

## اثر پارامترهای فرآیند بر گرفتگی غشاء میکروفیلتر در حین شفاف سازی آب انار

حسین میرسعیدقاسمی<sup>۱\*</sup> - زهرا امام جمعه<sup>۲</sup> - سید محمد علی ابراهیم زاده موسوی<sup>۳</sup> - عبدالرضا اروجعلیان<sup>۴</sup> - مهدی نویدبخش<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۱۶

### چکیده

آب انار که میوه ای با خواص تغذیه ای بسیار مفید است دارای ظاهری کدر است که نگهداری و تغلیظ آن را دچار مشکل می‌کند. میکروفیلتراسیون آب انار باعث کاهش کدورت آب میوه می‌شود. یکی از مشکلات موجود در این فرآیند پدیده گرفتگی است که عوامل مختلفی بر آن تأثیر گذار می‌باشند. در این تحقیق اثر سرعت جریان (۰/۰۴۳ تا ۰/۵۳۶ m/s)، فشار (۵ تا ۵ بار)، نوع غشاء (پلی وینیلیدن فلوراید و استرهای ترکیبی سلولز) و اندازه منفذ غشاء (۰/۱ و ۰/۲۲ میکرومتر) بر میزان گرفتگی بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش سرعت جریان در تمامی غشاهای مطالعه شده باعث کاهش قابل ملاحظه گرفتگی غشاء پس از شفاف سازی آن می‌شود. افزایش فشار به دلیل افزایش نیروی محرکه افزایش میزان گرفتگی را در پی داشت. با افزایش خاصیت آبدوستی در غشاء و با افزایش اندازه منفذ میزان گرفتگی غشاء بیشتر می‌گردد. مطالعات تکمیلی به منظور تأیید نتایج تئوریک توسط عکسبرداری سطح و سطح مقطع غشاء توسط میکروسکوپ الکترونی انجام شد و نتایج تئوری را تأیید نمود.

واژه های کلیدی: غشاء، آب انار، گرفتگی، شفاف سازی

### مقدمه

مشکلات پیش روی این صنعت ایجاد گرفتگی بر اثر رسوب ترکیبات درشت موجود در آب میوه بر روی سطح غشاء مورد استفاده است. این پدیده باعث کاهش شار تراوه در حین شفاف سازی آب میوه می‌شود. پدیده مذکور مهمترین مانع پیش روی صنعتی شدن فرآیند شفاف سازی غشائی آب میوه ها می‌باشد. پارامترهای مختلفی می‌توانند بر روی پدیده گرفتگی تأثیر گذار باشند. مطالعات مختلفی در زمینه گرفتگی غشاهای مختلف در حین شفاف سازی آب میوه ها انجام شده است. در سال ۲۰۰۶ یوشیکوبو و همکارانش آب اومبو (۱۱) را که یک میوه بومی برزیل می‌باشد با استفاده از توسط غشاء میکروفیلتر پلی پروپیلن با اندازه منفذ ۰/۲۲ میکرومتر شفاف نمود. این محققان مقاومت‌های مختلف را ارزیابی نمودند و نتیجه گرفتند که سرعت جریان عرضی و غلظت آنزیم بیشتر باعث مقاومت پایینتر غشاء می‌شود. آنها همچنین نشان دادند که مهمترین عامل تأثیر گذار بر مقاومت گرفتگی فشار انتقال غشائی<sup>۷</sup> بود که افزایش آن باعث افزایش مقاومت غشاء می‌شد. این محققان تحقیق دیگری را بر روی آب تمبر هندی انجام دادند و نتایج مشابهی بدست آوردند (۱۳). هوانگ و همکارانش (۵) در سال ۲۰۰۷ مکانیسمهای گرفتگی را در حین میکروفیلتراسیون انتها بسته سوسپانسیون ذرات پلی متیل

انار میوه ارزشمندی است که در کشورهای خاورمیانه می‌روید. این میوه و به خصوص آب آن دارای خواص تغذیه ای بسیار مفیدی است (۲، ۳، ۴، ۶ و ۱۰). آب انار به دلیل وجود ترکیبات پلی فنلی در آن دارای ظاهری کدر می‌باشد که نگهداری و تغلیظ ثانویه آنرا دچار مشکل می‌نماید. به منظور رفع این مشکلات کدورت آبمیوه بایستی کاهش یابد.

میکروفیلتراسیون<sup>۶</sup> (MF) فرآیندی با نیروی محرکه فشار می‌باشد که می‌تواند برای کاهش کدورت آبمیوه استفاده گردد (۸). یکی از

۱ دانش آموخته دکترای تخصصی صنایع غذایی، گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی کرج، دانشگاه تهران

\* نویسنده مسئول: (Email: mirsaeed@ut.ac.ir)

۲ و ۳ اعضای هیات علمی گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

۴ دانشیار گروه مهندسی شیمی صنایع غذایی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۵ استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

$$R_f = \frac{\Delta P}{\mu J_1} - R_m \quad (1)$$

که در آن  $P$ ،  $\mu$ ،  $J_1$  و  $R_m$  به ترتیب فشار انتقال غشائی (Pa)، ویسکوزیته آب (Pa.s)، شار تراوه آب بعد از فرآیند نمودن آب انار با غشاء (m/s) و مقاومت ذاتی غشاء (1/m) است. مقدار مقاومت ذاتی غشاء از رابطه ۲ بدست آمد:

$$R_m = \frac{\Delta P}{\mu J_2} \quad (2)$$

که در آن  $J_2$  شار تراوه آب در غشاء تازه (m/s) است (۱۲).

### مطالعه ریز ساختاری غشاء

به منظور بررسی لایه گرفتگی روی غشاء و در عرض آن عکسهایی از سطح یا برش عرضی غشاء قبل و بعد از فرآیند توسط میکروسکوپ الکترونی نوع اس-ای-ام<sup>۵</sup> و مدل ایکس-ال-۳۰<sup>۶</sup> ساخت شرکت فیلیپس از کشور هلند تهیه شد. روش نشانندن طلا ترسیب بخار فیزیکی<sup>۷</sup> بود. نام دستگاه لایه نشانی طلای مورد استفاده روکش دهنده سریع، ساخت شرکت بال تکنولوژی<sup>۸</sup> از کشور سوئیس مدل اس-سی دووس<sup>۹</sup> بود.

### تحلیلهای آماری

تمامی آزمونها حداقل در سه تکرار انجام شد و میانگین داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۱٪ با هم مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

به منظور مطالعه اثر جنس غشاء بر شار تراوه، آبمیوه در شرایط یکنواخت دما، فشار، سرعت و اندازه منفذ توسط دو غشاء PVDF و MCE شفاف گردید. نتایج نشان داد گرفتگی در غشاء از جنس MCE بیشتر از PVDF می باشد (شکل ۲). دلیل این امر را می توان در خاصیت آبدوستی بیشتر غشاء MCE نسبت به غشاء PVDF دانست (بنابه اعلام شرکت سازنده غشاء). این امر باعث شار بیشتر تراوه در این غشاء نسبت به غشاء PVDF می شود و این شار زیاد به همراه خود ترکیبات بیشتری را به سمت غشاء حرکت داده و باعث گرفتگی بیشتر غشاء می شود. مطالعه اثر اندازه منفذ بر میزان گرفتگی

متاکریلات در آب دیونیزه شده بررسی نمودند و اثر فشار و تراکم ذرات را بر پارامترهای مدل هر میا<sup>۱</sup> در گرفتگی غشاء بررسی کردند. همچنین در سال ۲۰۰۸ کسانو و همکارانش (۳) مکانیسمهای گرفتگی را در اولترافیلتراسیون آب کیوی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در این فرآیند، مکانیسم گرفتگی بیشتر از نوع گرفتگی برگشت پذیر بود (۲۹/۴ درصد) و انواع گرفتگی غیر برگشت پذیر و لایه کیک سهم کمی در گرفتگی این غشاء داشتند (به ترتیب ۲/۲۳ درصد و ۲/۷۵ درصد).

همانطور که نشان داده شد، مطالعات زیاد دیگری بر روی گرفتگی غشاء در حین شفاف سازی آبمیوه جات مختلف دیگر صورت پذیرفته، اما در این بین کمبودها در زمینه مطالعه اثر پارامترهای مختلف بر روی گرفتگی غشاء در حین شفاف سازی آب انار مشهود است. بومی بودن این میوه و خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیبات مسبب گرفتگی متفاوتی که در این آب میوه وجود دارد، لزوم مطالعه در زمینه آب انار را تایید می کند. در این تحقیق اثر پارامترهای فرآیند و جنس غشاء MF بر میزان گرفتگی غشاء میکروفیلتراسیون در حین شفاف سازی آب انار مطالعه شده است.

### مواد و روش ها

#### استخراج آب انار

میوه انار (*Punica granatum L.*) واریته ملس ساوه از مووسسه تحقیقاتی انار ساوه (ساوه، ایران) تهیه شد. انارها شسته، پوستگیری شدند و دانه ها به صورت دستی آبگیری شدند. خصوصیات شیمیایی آب انار مورد استفاده قبل و بعد از فرآیند توسط نویسندگان تعیین و گزارش شده است (۸).

#### سیستم غشائی مورد استفاده

شفاف سازی توسط غشاهای میکروفیلتر آبدوست از جنس پلی وینیلیدن فلوراید<sup>۲</sup> با اندازه منافذ ۰/۲۲ و ۰/۴۵ میکرومتر و استرهای ترکیبی سلولز<sup>۳</sup> با اندازه منافذ ۰/۱ و ۰/۲۲ میکرومتر (میلیپور<sup>۴</sup>، آمریکا) با سطح مؤثر فیلتراسیون ۰/۰۲۰۹ m<sup>2</sup> در مدول صفحه ای با اندازه آزمایشگاهی و به شکل غیر مداوم در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد انجام شد (شکل ۱).

#### محاسبه میزان گرفتگی غشاء

مقاومت گرفتگی غشاء ( $R_f$ ) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

5 - SEM

6 - XL30

7 - P.V.D

8 - BAL-TEC

9 - SCDOOS

1 - Hermia

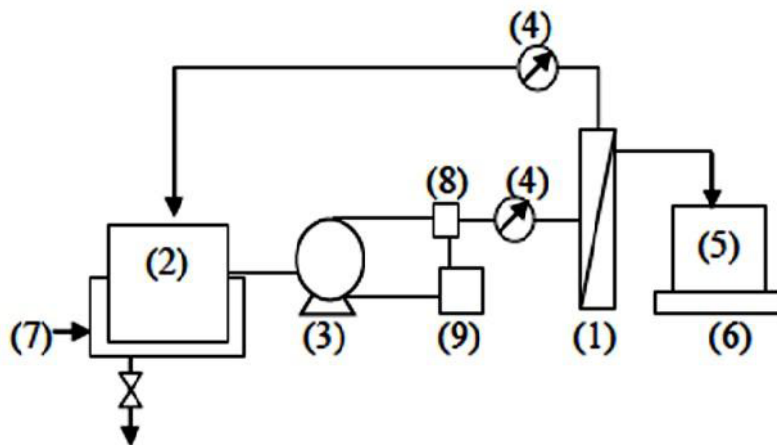
2 - PVDF

3 - MCE

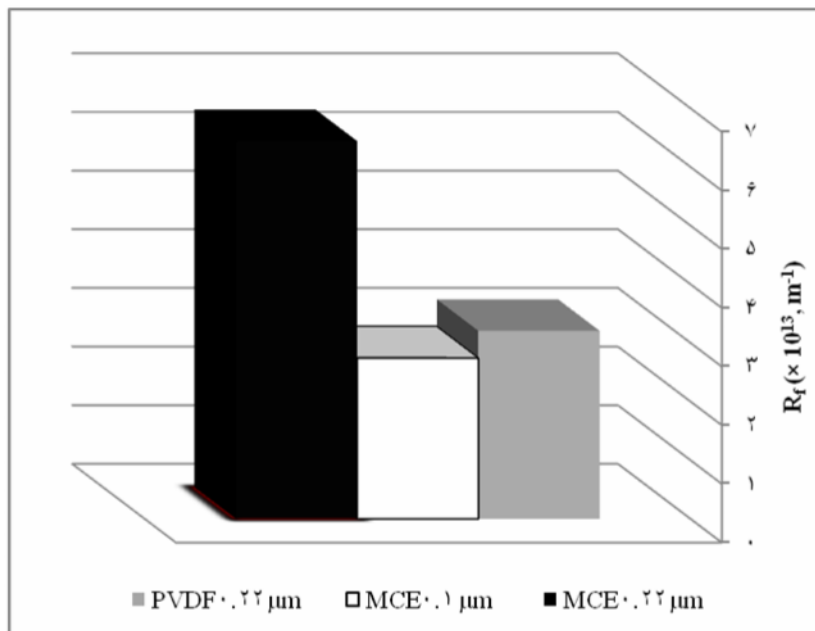
4 - Milipore

غشاه افزایش می‌یابد (شکل ۳ ج و د). برای مطالعه اثر فشار بر میزان گرفتگی غشاه ابتدا غشاه MCE با اندازه منفذ ۰/۱ میکرومتر در معرض سه فشار انتقال غشائی مختلف ۰/۵، ۲ و ۵ بار قرار گرفت. همچنین غشاه PVDF با اندازه منفذ ۰/۲۲ میکرومتر نیز تحت دو فشار انتقال غشائی ۰/۵ و ۵ بار قرار گرفت. از آنجاییکه فرآیند میکروفیلتراسیون، فرآیندی با نیروی محرکه فشار است افزایش فشار باعث افزایش حرکت سیال به سمت سطح غشاه شده و به همراه خود ترکیبات مسبب گرفتگی را به سمت سطح غشاه منتقل می‌نماید. در نتیجه همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش فشار میزان گرفتگی غشاه افزایش یافته است.

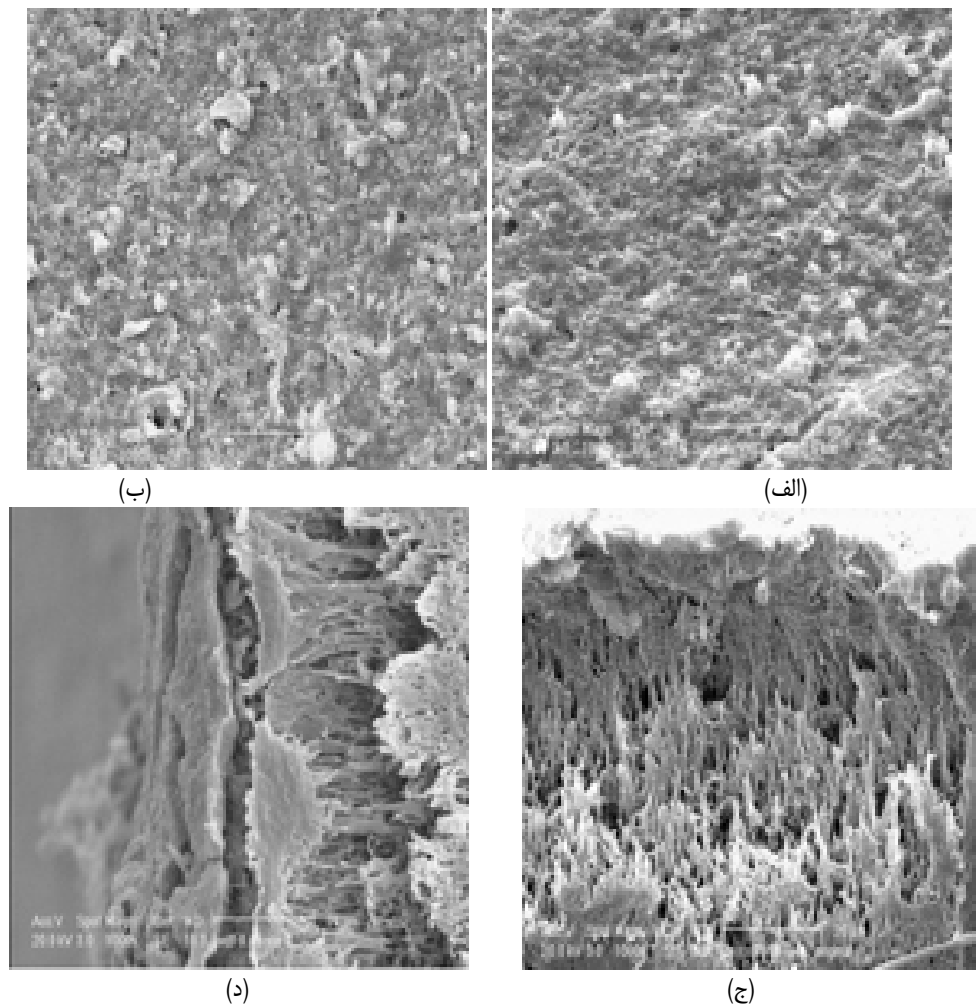
غشاه که توسط دو اندازه منفذ ۰/۱ و ۰/۲۲ میکرومتر غشاه با جنس MCE انجام شد نشان داده که کاهش شار حاصل از کاهش اندازه منفذ نیز می‌تواند باعث کاهش قابل ملاحظه گرفتگی در غشاه بعد از فرآیند شفاف سازی آب انار گردد (شکل ۲). به منظور مطالعه بهتر اثر اندازه منفذ، آب انار توسط غشاه PVDF با دو اندازه منفذ ۰/۲۲ و ۰/۴۵ میکرومتر در فشار ۰/۵ بار تحت فرآیند شفاف سازی قرار گرفت و همانگونه که در شکل ۳ الف و ب نشان داده می‌شود، با افزایش اندازه منفذ، سختی ترکیبات رسوب نموده بر روی سطح غشاه بیشتر شده و مطالعه سطح مقطع عرضی این غشاهها نمایانگر این بود که با افزایش اندازه منفذ ضخامت لایه کیک رسوب کرده بر روی سطح



شکل ۳ شمایی از مدول صفحه ای استفاده شده در این تحقیق (۱: مدول صفحه ای حاوی غشاه؛ ۲: تانک تغذیه؛ ۳: پمپ؛ ۴: فشار سنج؛ ۵: ظرف جمع آوری تراوه؛ ۶: ترازو؛ ۷: ورود آب به جدار تانک تغذیه؛ ۸: فرستنده؛ ۹: مبدل)



شکل ۴ اثر جنس و اندازه منفذ غشاه بر میزان گرفتگی غشاهای میکروفیلتر صفحه ای بعد از دو ساعت شفاف سازی آب انار



شکل ۳ مطالعه ریز ساختاری اثر اندازه منفذ بر میزان گرفتگی غشاء PVDF در فشار ۰/۵ بار، الف: سطح غشاء فرآیند شده با اندازه منفذ ۰/۲۲ μm، ب: سطح غشاء فرآیند شده با اندازه منفذ ۰/۴۵ μm، ج: سطح مقطع عرضی غشاء فرآیند شده با اندازه منفذ ۰/۲۲ μm، د: سطح مقطع عرضی غشاء فرآیند شده با اندازه منفذ ۰/۴۵ μm

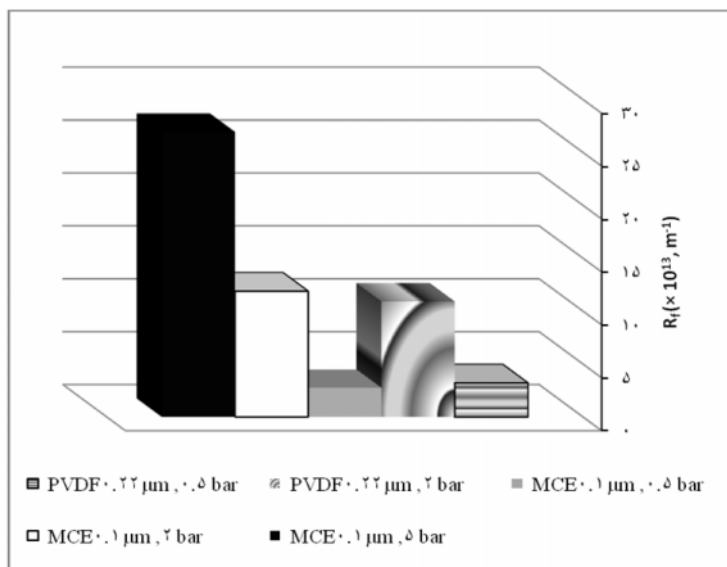
PVDF با اندازه منفذ ۰/۲۲ میکرومتر در فشار انتقال غشائی ۰/۵ بار تحت دو سرعت ۰/۰۹۷ m/s و ۰/۵۳۳ m/s قرار گرفت. همچنین غشاء MCE با اندازه منافذ ۰/۱ و ۰/۲۲ میکرومتر نیز تحت سرعت جریانهای متفاوت (۰/۰۹۵ و ۰/۵۳۶ m/s برای ۰/۱ میکرومتر و ۰/۰۴۳، ۰/۰۹۵ و ۰/۲۷۷ m/s برای ۰/۲۲ میکرومتر) قرار گرفتند. همانطور که در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود افزایش سرعت جریان به سبب افزایش نیروهای تنشی وارده بر سطح غشاء و روبش کیک تشکیل شده بر سطح آن باعث کاهش ضخامت لایه کیک و بدنبال آن کاهش میزان گرفتگی غشاء می‌شود.

بررسی ریزساختاری انجام شده بر روی غشاء PVDF با اندازه منفذ ۰/۲۲ میکرومتر در سرعت‌های مذکور نیز این مطلب را تأیید نمود و نشان داد که ضخامت لایه کیک تشکیل شده بر روی سطح غشاء بر اثر افزایش سرعت بسیار کاهش می‌یابد (شکل ۹).

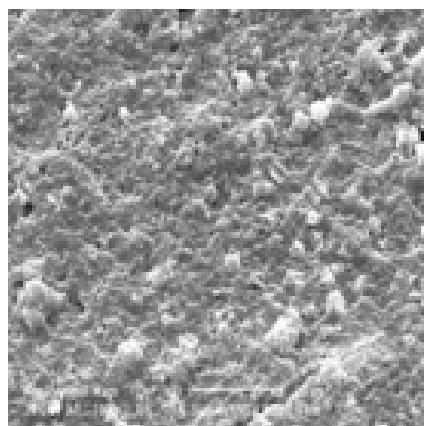
مطالعه ریزساختاری غشاها نشان داد که اولاً شفاف سازی آب انار توسط سیستم غشائی باعث گرفته شدن کامل منافذ غشاء می‌گردد و ثانیاً بر اثر افزایش فشار ساختار لایه رسوب کرده بر روی غشاء تغییر کرده و از حالت نرم (در فشار پایینتر) به حالت سخت و خشن (در فشار بالاتر) تغییر می‌نماید (شکل ۵).

به منظور مطالعه بهتر، سطح مقطع عرضی غشاء MCE مذکور بعد از فرآیند با آب انار در فشارهای ۰/۵ و ۵ بار مورد مطالعه ریز ساختاری قرار گرفت (شکل ۶). نتایج نشان داد که اولاً قسمت اعظم گرفتگی غشاء به دلیل مکانیسم تشکیل کیک می‌باشد. این نتیجه با مطالعه قبلی نویسندگان مقاله حاضر مطابقت دارد (۷). ثانیاً افزایش فشار باعث افزایش ضخامت لایه کیک رسوب نموده بر روی غشاء می‌شود. نتایج حاصل از مطالعات ریزساختاری منطبق بر نتایج مقاومت گرفتگی در مورد اثر فشار بود.

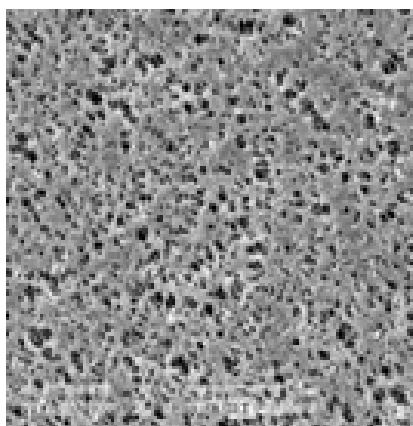
به منظور مطالعه اثر سرعت جریان بر مقدار گرفتگی، غشاء



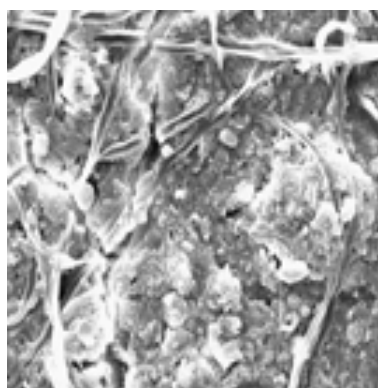
شکل ۴ اثر فشار انتقال غشائی بر میزان گرفتگی کل در غشاهای صفحه ای PVDF 0.22 μm و MCE 0.1 μm



(ب)

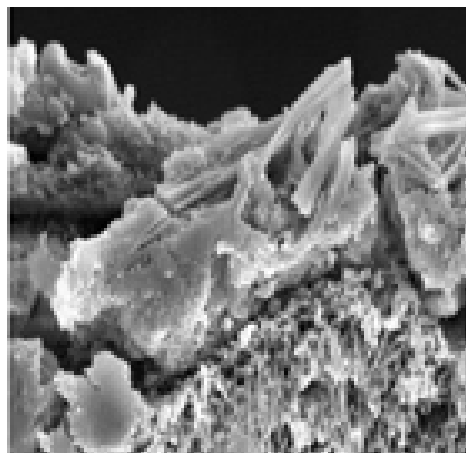


(الف)

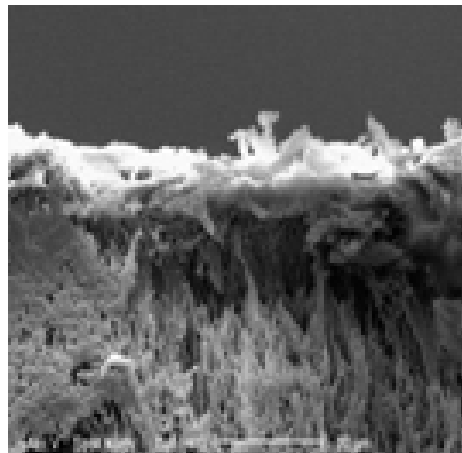


(ج)

شکل ۵ ریزساختار سطح غشاء MCE 0.1/22 μm الف: قبل از فرآیند (۲۰۰×)، ب: بعد از فرآیند با آب انار در فشار ۰/۵ بار (۱۰۰۰×)، ج: بعد از فرآیند با آب انار در فشار ۵ بار (۱۰۰۰×)

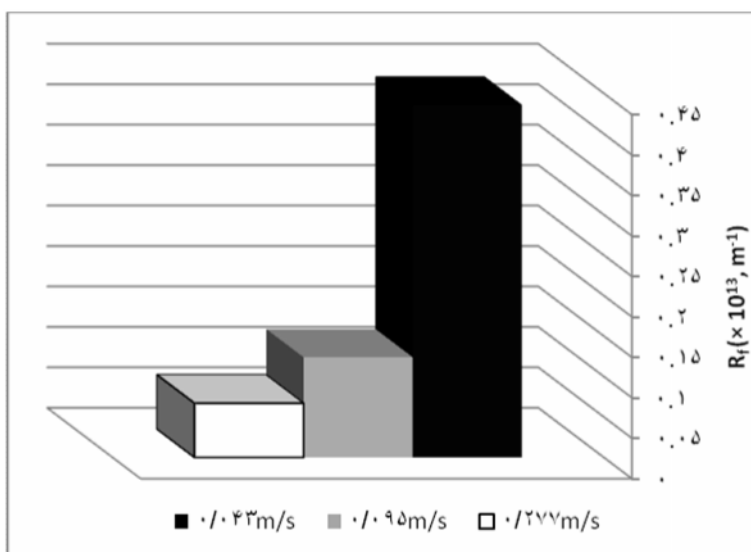


(ب)



(الف)

شکل ۶ سطح مقطع غشاء MCE 0.22 μm فرآیند شده در الف: فشار ۰/۵ بار و ب: فشار ۵ بار (× ۱۰۰۰)



شکل ۷ اثر سرعت جریان بر میزان گرفتگی غشاء MCE 0.22 μm در فشار ۰/۷۵ بار بعد از فرآیند با آب انار

قرار دارد پدیده گرفتگی است. عوامل مختلفی بر میزان این پدیده مؤثرند. بررسی اثر فشار انتقال غشائی بر میزان گرفتگی نشان داد که افزایش این پارامتر باعث افزایش چشمگیر میزان گرفتگی غشاء می‌شود. مطالعه ریز ساختاری غشاء نیز در تأیید این یافته نشان داد که با افزایش فشار ضخامت یک تشکیل شده بر روی سطح غشاء بیشتر می‌شود. بررسی تئوریک و ریزساختاری اثر اندازه منفذ و جنس غشاء نشان داد که با افزایش شار بر اثر افزایش خاصیت آبدوستی غشاء و همچنین افزایش اندازه منفذ ضخامت لایه یک و میزان گرفتگی کل در غشاء بعد از شفاف نمودن آب انار افزایش می‌یابد. مطالعه اثر سرعت جریان بر میزان گرفتگی در تمامی غشاهای مورد مطالعه نشانگر کاهش شدید گرفتگی غشاء بر اثر افزایش سرعت بود.

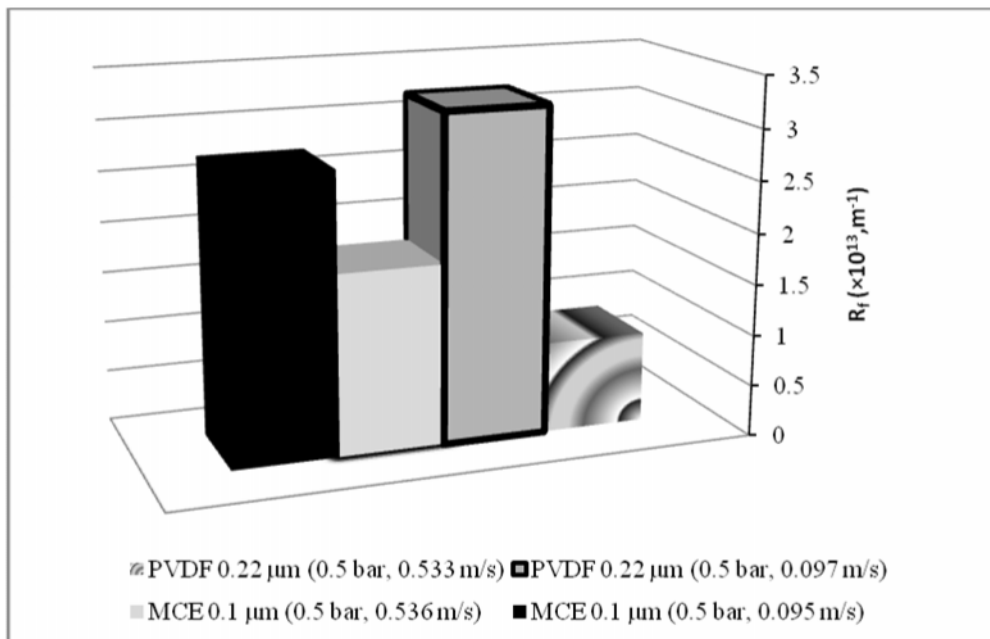
در تمامی موارد داده های شار تراوه نیز بدست آمد و نشان داد که هماهنگی کاملی بین این داده ها و داده های گرفتگی وجود دارد به طوریکه تمامی پارامترهایی که باعث افزایش گرفتگی می‌شوند در مقابل شار تراوه را کاهش می‌دهند (۹).

همچنین اندازه گیری تغییرات کدورت در آبمیوه اولیه و شفاف شده نشان داد که تمامی فرآیند های ذکر شده توانایی کاهش کدورت آب انار را به میزان قابل توجهی دارند (۸).

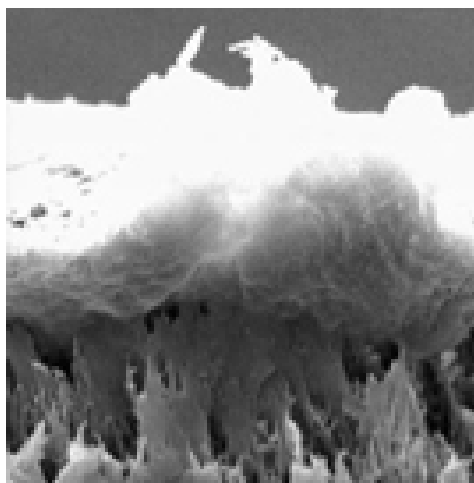
### نتیجه گیری

ظاهر کدر آب انار را می‌توان با استفاده از فرآیند میکروفیلتراسیون برطرف نمود. مهمترین مانعی که در سر راه صنعتی شدن این فرآیند

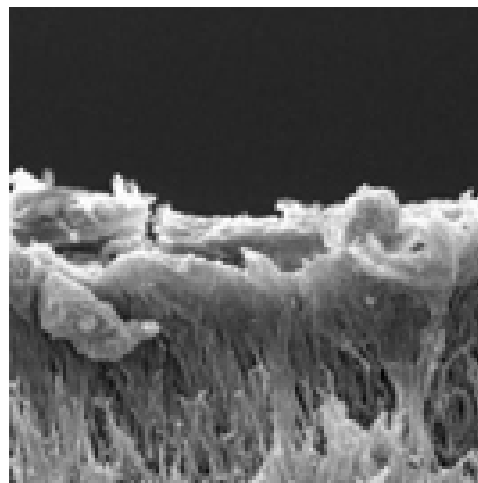
امری که توسط مطالعه ریزساختاری سطح مقطع غشاء در دو سرعت متفاوت نیز تأیید شد.



شکل ۸ اثر سرعت جریان بر میزان گرفتگی غشاء PVDF 0.22 μm و MCE 0.1 μm بعد از فرآیند آب انار



(ب)



(الف)

شکل ۹ اثر سرعت جریان بر ضخامت لایه کیک تشکیل شده بر روی سطح غشاء PVDF با اندازه منفذ ۲۲/۰ میکرومتر؛ الف: فرآیند در سرعت ۰/۵۳۳ m/s، ب: فرآیند در سرعت ۰/۰۹۷ m/s

### منابع

- 1- Aviram M., Rosenblat M., Gaitini D., Nitecki S., Hoffman A., Dornfeld L., Volkova N., Presser D., Attias J., Liker H., Hayek T. 2004. Pomegranate juice consumption for 3 years by patients with carotid artery stenosis reduces common carotid intima-media thickness, blood pressure and LDL oxidation, *Clinical Nutrition*, 23: 423-433.
- 2- Barzegar M., Samadloyi H.R., Azizi M.H. 2008. Physico-chemical quality of seeds of pomegranate cultivars (*Punica granatum L.*) grown in Iran and antioxidative activity of their phenolic component, *Journal of Food*

- Science and Technology, 45: 190-192.
- 3- Cassano A., Donato L., Conidi C., Drioli E. 2008. Recovery of bioactive compounds in kiwifruit juice by ultrafiltration, *Innovative food science and emerging technologies*, 9: 556-562.
  - 4- Fuhrman B., Volkova N., Aviram M. 2005. Pomegranate juice inhibits oxidized LDL uptake and cholesterol biosynthesis in macrophages, *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16: 570-576.
  - 5- Hwang K.J., Liao C.Y., Tung K.L. 2007. Analysis of particle fouling during microfiltration by use of blocking models, *Journal of membrane science*, 287: 287-293.
  - 6- 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: 177-206.
  - 7- Mirsaeedghazi 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 and Technology*, 44: 2135-2141.
  - 8- Mirsaeedghazi H., Emam- Djomeh Z., Mousavi S.M., Ahmadkhaniha R., Shafiee A. 2010. Effect of membrane clarification on the physicochemical properties of pomegranate juice, *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 1457-1463.
  - 9- Mirsaeedghazi H., Mousavi S.M., Emam- Djomeh Z., Rezaei K., Aroujalian A., Navidbakhsh M. 2010. Comparison between ultrafiltration and microfiltration in the clarification of pomegranate juice, *Journal of Food Process Engineering*, Article in press.
  - 10- Türk G., Sönmez M., Aydin M., Yüce A., Gür S., Yüksel M., Aksu E.H., Aksoy H. 2008. Effects of pomegranate juice consumption on sperm quality, spermatogenic cell density, antioxidant activity and testosterone level in male rats. *Clinical Nutrition*, 27: 289-296.
  - 11- Ushikubo F.Y., Watanabe A.P., Viotto L.A. 2006. Effects of operating conditions and enzyme treatment on fouling and polarized layer formation during umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice microfiltration, *Desalination*, 200:546-548.
  - 12- Vela M.C.V., Blanco S.Á., García J.L. 2005. Crossflow ultrafiltration of cake formation solutes: a none-steady state model, *Desalination*, 184: 347-356.
  - 13- Watanabe A.P., Ushikubo F.Y., Viotto L.A. 2006. Study of influence of operational conditions in polarized layer and fouling formation in microfiltration of Tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice, *Desalination*, 200: 339-340.