از آنزیم پکتولیتیک (۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) - ژلاتین (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) - بنتونیت (۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) - سیلیکاسل (۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد (Bodbodak *et al.*, 2009). (Vardin & Fenercioglu, 2003) با بررسی تاثیر ژلاتین و پلی وینیلیدن پلی پرولیدون بعنوان مواد کمک صافی برای شفاف‌سازی آب انار اظهار کردند که استفاده از ژلاتین باعث کاهش مقدار ترکیبات فنولی، کدورت، حفظ ترکیبات آنتوسیانینی و بهبود ویژگی‌های حسی آب انار شد.

شفاف‌سازی و تغلیظ دو کاربرد عمده فیلتراسیون غشایی در فرآیندهای پس از برداشت می‌باشد و به عنوان جایگزین فرآیند شفاف‌سازی کلاسیک با استفاده از مواد کمک صافی مانند ژلاتین، بنتونیت و... مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور کلی مزایا و ویژگی‌های فرآیندهای غشایی شامل: ساده و مدولی بودن، عدم استفاده از مواد شیمیایی، شرایط عملیاتی انعطاف‌پذیر، مناسب بودن برای مواد حساس به حرارت، حفظ عطر و طعم و تازگی، حفظ ارزش تغذیه‌ای، صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش قیمت تمام‌شده محصول می‌باشد. از معایب فرآیندهای غشایی می‌توان به بالا رفتن هزینه‌های عملیاتی با مقیاس کار، کاهش کارایی غشاء با گذشت زمان در اثر پدیده‌های گرفتگی سطحی منافذ و پلاریزاسیون غلظت و حساس بودن مواد سازنده غشاء به شرایط pH، دما، مواد شوینده سیستم غشایی، کلرین و حلال‌های آلی اشاره کرد (Mondal *et al.*, 2016).

(Mirsaeedghazi *et al.*, 2010) با بررسی شفاف‌سازی آب انار توسط غشاء میکروفیلتراسیون صفحه‌ای با جنس PVDF گزارش دادند که کاهش شار تراوه در غشاء با اندازه منافذ ۰/۲۲ میکرومتر نسبت به غشاء

عنوان غشاء ثانوی، میزان عبور مقدار کمی ترکیبات آنتوسیانینی، فنولی و تاننی کاهش و درصد دفع آنها با گذشت زمان فرآوری افزایش یافت.

هدف این مطالعه ارزیابی کارایی غشاء پلیمری پلی‌وینیلیدن دی‌فلوراید لوله‌ای اولترافیلتراسیون با حد وزن مولکولی برابر ۲۰ کیلودالتون در مقیاس نیمه صنعتی برای شفاف‌سازی آب انار پیش تیمار شده با روش شفاف‌سازی کلاسیک و بررسی تاثیر پارامترهای عملیاتی (دما و فشار) بر کارایی فرآیند غشایی، شاخص‌های کیفی، ترکیبات زیست فعال و خصوصیات رئولوژیکی آب انار بود.

### مواد و روش‌ها

انار وارسته ملس (*Punica granatum L.*) از بازار محلی ساوه تهیه شد و مواد شیمیایی استفاده شده با درجه آنالیزی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. میوه‌های انار با ظاهر تقریباً هم اندازه و با رنگ یکنواخت به طور تصادفی انتخاب و پس از شستشو به صورت دستی پوست‌گیری شد. پس از جداسازی دانه‌های انار عمل آب‌گیری با استفاده از آبمیوه‌گیر خانگی (Toshiba Ltd., Japan) انجام شد.

### پایلویت سیستم اولترافیلتراسیون

سیستم غشایی مورد استفاده در این مطالعه مجهز به مخزن خوراک با ظرفیت ۷۰ لیتر، پمپ سانتریفیوژی، دماسنج، فشارسنج، گرم‌کن استیل برقی مجهز به ترمواستات، دبی‌سنج، شیر کنترل دبی و ترازوی دیجیتالی بود. سیستم غشایی مورد استفاده دارای مسیر جانبی برای انجام برگشت بدون عبور از غشاء و مسیر مجزا برای شستشو معکوس بود. مدول غشایی مورد استفاده از نوع لوله‌ای پلیمری از جنس پلی‌وینیلیدن - فلوراید، سطح موثر ۰/۱ متر مربع، ۵ کاناله با حد وزن مولکولی برابر ۲۰ کیلو دالتون (Aquious- PCI Membrane, USA) بود. جدول ۱ مشخصات فنی غشاء مورد استفاده را نشان می‌دهد.

۰/۴۵ میکرومتر بیشتر بوده و افزایش مقاومت گرفتگی غشاء در زمان شروع فرآیند غشایی بیشتر بود. آنها با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی اظهار کردند که لایه کیک بیشترین تاثیر را بر گرفتگی غشاء داشت که در مرحله شستشو غشاء حذف شده و غشاء مجدداً کارایی اولیه خود را برای استفاده مجدد بدست آورد. همچنین آنها گزارش کردند که شفاف‌سازی غشایی باعث کاهش کدورت، اسیدیته و ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب انار می‌شود و اندازه منافذ غشاء تاثیری بر این شاخص‌ها ندارد. (Cassano 2015) *et al.* با بررسی اثر فشار در عرض غشاء و سرعت جریان عرضی بر شار تراوه، گرفتگی غشاء و کیفیت آب انار شفاف‌شده با غشاهای فیبرتوخالی پلی‌اتر-کتونی و پلی‌سولفونی دریافتند افزایش سرعت جریان عرضی غشاء باعث کاهش پلاریزاسیون غلظت و افزایش شار تراوه شد و افزایش فشار تاثیر قابل توجهی بر شار تراوه نداشت که دلیل آن ضخیم و فشرده شدن لایه کیک تشکیل شده بر سطح غشاء است. آنها همچنین گزارش کردند که غشاء پلی‌سولفونی، گرفتگی و پس‌زنی ترکیبات زیست فعال کم‌تری نسبت به غشاء پلی‌اتر-اترکتونی داشت (Cassano *et al.*, 2015). (2015) *Galiano et al.* گزارش کردند که غشاء فیبرتوخالی از جنس پلی‌وینیلیدن دی‌فلوراید در مقایسه با غشاء پلی-سولفونی با اندازه منافذ ۰/۱۳ میکرومتر، شار تراوه بیشتر و پس‌زنی ترکیبات زیست فعال کم‌تری داشت و در نتیجه در آب انار شفاف شده با این غشاء فعالیت آنتی-اکسیدانی بالاتری گزارش شد. علاوه بر این ماهیت هیدروفوبی غشاء پلی‌وینیلیدن دی‌فلوراید باعث می‌شود که امکان تشکیل پیوندهای هیدروژنی و واندروالاسی بین غشاء و گروه‌های هیدروکسیل ترکیبات پلی فنولی، آنتوسیانینی و فلاونوئیدی کاهش یافته و در نتیجه جذب آنها در سطح غشاء و گرفتگی غشاء کم‌تر شده و در مقابل مقدار این ترکیبات در تراوه افزایش یابد (2020) *Condi et al.*, (2021) *Bodbodak et al.* دریافتند که با متراکم و ضخیم‌تر شدن لایه کیک سطحی غشاء به

جدول ۱ - مشخصات فنی غشاء UF لوله‌ای مورد استفاده

مقدار	واحد	مشخصات غشاء FTPO3
۰/۱	متر مربع	سطح موثر غشاء
۲۰-۳۰	لیتر بر دقیقه	شار آب
پلی‌وینیلیدن دی فلوراید	—	جنس غشاء
لوله‌ای	—	نوع مدول
پلیمری	—	مواد قاب نگهدارنده
۶	میلی‌لیتر	کانال غشایی
۲۰	کیلو دالتون	حد وزن مولکولی
۶۰	درجه سلسیوس	حداکثر دمای قابل تحمل
۱/۱۰-۵/۵	—	دامنه pH غشاء
۱۰	بار	حداکثر فشار غشاء
۱۲۰۰	میلی‌متر	طول مدول
۲۵/۴	میلی‌متر	قطر بیرونی قاب نگهدارنده

شاخص‌های کیفی مانند اسیدیته کل به روش تیتراسیون و با استفاده از pH متر (pH lab, Metrohm, Switzerland ۸۲۷) (He et al., 2007)، مواد جامد محلول کل (بریکس) با استفاده از دستگاه رفاکتومتر (CETI, ABBE.Belgium) (Gökmen et al., 2008)، چگالی با استفاده از پیکنومتر (pH lab, Metrohm, Switzerland ۸۲۷) (He et al., 2007)، ویسکوزیته با استفاده از دستگاه ویسکومتر چرخشی بروکفیلد (Model LVDV-II Brookfield Engineering Laboratories, Inc. USA) و محفظه استوانه‌ای ۱۶ میلی‌لیتری (Y ۳۱ Brookfield Engineering Laboratories, Inc. USA: Model ULA-YULA-۱۵) و سرعت ۸۰ دور بر دقیقه برحسب واحد سانتی‌پواز (Orak, 2007)، تانن کل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV/VIS PG + Pulipati et al., 2014) (T۸۰ Instrument Ltd.)، فنول کل به روش فولین-سیوکالتو (Gökmen et al., 2008)، آنتوسیانین کل به روش اختلاف pH با استفاده از اسپکتروفتومتر (Gil et al., 2000)، مقدار پکتین با تعیین مقدار مواد نامحلول در اتانول ۸۰ درصد (Kashyap et al., 2001)، درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH با استفاده از اسپکتروفتومتر پس از رقیق سازی به نسبت ۱ به ۱۰۰ با محلول متانول در آب ۵۰ درصد

#### مراحل انجام عملیات غشایی

در این تحقیق آب انار پیش تیمار شده با آنزیم پکتولیتیک (۶۰ دقیقه و ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر)، ژلاتین (۱۵ دقیقه و ۱۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) و بنتونیت (۱۵ دقیقه و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) به عنوان خوراک برای سیستم شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون استفاده شد (Bodbodak et al., 2009). عملیات شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون در دو سطح دما (۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس) و سه سطح اختلاف فشار در عرض غشاء (۱/۵، ۲/۰ و ۲/۵ بار) به مدت ۴۵ دقیقه انجام شد. آزمایشات غشایی با الگوی تغلیظ تک مرحله‌ای انجام و مقدار شار تراوه با ترازی دیجیتالی توزین و محاسبه شد. پس از اتمام هر تیمار غشایی، شستشوی غشاء طبق پروتکل شستشوی اعلام شده توسط سازنده غشاء انجام گرفت و میزان بازیابی شار پس از انجام مراحل شستشو اندازه‌گیری شد. غشای مورد استفاده در این تحقیق بازیابی شار آب مناسب و تکرارپذیری خوبی برای همه تیمارها نشان داد. این امر به دلیل کارایی بالا، صحت عملیات شستشو و اعمال فرآیند پیش تیمار قبل از شفاف‌سازی غشایی آب انار بود. بازیابی میزان شار آب خالص پس از انجام مراحل شستشو برای همه تیمارها بالای ۹۷/۵ درصد بود که این مقدار بازیابی برای فرآیندهای شستشوی غشایی مناسب است (Razavi et al., 2006).

غلظت نسبت داده می‌شود. البته، گرفتگی داخلی به خاطر مسدود شدن منافذ غشاء در مراحل اولیه شفاف-سازی را نیز می‌توان به عنوان عامل دیگر در کاهش سریع شار تراوه در نظر گرفت. در مرحله دوم، شار تراوه با شیب ملایم‌تر کاهش و در نهایت شار تراوه به حالت پایدار رسید. دلیل این کاهش ملایم، گرفتگی غشاء، تشکیل و ضخیم‌تر شدن لایه کیک در سطح داخلی غشاء و افزایش ویسکوزیته خوراک بود. نتایج حاصل با نتایج سایر تحقیقات مشابه در مورد شفاف‌سازی آب انار با استفاده از غشاء اولترافیلتراسیون مطابقت داشت (Bodbodak et al., 2021).

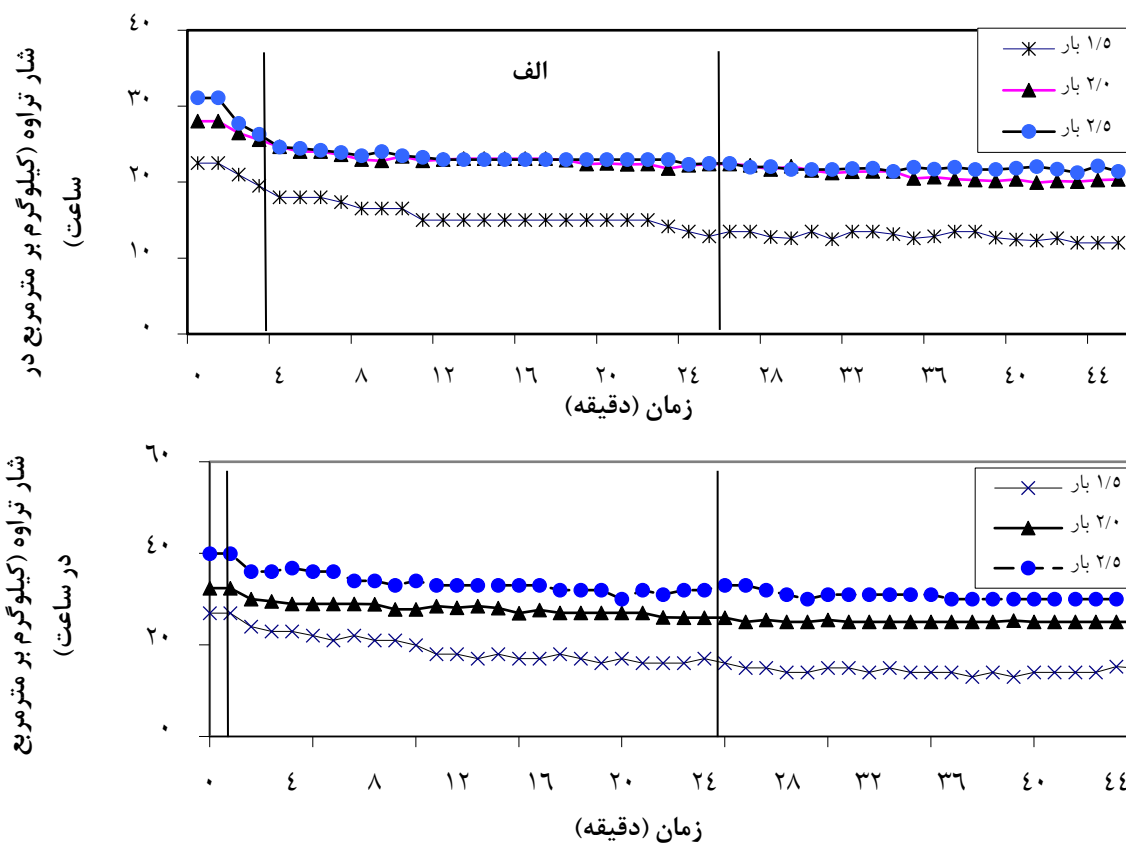
نتایج بررسی اثر فشار در دمای ثابت ۲۰ درجه سلسیوس نشان داد که افزایش فشار از ۱/۵ به ۲/۰ و ۲/۵ بار باعث افزایش شار تراوه در حالت پایا به ترتیب برابر با ۵۱/۳۳ و ۵۸/۶۸ درصد شد (شکل ۱). بررسی دقیق نمودارها نشان داد که بین شار تراوه در فشار در عرض غشاء ۲/۰ و ۲/۵ بار اختلاف زیادی وجود ندارد و منحنی شار تراوه-زمان آنها تقریباً منطبق برهم هستند. لذا در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، فشار ۲/۵ بار به عنوان فشار حد تعیین شد. در دمای ۳۰ درجه سلسیوس نیز افزایش فشار از ۱/۵ به ۲/۰ و ۲/۵ بار به ترتیب باعث افزایش ۵۷/۵۵ و ۹۱/۲۲ درصدی در شار تراوه شد. در این دما نیز فشار ۲/۵ بار به عنوان فشار حد تعیین شد. سایر محققان نیز در مورد افزایش شار تراوه در اثر افزایش فشار، نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند (Rai et al., 2006; Gökmen & Çetinkaya, 2007). اما De Barros et al. (2003) با بررسی شفاف‌سازی آب آناناس به روش اولترافیلتراسیون چنین اظهار کردند که افزایش فشار تاثیری بر میزان شار تراوه ندارد. البته دلیل این امر را می‌توان به بالا بودن میزان پالپ آب آناناس نسبت داد.

(Pulipati et al., 2014) و شفافیت با اندازه‌گیری میزان عبور نور در طول موج ۶۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Gökmen et al., 2008) در آب انار قبل و بعد از فرآیند غشایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه آماری در این تحقیق اثر فاکتورهای دما (در دو سطح) و اختلاف فشار در عرض غشاء (در سه سطح) بر شاخص-های شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون و خصوصیات کیفی آب انار به روش آزمایشات فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. تیمارها در سه تکرار انجام و نتایج به دست آمده با روش آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و مقایسه میانگین اثرات متقابل فاکتورهای اعمال شده با روش حداقل میانگین مربعات در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. آنالیزهای آماری با نرم‌افزارهای SAS نسخه ۹/۱ و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد.

## نتایج و بحث

اثرات دما و فشار بر شار تراوه آب انار در طی فرآیند غشایی اولترافیلتراسیون

منحنی‌های پاسخ دینامیکی شار تراوه آب انار در طی زمان فرآیند برای تیمارهای مختلف در شکل ۱ آورده شده است. مطابق این شکل، منحنی‌های شار تراوه-زمان را می‌توان به ۳ قسمت مجزا تقسیم کرد. الف- منطقه کاهش سریع شار تراوه (I): از شروع عملیات غشایی تا حدود دقیقه ۵، ب- منطقه کاهش کند شار تراوه (II): از دقیقه ۵ تا حدود دقیقه ۲۷-۲۲ و ج- منطقه شار تراوه پایدار (III): از دقیقه ۲۷ تا پایان عملیات غشایی. کاهش سریع در شار تراوه، به جذب سطحی ذرات کلوئیدی مانند مواد پکتینی، تانن‌ها، پلیمرهای رنگی، سایر مواد پلیمری موجود در آب انار و تشکیل لایه پلاریزاسیون



شکل ۱- تغییرات شار تراوه آب انار با گذشت زمان در دماهای ۲۰ (الف) و ۳۰ (ب) درجه سلسیوس و فشارهای ۱/۵، ۲/۰ و ۲/۵ بار

#### شاخص‌های کیفی فرآیند اولترافیلتراسیون

##### مواد جامد محلول (بریکس)

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پارامترهای عملیاتی دما و فشار تاثیر معنی‌داری بر بریکس آب انار نداشتند و بین تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ( $p > 0/05$ ). مقایسه میانگین بریکس نمونه‌های تراوه با خوراک نشان داد که مقدار بریکس به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) کاهش یافت (جدول ۲). دلیل این امر تاثیر ذرات معلق موجود در خوراک بر مقدار بریکس اندازه‌گیری شده توسط رفاکتومتر است (Rai et al., 2006). McLellan et al. (2005) با بررسی اثر شفاف‌سازی و تغلیظ آب پرتقال به روش غشایی بر مقدار بریکس، هیچ نوع تغییری را در میزان بریکس مشاهده نکردند.

##### pH

نتایج مقایسه میانگین pH تراوه تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که تغییرات پارامترهای عملیاتی فشار

و دما تاثیری بر میزان pH نداشتند. همچنین مقایسه میانگین pH تراوه تیمارهای غشایی با خوراک (جدول ۲) نشان داد که از نظر pH اختلاف معنی‌داری بین تیمارها و خوراک وجود نداشت ( $p > 0/05$ ). Rai et al. (2006) با بررسی اثر فرآیند شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون بر کیفیت آب سیب به نتایج مشابهی دست یافتند.

##### اسیدیته کل

نتایج مقایسه میانگین اسیدیته تراوه تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی فشار و دمای اعمال شده تاثیری بر میزان اسیدیته تراوه نداشتند ( $p > 0/05$ ). همچنین مقایسه میانگین اسیدیته تراوه تیمارهای غشایی با خوراک (جدول ۲) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها و خوراک وجود داشت ( $p < 0/05$ ). دلیل کاهش اسیدیته تراوه نسبت به خوراک را می‌توان به افزایش انتخاب‌گری غشاء به خاطر بروز پدیده گرفتگی و پلاریزاسیون غلظت نسبت داد. Rai et al. (2006) در بررسی اثر فرآیند شفاف‌سازی

اولترافیلتراسیون بر کیفیت آب گلایی به این نتیجه رسیدند که اسیدیته تراوه نسبت به خوراک ۵ درصد کاهش نشان داد. همچنین شفاف سازی آب پرتقال با روش اولترافیلتراسیون نیز نتایج مشابهی را نشان داد (Rai et al., 2007).

#### چگالی

مقایسه میانگین چگالی تراوه تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که اثر سطوح مختلف پارامتر عملیاتی دما بر میزان چگالی معنی دار ( $p < 0/05$ )، اما اثر فشار غیر معنی دار بود ( $p > 0/05$ ). به طور کلی چگالی نمونه های تیمار شده در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بیشتر از ۲۰ درجه سلسیوس بود. بدیهی است که با افزایش دما، ویسکوزیته خوراک کاهش، ضریب نفوذ پذیری حلال و اجزای محلول و نیز ضریب انتشار مواد کلئیدی انباشته

شده از سطح غشاء به توده تراوه افزایش می یابد. لذا ضخامت غشاء ثانویه ناشی از این مواد و اثر بازدارندگی آن در برابر عبور مواد کم تر شده و در مقایسه با دمای ۲۰ درجه سلسیوس، مواد با وزن مولکولی بالاتر نیز قادر به عبور از غشاء شدند و در نتیجه چگالی افزایش یافت. همچنین مقایسه میانگین چگالی تراوه تیمارهای غشایی با خوراک (جدول ۳) نشان داد که مقدار چگالی آب انار به طور معنی دار نسبت به خوراک کاهش یافت ( $p < 0/05$ ). این نتایج با یافته های (Vaillanta et al., 2005) در مورد اثر شفاف سازی و تغلیظ آب خربزه با روش غشایی بر چگالی آب خربزه مطابقت داشت. همچنین کاهش در میزان چگالی آب پرتقال پس از اعمال فرآیند شفاف سازی گزارش شده است (Rai et al., 2007).

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تراوه آب انار پس از اعمال فرآیند شفاف سازی غشایی اولترافیلتراسیون

فاکتورهای اندازه گیری شده		تیمارهای اعمال شده			
چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب)	اسیدیته (درصد)	pH	مقدار مواد جامد محلول (درجه بریکس)	فشار (بار)	دما (درجه سلسیوس)
۱/۰۵۷±۰/۰۰۳ <sup>cde</sup>	۰/۷۶±۰/۰۹ <sup>b</sup>	۳/۲۹±۰/۰۴ <sup>ns</sup>	۱۴/۵±۰/۱ <sup>b</sup>	۱/۵	۲۰
۱/۰۵۶±۰/۰۰۱ <sup>ed</sup>	۰/۷۶±۰/۰۷ <sup>b</sup>	۳/۲۸±۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۱۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	۲/۰	
۱/۰۵۴±۰/۰۰۷ <sup>e</sup>	۰/۷۷±۰/۰۶ <sup>b</sup>	۳/۲۹±۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۱۴/۴±۰/۱ <sup>b</sup>	۲/۵	
۱/۰۶۱±۰/۰۰۹ <sup>b</sup>	۰/۷۶±۰/۰۹ <sup>b</sup>	۳/۲۹±۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۱۴/۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۱/۵	۳۰
۱/۰۵۸±۰/۰۰۱ <sup>bcd</sup>	۰/۷۵±۰/۰۹ <sup>b</sup>	۳/۲±۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۱۴/۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۲/۰	
۱/۰۶۰±۰/۰۰۶ <sup>b</sup>	۰/۷۵±۰/۰۳ <sup>b</sup>	۳/۲۹±۰/۰۳ <sup>ns</sup>	۱۴/۶±۰/۱ <sup>b</sup>	۲/۵	
۱/۰۶۶±۰/۰۰۹ <sup>a</sup>	۰/۸۶±۰/۰۷ <sup>a</sup>	۳/۳۰±۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۱۵/۳±۰/۱ <sup>a</sup>		خوراک

\*حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است ( $p < 0/05$ ).

#### ترکیبات زیست فعال

##### آنتوسیانین کل

نتایج مقایسه میانگین مقدار آنتوسیانین کل تراوه تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که فقط اثر اصلی سطوح مختلف دما به طور معنی دار باعث کاهش میزان آنتوسیانین کل شده است ( $p < 0/05$ ). احتمالاً با افزایش دما، سرعت واکنش های تجزیه ای و پلیمریزه شدن آنتوسیانین ها افزایش و در نتیجه مقدار آنتوسیانین ها کاهش یافت (Vural et al., Youn et al., 2004).

(1998). تیمار دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار و تیمار دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار به ترتیب با ۲/۸ و ۱۴/۳ درصد کم ترین و بیشترین کاهش را در مقدار آنتوسیانین کل داشتند (جدول ۳). مقدار آنتوسیانین کل تراوه تیمارها در مقایسه با نمونه خوراک کاهش معنی داری داشت ( $p < 0/05$ ). البته مقدار این کاهش زیاد نبوده و در حدود ۸/۹ درصد بود. این کاهش احتمالاً به دلیل سیرکوله شدن خوراک در طی زمان شفاف سازی و تخریب اکسیداسیونی آنتوسیانین ها در



مجاورت اکسیژن هوا بود (Baklouti et al., 2012).

### فنول کل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اثر متقابل پارامتر عملیاتی فشار و دما به طور معنی دار باعث کاهش مقدار فنول کل شد ( $p < 0/05$ ). تیمار دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار و تیمار دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۰ بار به ترتیب با ۶۵۶۴ و ۵۶۹۷ میلی گرم بر لیتر معادل اسید گالیک کمترین و بیشترین مقدار فنول کل را داشتند (جدول ۳). مقدار فنول کل تراوه تیمارها در مقایسه با نمونه خوراک به مقدار ۱۶-۲۷ درصد کاهش یافت ( $p < 0/05$ ). این کاهش احتمالاً به دلیل کندانس شدن و یا پلیمریزه شده ترکیبات تاننی با ترکیباتی مانند پروتئین‌ها باشد که نمی‌توانند از غشاء عبور کنند و با تاثیر بر مقدار فنول کل نمونه‌های تیمار شده باعث کاهش مقدار آن شده است (Davarci et al., 2019). سیرکولاسیون خوراک و تخریب اکسیداسیونی ترکیبات فنولی در مجاورت اکسیژن هوا نیز می‌تواند به عنوان یکی از عوامل کاهش محتوی فنول کل باشد (Baklouti et al., 2012).

### تانن کل

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که اثر سطوح مختلف

پارامترهای عملیاتی دما و فشار بر میزان تانن کل معنی دار بود ( $p < 0/05$ ). میانگین میزان تانن کل برای دماهای ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با ۷۰۰ و ۷۶۴ میلی گرم بر لیتر بود. کاهش میزان تانن کل با افزایش فشار را می‌توان به متراکم و ضخیم تر شدن لایه ذرات انباشته شده بر سطح غشاء و در نتیجه کاهش اندازه موثر منافذ غشاء نسبت داد. این امر باعث می‌شود عبور این ترکیبات پلیمری از غشاء کم تر شود. نتایج بدست آمده با یافته‌های سایر محققان در مورد شفاف-سازی آب سبب به روش غشایی و با پیش تیمار مواد کمک صافی مطابقت دارد (Vural Youn et al., 2004; et al., 1998). نتایج نشان داد که تانن کل تراوه تیمارهای غشایی در مقایسه با خوراک نیز به طور معنی داری کاهش یافت ( $p < 0/05$ ). میزان این کاهش بین ۳۹ درصد برای تیمار دمای ۳۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ بار و ۴۹ درصد برای تیمار دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۵ بار بود (جدول ۳). کاهش در میزان تانن کل نمونه‌های تیمار شده را می‌توان به پس زنی کمپلکس-های تانن- آنتوسیانین و پلیمرهای رنگی توسط غشاء نسبت داد (Condi et al., 2020).

جدول ۳- ترکیبات زیست فعال تراوه آب انار پس از اعمال فرآیند شفاف سازی غشایی اولترافیلتراسیون

مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (درصد)	فاکتورهای اندازه گیری شده		تیمارهای اعمال شده		
	تانن کل (میلی گرم بر لیتر)	فنول کل (میلی گرم بر لیتر معادل اسید گالیک)	آنتوسیانین کل (میلی گرم بر لیتر معادل سیانیدین ۳-گلیکوزید)	فشار (بار)	دما (درجه سلسیوس)
۲۷/۱±۳/۵ <sup>d</sup>	۵۴±۷۱۴ <sup>d</sup>	۹۶±۶۲۴ <sup>a</sup>	۹۲/۸±۱/۵ <sup>c</sup>	۱/۵	۲۰
۲۷/۱±۲/۹ <sup>d</sup>	۴۱±۷۰۸ <sup>d</sup>	۸۷±۶۵۶ <sup>b</sup>	۹۶/۷±۷/۵ <sup>b</sup>	۲/۰	
۲۶/۱±۹/۳ <sup>c</sup>	۵۷±۶۷۹ <sup>c</sup>	۹۱±۶۴۰ <sup>bc</sup>	۹۴/۰±۰/۵ <sup>c</sup>	۲/۵	
۲۸/۱±۰/۶ <sup>b</sup>	۳۹±۷۹۶ <sup>b</sup>	۷۹±۵۹۳ <sup>d</sup>	۸۸/۲±۴/۰ <sup>d</sup>	۱/۵	۳۰
۲۷/۲±۶/۰ <sup>c</sup>	۶۳±۷۵۲ <sup>c</sup>	۱۰۱±۵۹۶ <sup>c</sup>	۸۵/۰±۳/۶ <sup>e</sup>	۲/۰	
۲۷/۱±۶/۷ <sup>c</sup>	۳۰±۷۴۶ <sup>c</sup>	۶۷±۵۸۵ <sup>de</sup>	۸۷/۴±۹/۰ <sup>d</sup>	۲/۵	
۳۹/۰±۹/۵ <sup>a</sup>	۵۶±۱۸۰ <sup>a</sup>	۴۵±۷۸۰ <sup>a</sup>	۹۹/۸±۵/۵ <sup>a</sup>		خوراک

\*حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد است ( $p < 0/05$ ).

DPPH تراوه تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که اثر سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی دما و فشار بر درصد

درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH نتایج مقایسه میانگین درصد مهار رادیکال‌های آزاد

به روش اولترافیلتراسیون گزارش شده است (De Barros *et al.*, 2003).

#### ویسکوزیته

مقایسه میانگین ویسکوزیته تراوه (در ۲۰ درجه سلسیوس) تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف پارامترهای عملیاتی دما و فشار بر میزان ویسکوزیته معنی دار بود ( $p < 0/05$ ) به طوری که افزایش دما باعث افزایش ویسکوزیته تراوه شد. (2007) *He et al.* با بررسی شفاف سازی آب سیب به روش اولترافیلتراسیون به این نتیجه رسیدند که افزایش دما از ۲۳ به ۵۰ درجه سلسیوس، باعث افزایش ویسکوزیته تراوه شد. همان طور که در مورد چگالی هم اشاره شد، افزایش ضریب انتشار درشت مولکول ها و نازک شدن لایه ثانویه ایجاد شده بر سطح غشاء در دماهای بالاتر باعث افزایش میزان عبور مواد با وزن مولکولی بالاتر از غشاء شده که منجر به افزایش ویسکوزیته می شود. هرچند این افزایش به مقدار جزئی بود. افزایش فشار نیز باعث فشرده شدن لایه پلاریزاسیون غلظت و گرفتگی شده و این لایه فشرده مانع از عبور ذراتی می شود که در حالت فشار پایین و تخلخل زیاد از غشاء عبور می کنند، در نتیجه با افزایش فشار، ویسکوزیته کاهش می یابد (McLellan & Padilla-Zakour, 2005). مقایسه میانگین ویسکوزیته تراوه تیمارها با خوراک نیز نشان دهنده کاهش معنی دار ویسکوزیته بود ( $p < 0/05$ ) (جدول ۴). دلیل این امر نیز پس زنی مواد معلق، مواد پکتینی و فنولی توسط غشاء بود. (Vaillanta *et al.*, 2005) نیز با شفاف سازی آب خربزه به نتایج مشابهی در مورد ویسکوزیته دست یافتند.

#### شفافیت

مقایسه میانگین شفافیت تراوه تیمارهای مختلف غشایی نشان داد که تنها اثر اصلی سطوح مختلف پارامتر عملیاتی دما بر میزان شفافیت معنی دار بود ( $p < 0/05$ ). همه تیمارهای فرآیند غشایی به طور معنی دار باعث

مهار رادیکال های آزاد DPPH معنی دار بود ( $p < 0/05$ ). میانگین مقدار درصد مهار رادیکال های آزاد DPPH برای دماهای ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس به ترتیب برابر با ۲۷/۱ و ۲۷/۷ درصد بود. مقایسه میانگین درصد مهار رادیکال های آزاد DPPH تراوه تیمارهای غشایی با خوراک نیز نشان داد که تیمار غشایی باعث کاهش معنی دار درصد مهار رادیکال های آزاد DPPH شد (در حدود ۳۲/۴-۲۹/۹ درصد) ( $p < 0/05$ ). با توجه به نتایج *Gil et al.* (2000)، ترکیبات تاننی نسبت به ترکیبات آنتوسیانینی و سایر ترکیبات فنولی تاثیر بیشتری در ظرفیت آنتی اکسیدانی آب انار دارند. کاهش درصد مهار رادیکال های آزاد DPPH در نمونه های تیمار شده نسبت به نمونه خوراک را می توان به حذف بیشتر ترکیبات تاننی در اثر افزایش فشار و متراکم و ضخیم تر شدن لایه ذرات انباشته شده بر سطح غشاء و در نتیجه کاهش اندازه موثر منافذ غشاء نسبت داد. علاوه بر این تجزیه و اکسید شدن ترکیبات آنتوسیانینی، اکسید شدن ترکیبات فنولی، کندانس شدن و پلیمریزه شدن ترکیبات تاننی و در نتیجه پس زدن این ترکیبات توسط غشاء نیز می تواند در این کاهش موثر باشد.

#### پکتین، ویسکوزیته و شفافیت

#### پکتین

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که همه تیمارهای اعمال شده غشایی برای شفاف سازی آب انار مقدار پکتین را به طور معنی دار ( $p < 0/05$ ) کاهش دادند (بیش از ۹۸ درصد) (جدول ۴). کاهش پکتین و سایر ترکیبات عامل کدورت مانند تانن ها، پروتئین ها و رنگ دانه های پلیمری توسط فرآیند شفاف سازی با غشاء اولترافیلتراسیون باعث بهبود و پایداری حالت شفاف آب انار می شود. (2004) *Youn et al.* نیز ناچیز بودن ترکیبات پکتینی و نشاسته تراوه آب سیب شفاف شده به روش اولترافیلتراسیون را گزارش کردند. همچنین کاهش ۸۰ درصد مقدار پکتین در آب آناناس شفاف شده

افزایش شفافیت آب انار در مقایسه با خوراک شدند (p < ۰/۰۵). این تیمارها به طور میانگین ۱۶ درصد شفافیت را افزایش دادند. بیشترین مقدار شفافیت (۹۶/۵ درصد) مربوط به تیمار دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲/۵ بار بود (جدول ۴). با افزایش دما میزان تجزیه و پلیمریزاسیون ترکیبات فنولی به ویژه آنتوسیانین‌ها افزایش و میزان شفافیت کاهش یافت (Gökmen *et al.*, 2007). اما افزایش فشار تأثیری بر میزان شفافیت نداشت. شفافیت تراوه همه تیمارها بالاتر از ۹۰ درصد بود. لذا، همه نمونه‌های تیمار شده حائز شرایط استاندارد شفافیت برای آب انار هستند. افزایش شفافیت به دلیل کاهش ذرات کلوئیدی، مواد پکتینی، تانن‌ها، رنگ‌دانه‌های پلیمری، فیبرها و پروتئین‌ها در تراوه است.

جدول ۴- تغییرات ویسکوزیته و پکتین تراوه آب انار پس از اعمال فرآیند شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون

فاکتورهای اندازه‌گیری شده		تیمارهای اعمال شده		
شفافیت (درصد عبور در ۶۵۰ نانومتر)	ویسکوزیته (سانتی پواز)	پکتین (درصد)	فشار (بار)	دما (درجه سلسیوس)
۹۵/۰±۳/۵ <sup>bc</sup>	۱/۷۷±۰/۰۲ <sup>c</sup>	ناچیز	۱/۵	۲۰
۹۵/۴±۰/۳ <sup>b</sup>	۱/۶۷±۰/۰۳ <sup>d</sup>	ناچیز	۲/۰	
۹۶/۵±۰/۱ <sup>a</sup>	۱/۶۱±۰/۰۱ <sup>e</sup>	ناچیز	۲/۵	
۹۵/۱±۰/۱ <sup>bc</sup>	۱/۸۵±۰/۰۲ <sup>b</sup>	ناچیز	۱/۵	۳۰
۹۴/۷±۰/۳ <sup>bc</sup>	۱/۷۸±۰/۰۱ <sup>c</sup>	ناچیز	۲/۰	
۹۴/۶±۰/۳ <sup>c</sup>	۱/۷۲±۰/۰۱ <sup>d</sup>	ناچیز	۲/۵	
۸۰/۰±۹/۳ <sup>d</sup>	۲/۱۵±۰/۰۲ <sup>a</sup>	۰/۱۵±۰/۰۱ <sup>bc</sup>		خوراک

\*حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است (p < ۰/۰۵).

نتیجه‌گیری  
نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که فرآیند شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون باعث افزایش شفافیت، کاهش مقدار پکتین و تانن کل شده و تأثیر کمی بر کاهش مقدار ترکیبات زیست فعال آب انار مانند آنتوسیانین‌ها و فنول‌ها دارد. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از دمای پایین در فرآیند شفاف‌سازی باعث پایداری بیشتر و در نتیجه افت کم‌تر ترکیبات زیست فعال می‌شود. علاوه بر این، افزایش دما و فشار باعث افزایش میزان شار تراوه عبوری از غشاء شد. اما، به دلیل کاهش میزان ترکیبات فنولی و آنتوسیانینی استفاده از دماهای بالا برای شفاف‌سازی آب انار توصیه نمی‌شود. بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز بیانگر کاهش معنی‌دار درصد مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (۹/۴-۲۹/۳۲ درصد) تراوه تیمارهای غشایی در مقایسه با نمونه خوراک بود. ویسکوزیته تراوه تیمارها در مقایسه با نمونه خوراک به‌طور معنی‌دار کاهش یافت که دلیل این امر پس‌زنی مواد معلق، ذرات پکتین و مواد فنولی توسط غشاء است. در نهایت، شفافیت تراوه همه تیمارها بالاتر از ۹۰ درصد بود که ناشی از کاهش ذرات کلوئیدی، مواد پکتینی، تانن‌ها، رنگ‌دانه‌های پلیمری، فیبرها و پروتئین‌ها در تراوه است. با توجه به این‌که شفاف‌سازی غشایی اولترافیلتراسیون آب انار در مقیاس نیمه صنعتی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و فشار ۲ بار باعث کاهش قابل توجه ترکیبات تاننی و پکتینی در آب انار (عوامل اصلی در کدورت، طعم گس و تغییر رنگ آب انار به رنگ قهوه‌ای در طی نگهداری) و افزایش شفافیت به ۹۵ درصد شده و از طرف دیگر تأثیر کمی بر مقدار آنتوسیانین کل (در حدود ۳ درصد) به‌عنوان ترکیبات اصلی زیست فعال آب انار دارد، لذا استفاده از این فرآیند در شفاف‌سازی آب انار در مقیاس صنعتی توصیه می‌شود.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

## REFERENCES

- Baklouti, S., Ellouze-Ghorbel, R., & Mokni, A. (2012). Clarification of pomegranate juice by ultrafiltration: study of juice quality and of the fouling mechanism. *Fruits*, 67(3), 215-225.
- Bodbodak, S., Kashaninejad, M., Hesari, J. & Razavi, S.M.A. (2009). Effect of different classical clarification methods on physicochemical and rheological properties of pomegranate juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1(2), 1-16. (In Farsi)
- Bodbodak, S., Farmani, B. & Nejatian, M. (2021). Effect of operating parameters on permeate flux and fouling behavior during clarification of pomegranate juice using ultrafiltration polymeric membrane. *Journal of Food Research*, 31(3), 185-197. (In Farsi)
- Cassano, A., Marchio, M. & Drioli, E. (2007). Clarification of blood orange juice by ultrafiltration: analyses of operating parameters, membrane fouling and juice quality. *Desalination*, 212, 15-27.
- Cassano, A., Conidi, C. & Tasselli, F. (2015). Clarification of pomegranate juice (*Punica Granatum L.*) by hollow fibre membranes: Analyses of membrane fouling and performance. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 90, 859-866.
- Conidi, C., Drioli, E., & Cassano, A. (2020). Perspective of membrane technology in pomegranate juice processing: A review. *Foods*, 9(7), 889.
- Davarcı, A., Kadiroğlu, P., Diblan, S., Selli, S., & Kelebek, H. (2019). Influence of processing steps on phenolic composition of clarified and unclarified pomegranate juices as characterized by LC-DAD-ESI-MS/MS. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(8), 14018.
- De Barros, S.T.D., Andrade, C.M.G., Mendes, E.S. & Peres, L. (2003). Study of fouling mechanism in pineapple juice clarification by ultrafiltration. *Journal of Membrane Science*, 215 (1-2), 213-224.
- El-Nemr, S.E., Ismail, I.A. & Ragab, M. (1990). Chemical composition of juice and seeds of pomegranate fruit. *Food/Nahrung*, 34 (7), 601-606.
- Fu, L., Xu, B.T., Xu, X.R., Gan, R.Y., Zhang, Y., Xia, E.Q. & Li, H.B. (2011). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129 (2), 345-350.
- Galiano, F., Figoli, A., Conidi, C., Menichini, F., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Cassano, A. & Tundis, R. (2016). Functional properties of *Punica granatum L.* juice clarified by hollow fiber membranes. *Processes*, 4 (3), 21. 68.
- Gil, M. I., Tomás-Barberán, F. A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D. M., & Kader, A. A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (10), 4581-4589.
- Gökmen, V. & Çetinkaya, Ö. (2007). Effect of pretreatment with gelatin and bentonite on permeate flux and fouling layer resistance during apple juice ultrafiltration. *Journal of Food Engineering*, 80 (1), 300-305.
- Gökmen, V., Çetinkaya Açar, Ö., Serpen, A. & Süğüt, İ. (2008). Modeling dead-end ultrafiltration of apple juice using artificial neural network. *Journal of Food Process Engineering*, 32(2), 248-264.
- He, Y., Ji, Z. & Li, S. (2007). Effective clarification of apple juice using membrane filtration without enzyme and pasteurization pretreatment. *Journal of Separation and Purification Technology*, 57 (2), 366-373.
- Kalaycıoğlu, Z. & Erım, F.B. (2017). Total phenolic contents, antioxidant activities, and bioactive ingredients of juices from pomegranate cultivars worldwide. *Food Chemistry*, 221, 496-507.
- Kashyap, D.R., Vohra, P.K., Chopra, S. & Tewari, R. (2001). Application of Pectinases in the Commercial Sector: A Review. *Bioresource Technology*, 77 (3), 215-227.
- McLellan, M. R. & Padilla-Zakour, O.I. (2005). Juice Processing. In Barrett, D. M., Somogyi, L., & Ramaswamy, H.

- (Eds.), *Processing Fruits, Science and Technology* (2<sup>nd</sup> ed.). (pp. 71-95). Florida, USA: CRC Press LLC.
- Mirsaeedghazi, H., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S.M., Aroujalian, A., & Navidbakhsh, M. (2010). Clarification of pomegranate juice by microfiltration with PVDF membranes. *Desalination*, 264 (3), 243–248.
- Mondal, M., Biswas, P.P. & De, S. (2016). Clarification and storage study of bottle gourd (*Lagenaria siceraria*) juice by hollow fiber ultrafiltration. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 1-15.
- Orak, H. (2007). Total antioxidant activities, phenolics, anthocyanins, poly phenoloxidase activities of selected red grape cultivars and their correlations. *Scientia Horticulturae*, 111 (3), 235-241.
- Pulipati, S., Babu, P.S. & Narasu, M.L. (2014). Quantitative determination of tannin content and evaluation of antibacterial activity of *Amaranthus tricolor* (L). *International Journal of Biological Pharmaceutical Resource*, 5, 623-6.
- Pyrouzifard, M. Kh. (2000). Fruit juice clarification (Translate). University Press. (In Farsi)
- Rahimi, H.R., Arastoo, M. & Ostad, S.N. (2012). A comprehensive review of *Punica granatum* (pomegranate) properties in toxicological, pharmacological, cellular and molecular biology researches. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11 (2), 385–400.
- Rai, P., Rai, C., Majumdar, G. C., DasGupta, S., & De, S. (2006). Resistance in series model for ultrafiltration of mosambi (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice in a stirred continuous mode. *Journal of Membrane Science*, 283 (1-2), 116–122.
- Rai, P., Majumdar, G.C., Das Gupta, S. & 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.
- Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., & Musavi, S. M. (2006). Study the pressure on efficiency and fouling in ultrafiltration of milk. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10 (2), 191-201. (In Farsi).
- Turrini, E., Ferruzzi, L. & Fimognari, C. (2015). Potential effects of pomegranate polyphenols in cancer prevention and therapy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2015, 1-19.
- Vaillanta, F., Cissea, M., Chaverrib, M., Dorniera, A.P.M., Viquezb, F., & Dhuique-Mayera, C. (2005). Clarification and concentration of melon juice using membrane processes. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 6 (2), 213–220.
- Vural, G., Zandrie, B. & Herry, H. H. (1998). Improved ultrafiltration for color reduction and stabilization of apple juice. *Journal of Food Science*, 63 (3), 504-507.
- Youn, K.S., Hong, J.H., Bae, D.H., Kim, S.J. & Kim, S.D. (2004). Effective clarifying process of reconstituted apple juice using membrane filtration with filter-aid pretreatment. *Journal of Membrane Science*, 228(2), 179–186.