



## بررسی اثر اعمال لیزر بر کارایی شفافسازی غشایی آب انار

شفیعه صالحی نیا<sup>۱</sup>، حسین میرسعیدقازی<sup>۲</sup>، مرتضی خشه چی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛ salehinia@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛ [mirsaeed@ut.ac.ir](mailto:mirsaeed@ut.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران؛ [m.khashehchi@ut.ac.ir](mailto:m.khashehchi@ut.ac.ir)

### چکیده

از آنجاییکه گرفتگی غشاء حین ریزپالایش آب انار یکی از مهمترین علل محدود کننده صنعتی شدن فرایندهای غشایی در زمینه آبمیوه جات است، در این تحقیق از لیزر ND:YAG با توان ۱ وات و طول موج ۵۳۴ نانومتر برای بررسی اثر آن بر کارایی شفافسازی غشایی آب انار استفاده شد. بدین منظور مدول نگهدارنده غشاء با استفاده از نرم افزار سالدورکس از جنس پلکسی گلس طراحی و ساخته شد تا نور لیزر را از خود عبور دهد. شار تراوه با داده های بدست آمده برای ریزپالایش آب انار بدون اعمال لیزر در شرایط یکسان (دما، فشار و دبی) مقایسه شد. نتایج نشان داد که شار تراوه با استفاده از اعمال لیزر در فشار ۰/۵ بار و دبی ۱۰ mL/s افزایش یافت. محاسبه مقاومت گرفتگی کل نشان داد که در فشار و دبی مذکور، اعمال لیزر مقاومت کل غشاء را کاهش داد. ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی آب انار نشان داد که با اعمال لیزر pH تغییری نکرد و درصد تغییرات مواد جامد محلول بدون لیزر بیشتر بود. علاوه بر این لیزر پارامترهای مربوط به رنگ آب انار را تغییر داده و درصد تغییرات آن به ترتیب در رنگ زردی، شفافیت و قرمزی بیشتر بود. سایر خواص آبمیوه پس از شفافسازی مقدارشان کاسته شد ولی تغییرات آنها تفاوت معناداری با هم نداشتند.

**کلمات کلیدی:** آب انار، ریزپالایش، شفافسازی، گرفتگی غشاء، لیزر.

## Evaluation of the effect of laser on the efficiency of microfiltration of pomegranate juice

Shafieh Salehinia<sup>1</sup>, Hossein Mirsaedghazi<sup>2</sup>, Morteza Khashehchi<sup>3</sup>

1. Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran;  
[salehinia@ut.ac.ir](mailto:salehinia@ut.ac.ir)
2. Department of Food Technology, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran;  
[mirsaeed@ut.ac.ir](mailto:mirsaeed@ut.ac.ir)
3. Department of Agrotechnology, Aburaihan Campus, University of Tehran, Tehran, Iran;  
[m.khashehchi@ut.ac.ir](mailto:m.khashehchi@ut.ac.ir)

Membrane fouling is the most important limitation against industrialization of membrane clarification of pomegranate juice. In this study a ND:YAG laser with power of 1W and wavelength of 534nm was used to investigate its effect on the efficiency of clarification process. The membrane module was designed using solid work software and was manufactured with plexiglass. Membrane clarification was performed in presence of laser and it was repeated at the same pressure and velocity (0.5 bar and 10 mL.s<sup>-1</sup>) without the laser. Results showed that the permeate flux increased in the presence of laser due to reduction of total membrane fouling resistance. Evaluation of the physicochemical properties of pomegranate juice showed that the pH did not change. The percentage of changes of total soluble solids content in the absence of laser was higher than in the presence of laser. Also, laser changed the color properties of pomegranate juice during its clarification. The intensity of color change was in yellowish, luminosity and reddish, respectively. Other physicochemical



properties of pomegranate juice were reduced after clarification; however, their changes were same in presence and absence of laser.

**Keywords:** Pomegranate juice, Microfiltration, Clarification, Membrane fouling, Laser.

## ۱- مقدمه

انار یکی از مهمترین میوه‌های بومی ایران است که به علت دارا بودن سطح بالای فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارای پتانسیل خوب پیشگیری از سرطان است (Lansky & Newman, 2007). ظاهر کدر آب انار به دلیل وجود ذرات درشت در آن است که باعث می‌شود در حین تغلیظ این ذرات به دیواره اواپراتور چسبیده و سوخته شده و طعم نامطلوب سوختگی را در سراسر کنسانتره پخش کند. ازین‌رو قبل از فرایند تغلیظ شفافسازی آبمیوه‌ها به منظور حذف ذرات درشت باید انجام گیرد (Mirsaeedghazi, Emam-Djomeh, Mousavi, Ahmadvani, & Shafiee, 2010). ریزپالایش فرایندی با نیروی محرکه فشار است که می‌تواند برای کاهش کدورت آبمیوه استفاده گردد. فرایندهای غشایی بدلیل کاهش مصرف انرژی و نیز دوستدار محیط زیست بودن، نسبت به سایر روش‌های جداسازی که گران‌قیمت و زمان‌بر هستند ارجحیت دارند (Cassano, Conidi, & Drioli, 2011; Mirsaeedghazi, Emam-Djomeh, Mousavi, Aroujalian, & Navidbakhsh, 2010). ایجاد گرفتگی بر اثر رسوب ترکیبات درشت موجود بروی سطح غشاء بزرگترین مشکل پیش روی این صنعت می‌باشد. این پدیده باعث کاهش شار تراوه در حین شفافسازی آبمیوه می‌گردد و از صنعتی شدن آن جلوگیری می‌کند. همچنین باعث کاهش راندمان، هزینه‌های ناشی از شستشو و تهدید سلامت مصرف‌کنندگان و آسیب به محیط زیست ناشی از باقی ماندن مواد شوینده میشود (Mirsaeedghazi, Emam-Djomeh, Mousavi, Aroujalian, & Navidbakhsh, 2009). روش‌های مختلفی اعم از شیمیایی (استفاده از شوینده‌های اسیدی و بازی)، آنزیمی (بنتونیت و پکتین لیاز) و فیزیکی (میدان‌های الکتریکی، سانتریفیوژ، تغییر جریان عرضی و فراصوت) وجود دارد که باعث کاهش گرفتگی و افزایش شار تراوه می‌شود (de Bruijn & Bórquez, 2006). از جمله تحقیقاتی که در زمینه کاهش گرفتگی به روش فیزیکی انجام شده میتوان به موارد زیر اشاره نمود.

سرکار و همکاران در سال ۲۰۱۰، با اعمال میدان الکتریکی روی آبمیوه مصنوعی به این نتیجه رسیدند که با اعمال میدان الکتریکی مولکول‌های ژلاتینی باردار از سطح غشا دور می‌شوند و شار تراوه افزایش می‌یابد. در میدان الکتریکی (۹۱۰ V/m)، شار تراوه ۳ برابر حالتی است که میدان الکتریکی اعمال نمی‌شود (Sarkar & De, 2010).

علی اصغری اقدم و همکاران در سال ۲۰۱۵، با اعمال فراصوت (۲۰ kHz) روی آب انار نتیجه گرفتند که با اعمال فراصوت مقاومت کل غشا کاهش یافت. طبق تصاویری که از میکروسکوپ الکترونی بدست آمده است در فرایند غشایی ضخامت لایه کیک در غیاب فراصوت ۶ میکرومتر و در حضور آن به ۱/۵ میکرومتر کاهش یافت. ارزش غذایی آب انار توسط فراصوت بدلیل دمای بالای خوراک در اثر حمام فراصوت آسیب دید (Aliasghari Aghdam, Mirsaeedghazi, Aboonajmi, & Kianmehr, 2015). یوسف نژاد و همکاران در سال ۲۰۱۵، نشان دادند که سانتریفیوژ آب انار در ۲۰۰۰ rpm و سانتریفیوژ آب چغندر قند در ۴۰۰۰ rpm تاثیر مثبتی روی کارایی شفافسازی غشایی آن داشت. درحالی‌که بر عکس این مقادیر روی مقدار شار تراوه حین شفافسازی آب انار و آب چغندر قند اثر منفی داشت. دلیل اختلاف در مقادیر شار تراوه، تغییرات در مقادیر برخی خواص نظیر مواد فنلی کل و اندازه ذرات آبمیوه بوده است. سانتریفیوژ ارزش غذایی آب انار را جز در محتوای پلی‌فنل تغییری نداد (Yousefnezhad, Mirsaeedghazi, & Arabhosseini, 2017).

همانطور که گفته شد تحقیقات زیادی در زمینه غشاء و روش‌های کاهش گرفتگی آن در دنیا صورت گرفته است؛ ولی تاکنون اثر لیزر بر گرفتگی سامانه‌های ریزپالایش مورد بررسی قرار نگرفته است. در این تحقیق سعی شده است میزان گرفتگی را به میزان بیشتری کاهش داده و از طرفی افت شار کمتر گردد. از این‌رو در این مطالعه به بررسی تأثیر لیزر بر کاهش لایه‌های کیک غشاء و بازدهی شفافسازی آب انار و همچنین به بررسی اثری که لیزر بر خواص فیزیکی شیمیایی آب انار دارد به‌عنوان روشی نوین پرداخته شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### استخراج آب انار

انار مورد استفاده در این پژوهش، از رقم ملس ساوه بوده که از بازار محلی خریداری شد. انارهای رسیده جدا و شسته شدند و پس از برش زدن، با استفاده از پرس دستی آب‌گیری شدند. آب انار در بطری‌های PET در دمای ۲۵- درجه‌ی سلیسیوس منجمد و تا زمان آزمون نگهداری شدند.

### طراحی مدول غشاء

در این تحقیق، از نرم افزار سالیدورکس (به انگلیسی: SolidWorks) برای طراحی و ساخت مدول مورد نظر استفاده شد (شکل ۱). مدول نهایی از جنس پلکسی گلس بمنظور عبور نور لیزر ساخته شده است (شکل ۲).

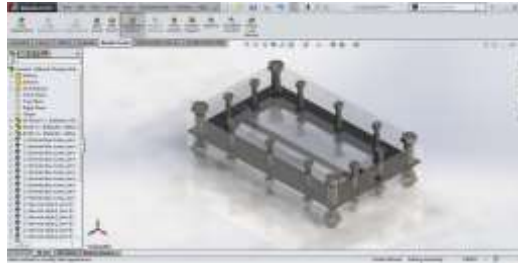


Figure 1. Designed module by SolidWorks software

شکل ۱- مدول طراحی شده توسط نرم افزار سالیدورکس



Figure 2. The final module manufactured with plexiglass

شکل ۲- مدول نهایی ساخته شده از جنس پلکسی گلس

سامانه ترکیبی غشاء و لیزر

شفافسازی با استفاده از غشای آبدوست از نوع پلی وینیلیدین فلوراید (PVDF)، با اندازه‌ی منفذ  $0.22$  میکرومتر با سطح فعال  $0.078$  متر مربع (Millipore, Billerica, MA, USA) در مدول صفحه ای از جنس پلکسی گلس بمنظور عبور نور لیزر انجام شد. یک پمپ چرخشی (PROCON, Series 2, Milano, Italy) برای پمپ کردن آب انار از مخزن خوراک به مدول غشایی که تحت تاثیر سامانه مولد لیزری (ND:YAG) با توان  $1$  وات و طول موج  $532$ nm) که از پائین به غشاء اعمال می‌شود، استفاده شد. تراوه در مخزن تراوه که روی یک ترازوی دیجیتال برای محاسبه شار تراوه قرار گرفته است، جمع آوری شد و ناتراوه به مخزن خوراک بازگشت. به منظور تغییر سرعت جریان در یک فشار انتقال غشایی یکسان از یک سامانه کنترل جریان که از یک ترانسمیتر (WIKA, type ECO-1, Klingenberg, Germany) نصب شده در مسیر جریان و یک اینورتر (LS, model sv015ic5) (LS, Korea) تشکیل شده است، استفاده شد. اینورتر با دریافت سیگنال فشار از ترانسمیتر دور موتور متصل به پمپ را طوری تنظیم می‌نماید که فشار در سرعت جریان‌های مختلف ثابت بماند. (شکل ۳).

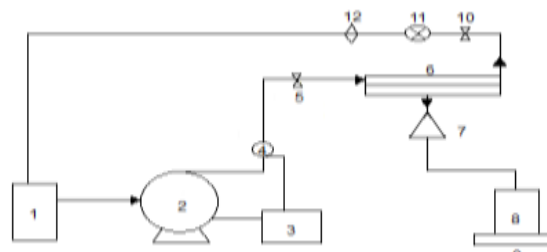


Figure 3. Couple laser-membrane unit (1: feed tank; 2: pump; 3: inverter; 4: transmitter; 5: input pressure meter; 6: membrane module; 7: laser; 8: permeate tank; 9: balance; 10: output pressure meter; 11: valve; 12: flow meter).

شکل ۳- سامانه ترکیبی غشاء و لیزر (۱: مخزن تغذیه، ۲: پمپ، ۳: اینورتر، ۴: ترانسمیتر، ۵: فشارسنج ورودی، ۶: مدول غشایی، ۷: سامانه لیزر، ۸: مخزن تراوه، ۹: ترازوی دیجیتال، ۱۰: فشارسنج خروجی، ۱۱: شیر تنظیم دبی، ۱۲: جریان‌سنج).



## تئوری

### اندازه گیری شار تراوه

شار تراوه ( $J_p$ ) از رابطه (۱) محاسبه شد:

$$J_p = \frac{\Delta m}{A \cdot t} \quad (1)$$

که در آن  $\Delta m$  مقدار وزن تراوهی حاصل (kg) در زمان  $t$  (s) در سطح  $A$  غشاء ( $m^2$ ) است.

### محاسبه مقاومت‌های مختلف غشاء

مقاومت کل غشاء ( $R_t$ ) از رابطه (۲) بدست آمد:

$$R_t = \frac{1}{L_p^1 \mu_w} \quad (2)$$

که در آن  $L_p^1$  نفوذپذیری هیدرولیک ( $m \cdot p^{-1} \cdot s^{-1}$ ) غشاء بعد از شفافسازی آب انار است. نفوذپذیری هیدرولیک طبق معادله (۳) محاسبه می‌گردد:

$$L_p = \frac{J_w}{\Delta p} \quad (3)$$

که در آن  $J_w$  و  $\Delta p$  به ترتیب شار آب و فشار انتقال غشایی است (Mirsaeedghazi, Emam-Djomeh, et al., 2010).

### روش انجام آزمایش

برای بررسی تاثیر لیزر بر روی شار تراوه و مقاومت‌گرفتگی کل، شفافسازی غشایی با لیزر و بدون اعمال لیزر انجام شد. این آزمایش در فشار ۰/۵ بار و دبی ۱۰ میلی لیتر بر ثانیه انجام شد تا تغییرات ناشی از شار در حضور لیزر و در نبود آن مورد بررسی قرار بگیرد. در اعمال امواج عمودی که از پایین بر غشاء صورت گرفت با توجه به اینکه منبع تولید امواج حالت نقطه ای داشت و برای اینکه امواج لیزر در سطح بیشتری روی غشا پخش شود از دو عدد عدسی مقعر و محدب بصورت تلسکوپی استفاده شد. در نهایت تغییرات خواص فیزیکوشیمیایی نمونه ی حاصل از تاباندن لیزر با نمونه آب انار اولیه مورد مقایسه قرار گرفت.

### ارزیابی خواص فیزیکوشیمیایی آب انار

خواص فیزیکوشیمیایی آب انار قبل و بعد از فرایند غشایی ارزیابی شد و میزان تغییرات هر پارامتر (Rejection factor) طبق معادله (۴) محاسبه گردید:

$$|\text{Rejection factor}| \% = \frac{\phi_f - \phi_p}{\phi_f} \times 100 \quad (4)$$

که در آن  $\phi_f$  و  $\phi_p$  به ترتیب مقادیر خواص فیزیکوشیمیایی قبل و بعد از شفافسازی غشایی است.

### فعالیت آنتی اکسیدانی

فعالیت آنتی اکسیدانی در آب انار به روش مهار رادیکال DPPH (۲ و ۲- دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل) اندازه گیری شد. طبق این روش ۳/۹ سی سی محلول متانولیک ۲۵ میلی گرم در لیتر از DPPH با ۰/۱ سی سی متانول مخلوط و جذب آن با استفاده از اسپکتروفتومتر نوع ماورابنفش مرئی (Lambda 25, perkin Elmer) در طول موج ۵۱۵ نانومتر، پس از رسیدن به حالت پایدار خوانده شد. با استفاده از منحنی استاندارد غلظت DPPH در این جذب تحت عنوان مقدار DPPH در  $t=0$  در نظر گرفته شد. پس از آن ۳/۹ سی سی از محلول متانولیک ۲۵ میلی گرم در لیتر از DPPH با ۰/۱ سی سی آبمیوه مخلوط و پس از گذشت نیم ساعت مقدار جذب آن در طول موج ۵۱۵ نانومتر در حالت پایدار خوانده و به عنوان مقدار DPPH در زمان  $t$  در نظر گرفته شد. مقدار DPPH باقیمانده از رابطه (۵) بدست آمد:

$$\% \text{DPPH}_{\text{Rem}} = \frac{[\text{DPPH}]_t}{[\text{DPPH}]_{t=0}} \quad (5)$$

مقدار غلظت آبمیوه ای که باعث کاهش ۵۰ درصدی غلظت DPPH میشود ، تحت عنوان غلظت مؤثر (EC50) بیان گردید که نمودی از فعالیت آنتی اکسیدانی آبمیوه است (Çam, Hişıl, & Durmaz, 2009).



## یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



### محتوای آنتوسیانین کل

محتوای آنتوسیانین کل به روش pH differential اندازه گیری شد. بطور خلاصه ۳/۶ سی سی محلول کلرید پتاسیم ۰/۰۲۵ مولار که توسط اسید کلریدریک به pH=۱ رسانده شده را با ۰/۴ سی سی آبمیوه مخلوط و میزان جذب آن توسط اسپکتروفتومتر نوع ماوراءبنفش مرئی، در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر تا رسیدن به حالت یکنواخت اندازه گیری و به ترتیب A<sub>1</sub> و A<sub>2</sub> گزارش شد. همچنین ۳/۶ سی سی محلول استات سدیم ۰/۴ مولار که توسط اسید استیک به pH=۴/۵ رسانیده شده را با ۰/۴ سی سی نمونه آبمیوه، مخلوط و میزان جذب آن در دو طول موج ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه گیری و به ترتیب A<sub>3</sub> و A<sub>4</sub> گزارش شد.

مقدار جذب (A) و مقدار آنتوسیانین کل از روابط (۷و۶) به دست آمد:

$$A = (A_1 - A_2) - (A_3 - A_4) \quad (۶)$$

$$TAC = \frac{A \times M_w \times D_F \times 100}{M_A} \quad (۷)$$

که در آن M<sub>w</sub> وزن مولکولی آنتوسیانین غالب، D<sub>F</sub> فاکتور رقت و M<sub>A</sub> جذب مولی آنتوسیانین غالب است (Çam et al., 2009).

### اسیدیته

میزان ۲/۵ گرم آبمیوه با ۲۵ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و در حضور معرف فنل فتالین با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به رنگ صورتی پایدار تیترو گردید. میزان اسیدیته از رابطه ی (۸) بدست آمد:

$$A = \frac{M \times 0.0064 \times 100}{W} \quad (۸)$$

که در آن (A) بیانگر اسیدیته کل، (M) بیانگر میلی لیتر سود و (W) وزن نمونه می باشد. میزان اسیدیته برحسب گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ گرم محلول آبمیوه بیان گردید.

### مقدار ترکیبات فنلی کل

مقدار ترکیبات فنلی کل به روش فولین سنجیده شد. در این روش یک میلی لیتر آبمیوه با یک میلی لیتر اسید کلریدریک شش مولار مخلوط و به آن پنج میلی لیتر محلول ۰.۷۵٪ متانول در آب افزوده شد. این محلول در حمام آبی ۹۰ درجه ی سلیسیوس به مدت دو ساعت هم زده شد و پس از رسیدن به دمای اتاق تا حجم ۱۰ میلی لیتر رقیق گردید.

سپس یک میلی لیتر از آن برداشته و با پنج میلی لیتر محلول فولین که ۱۰ برابر رقیق شده مخلوط شد. به محلول حاصل ۱۵ میلی لیتر کربنات سدیم با غلظت هفت گرم در ۱۰۰ میلی لیتر اضافه و سپس به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانیده شد. مقدار جذب محلول حاصل بعد از پایداری در ۷۶۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتری از نوع ماوراء بنفش مرئی در برابر شاهدی که تمامی مراحل بالا را گذراند ولی به جای آبمیوه از آب مقطر در تهیه ی آن استفاده شده بود، خوانده شد.

تمامی مراحل بالا توسط غلظتهای گوناگون محلول اسید گالیک (میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر) به جای آبمیوه تکرار شد و منحنی استاندارد به دست آمد. با استفاده از منحنی استاندارد مقدار ترکیبات فنولی کل موجود در آبمیوه اندازه گیری و بر حسب میلی گرم اسید گالیک موجود در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه آبمیوه گزارش شد (Çam et al., 2009).

### ماده جامد محلول کل، کدورت و pH

ماده جامد محلول کل با استفاده از رفاکتومتر دستی (ATAGO, HSR-500, Japan) در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس سنجیده و بر اساس درجه بریکس اعلام شد. کدورت با استفاده از کدورت سنج دیجیتال مدل Hach2100p اندازه گیری و با واحد NTU بیان شد. مقدار pH با pH متر دیجیتال (HANNA, HI207) در دمای ۲۵ درجه سلیسیوس اندازه گیری شد.

### آنالیز آماری

تمامی آزمون ها در سه تکرار انجام شد و میانگین مقادیر آنها گزارش شد. تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از ANOVA یک طرفه انجام شد و میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن با نرم افزار Minitab 15 در سطح ۱٪ مقایسه شد.





### بررسی تاثیر لیزر بر روی شار تراوه

آب انار در فشار ۰/۵ بار و دبی ۱۰ ml/s تحت فرایند ریزپالایش جهت شفافسازی در دو حالت با لیزر و بدون اعمال لیزر قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که لیزر می تواند شار تراوه را نسبت به حالت بدون لیزر افزایش دهد. لازم بذکر است که این افزایش شار تا پایان آزمایش ادامه داشته است (شکل ۴). همانگونه که در تحقیقات گذشته ثابت شد فشار یکی از پارامترهایی است که روی مقدار گرفتگی و شار تراوه موثر است. با افزایش فشار حرکت سیال به سمت سطح غشاء بیشتر شده و به همراه خود ترکیبات مسبب گرفتگی را به آنجا منتقل می کند که سبب افزایش گرفتگی و کاهش شار می گردد (Hojjatpanah, Emam-Djomeh, Ashtari, Mirsaedghazi, & Omid, 2011). ازین رو برای انجام آزمایش در دو حالت با لیزر و بدون اعمال آن، فشار در ۰/۵ بار ثابت بود. دما یکی دیگر از پارامترهایی است که در میزان شار تراوه موثر می باشد. در تحقیقی ثابت گشت که شار تراوه با افزایش دمای خوراک افزایش می یابد (Nourbakhsh, Alemi, Emam-Djomeh, & Mirsaedghazi, 2014). علاوه بر این در تحقیق دیگری تاثیر کارکردن در دمای بالا بر شار تراوه را مثبت دانستند، اما آن با تاثیر منفی کاهش سریع شار در ابتدای فیلتراسیون غشایی، با توجه به انباشت سریع تر جامدات در دمای بالاتر، خنثی شد (Vladislavljević, Vukosavljević, & Veljović, 2013). به همین دلیل است که بیشتر محققان از دمای ۲۵ درجه سانتی گراد استفاده می کنند و این تحقیق نیز در این دما انجام شده است. سرعت جریان خوراک نیز از جمله عواملی است که روی میزان گرفتگی موثر بوده و افزایش آن باعث کاهش گرفتگی میشود (Habibi, Aroujalian, Raisi, & Zokaee, 2011). بنابراین، این پارامتر نیز در هر دو آزمایش ثابت (۱۰ mL/s) در نظر گرفته شد.

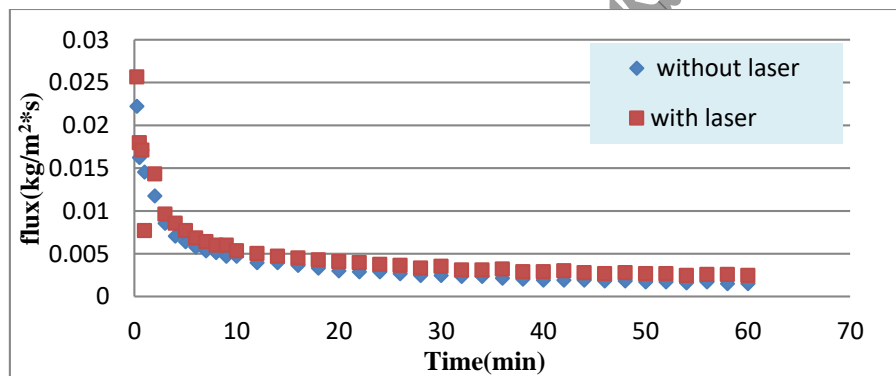


Figure 4. Effect of laser on the permeate flux during membrane clarification of pomegranate juice (flow rate = 10 mL.s<sup>-1</sup>, transmembrane pressure = 0.5 bar).

شکل ۴ - تاثیر لیزر بر شار تراوه حین شفافسازی غشایی آب انار (فشار: ۰/۵ بار، دبی: ۱۰ میلی لیتر بر ثانیه)

### مقاومت گرفتگی کل در حالت بالیزر و بدون لیزر

محاسبه مقاومت کل نشان داد در فشار و دبی مذکور با اعمال لیزر مقاومت کل کمتر از حالت بدون لیزر شد (جدول ۱). هماهنگی کاملی بین داده های شار تراوه و داده های گرفتگی وجود دارد، بطوریکه پارامتری که باعث افزایش گرفتگی می شوند در مقابل شار تراوه را کاهش می دهند (Mirsaedghazi et al., 2012). بنابراین با کم شدن مقاومت کل توسط لیزر، گرفتگی نیز کاهش یافته و دلیلی دیگر برای اثبات افزایش شار تراوه در حالت اعمال لیزر نسبت به حالتی است که لیزر اعمال نشده باشد.



جدول ۱- مقادیر مقاومت کل غشاء در هر دو حالت با لیزر و بدون لیزر

Table 1. Effect of laser treatment on total resistance

Rt ( $\times 10^{10}$ , $m^{-1}$ )	process
1560	With laser
1613.793	Without laser

### تاثیر اعمال لیزر بر خواص فیزیکوشیمیایی آب انار

ارزش غذایی آب انار برای مصرف کنندگان مهم است، بنابراین تاثیر اعمال لیزر بر خواص فیزیکوشیمیایی آب انار بررسی شد. نتایج نشان داد که pH در حالت اعمال لیزر تغییری نکرده است ولی در حالتی که لیزر اعمال نشده درصد تغییرات افزایش یافته است. مواد جامد محلول بعد از ریزپالایش در هر دو حالت با اعمال لیزر و بدون اعمال لیزر کم شده است ولی درصد تغییرات آن در حالت بدون لیزر بیشتر بوده است. مقادیر پارامترهای مربوط به رنگ آب انار که با استفاده از دستگاه هانتربل اندازه گیری شده هر یک نشان دهنده مشخصه خاصی از آب انار است. مقدار  $L^*$  نمایانگر مقدار روشنایی یا درخشندگی آب انار است که در هر دو فرایند غشایی با اعمال لیزر و بدون اعمال لیزر زیاد شده است و درصد تغییرات آن در حالت با اعمال لیزر بیشتر است که این امر نشان دهنده این است که شفافیت یا روشنایی نمونه آب انار وقتی لیزر به آن تابانده شده بیشتر شده است. مقدار  $a^*$  نشان دهنده قرمزی آب انار است و رفتاری مشابه با مقدار روشنایی در حالت با لیزر و بی لیزر دارد بدین معنی که قرمزی هر دو نمونه آبمیوه پس از فرایند غشایی افزایش پیدا کرده است و درصد افزایش قرمزی در حالت با لیزر بیشتر می باشد. مقدار  $b^*$  نشان دهنده رنگ زردی آب انار است که همانند دو پارامتر مذکور فرایند غشایی افزایش زردی آب انار را در پی داشت و درصد تغییرات این افزایش در حالت با لیزر بیشتر بود. با توجه به مقادیر ارایه شده در جدول ۲ برای رنگ آب انار میزان درصد افزایش رنگ زردی ( $b^*$ ) در حالت با لیزر و بی لیزر نسبت به پارامترهای دیگر رنگ که توسط هانتربل سنجیده می شود، بیشتر است.  $EC_{50}$  در هر دو فرایند شفافسازی با لیزر و بی لیزر زیاد شده که نشان می دهد فعالیت انتی اکسیدانی در هر دو فرایند کاهش یافته است ولی تغییرات آن در دو حالت با لیزر و بدون لیزر تفاوت معناداری با هم ندارند. کدورت نیز در هر دو فرایند کاهش یافت که این نیز با نتیجه میرسعیدقاضی و همکاران در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد (Mirsaeedghazi, Emam-Djomeh, et al., 2010). مقادیر سایرخواصی که در جدول ۲ برای آب انار ذکر شده بعد از فرایند شفافسازی در هر دو حالت با لیزر و بی لیزر کاهش یافته اند، اما تغییرات آنها از لحاظ آماری تفاوت معناداری باهم ندارند.

جدول ۲- تاثیر اعمال لیزر روی خواص فیزیکوشیمیایی آب انار حین شفافسازی غشایی (فشار انتقال غشایی: ۰/۵ بار، دبی: ۱۰ میلی لیتر بر ثانیه)

Table 2. Effect of laser treatment on physicochemical properties of pomegranate juice during membrane clarification (velocity rate = 10 mL.s<sup>-1</sup>, transmembrane pressure = 0.5 bar)

%R		Parameter
Without laser	With laser	
17.00 <sup>a</sup>	12.94 <sup>b</sup>	Total soluble solids (TSS, °Brix)
99.1 <sup>a</sup>	99.8 <sup>a</sup>	Turbidity (NTU)
5.9 <sup>a</sup>	0 <sup>b</sup>	pH
12.08 <sup>a</sup>	11.27 <sup>a</sup>	Acidity (g citric acid/100 mL juice)
38.4 <sup>a</sup>	39.5 <sup>a</sup>	Total anthocyanin content (mg/100 ml juice)
0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	Total phenolic components (mg Gallic acid/100 mL juice)
78.2 <sup>a</sup>	78.8 <sup>a</sup>	(EC50) Antioxidant activity
73.5 <sup>a</sup>	75.4 <sup>a</sup>	Density
50.14 <sup>b</sup>	61.2 <sup>a</sup>	$L^*$
20.00 <sup>b</sup>	45.59 <sup>a</sup>	$a^*$
75.88 <sup>b</sup>	169.7 <sup>a</sup>	$b^*$



با استفاده از فرایند ریزپالایش ظاهر کدر آب انار را می توان برطرف نمود و آن را به آبمیوه ای شفاف و تمیز با حفظ خصوصیات مهم و ارزشمند آن تبدیل کرد. بزرگترین مانعی که بر سر راه صنعتی شدن این فرایند قرار دارد، پدیده گرفتگی است. نتایج نشان داد که در صورت اعمال لیزر می توان شار تراوه بیشتری نسبت به حالت بدون لیزر داشت. بعلاوه اعمال لیزر مقاومت کل غشاء را کاهش داد که این خود دلیلی بر تاثیرگذار بودن لیزر در کاهش گرفتگی است. در بحث خواص فیزیکیوشیمیایی، لیزر پارامترهای مربوط به رنگ آب انار را تغییر داده و درصد تغییرات آن به ترتیب در رنگ زردی، شفافیت و قرمزی بیشتر بود. سایر خواص پس از شفافسازی مقدارشان کاسته شد ولی تغییرات آنها تفاوت معناداری با هم نداشتند. pH توسط لیزر تغییری نکرد و تغییرات کاهشی مواد جامد محلول در حالت اعمال لیزر کمتر از بدون لیزر بود.

**Journal Article:**

- Aliasghari Aghdam, M., Mirsaedghazi, H., Aboonajmi, M., & Kianmehr, M. H. (2015). The effect of ultrasound waves on the efficiency of membrane clarification of pomegranate juice. *International journal of food science & technology*, 50(4), 892-898 .
- Çam, M ., Hişıl, Y., & Durmaz, G. (2009). Classification of eight pomegranate juices based on antioxidant capacity measured by four methods. *Food chemistry*, 112(3), 721-726 .
- Cassano, A., Conidi, C., & Drioli, E. (2011). Clarification and concentration of pomegranate juice (*Punica granatum L.*) using membrane processes. *Journal of Food Engineering*, 107(3-4), 366-373 .
- de Bruijn, J., & Bórquez, R. (2006). Analysis of the fouling mechanisms during cross-flow ultrafiltration of apple juice. *LWT-Food Science and Technology*, 39(8), 861-871 .
- Habibi, A., Aroujalian, A., Raisi, A., & Zokaei, F. (2011). Influence of operating parameters on clarification of carrot juice by microfiltration process. *Journal of Food Process Engineering*, 34(3), 860-877 .
- Hojjatpanah, G., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., Mirsaedghazi, H., & Omid, M. (2011). Evaluation of the fouling phenomenon in the membrane clarification of black mulberry juice. *International journal of food science & technology*, 46(7), 1538-1544 .
- Lansky, E. P., & Newman, R. A. (2007). *Punica granatum* (pomegranate) and its potential for prevention and treatment of inflammation and cancer. *Journal of ethnopharmacology*, 109(2), 177-206 .
- Mirsaedghazi, 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 .
- Mirsaedghazi, H., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M., Ahmadvani, R., & Shafiee, A. (2010). Effect of membrane clarification on the physicochemical properties of pomegranate juice. *International journal of food science & technology*, 45(7), 1457-1463 .
- Mirsaedghazi, H., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, S. M., Aroujalian, A., & Navidbakhsh, M. (2009). Changes in blocking mechanisms during membrane processing of pomegranate juice. *International journal of food science & technology*, 44(11), 2135-2141 .
- Mirsaedghazi, H., Mousavi, S. M., EMAM-DJOMEH, Z., Rezaei, K., Aroujalian, A., & Navidbakhsh, M. (2012). Comparison between ultrafiltration and microfiltration in the clarification of pomegranate juice. *Journal of Food Process Engineering*, 35(3), 424-436 .
- Nourbakhsh, H., Alemi, A., Emam-Djomeh, Z., & Mirsaedghazi, H. (2014). Effect of processing parameters on fouling resistances during microfiltration of red plum and watermelon juices: a comparative study. *Journal of food science and technology*, 51(1), 168-172 .
- Sarkar, B., & De, S. (2010). Electric field enhanced gel controlled cross-flow ultrafiltration under turbulent flow conditions. *Separation and Purification Technology*, 74(1), 73-82 .
- Vladislavjević, G. T., Vukosavljević, P., & Veljović, M. S. (2013). Clarification of red raspberry juice using microfiltration with gas backwashing: A viable strategy to maximize permeate flux and minimize a loss of anthocyanins. *Food and Bioprocess Processing*, 91(4), 473-480 .
- Yousefzad, B., Mirsaedghazi, H., & Arabhosseini, A. (2017). Pretreatment of pomegranate and red beet juices by centrifugation before membrane clarification: a comparative study. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(2), e12765 .