

## شفاف‌سازی کوشاب به‌وسیله فرایند غشایی

ملیحه آذری<sup>۱</sup>، داریوش باستانی<sup>۲</sup> و محمد رضا جعفری نصر<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استاد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشیار مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: آبان ۱۳۹۳، بازنگری: دی ۱۳۹۳، پذیرش: بهمن ۱۳۹۳

**چکیده:** کوشاب یکی از نوشیدنی‌های پرمصرف جهان به شمار می‌آید. به منظور دستیابی به رنگ و شفافیت مطلوب در این نوشیدنی، فراوری جداسازی غشایی رو به گسترش است. در اثر استفاده از این نوع فراوری، درشت-مولکول‌های محلول که عامل طعم و ویژگی‌های فراسودمند کوشاب هستند به خوبی حفظ می‌شود در حالی که ذرات کلوئیدی عامل کدورت و سلول‌های مخمر از فراورده جدا می‌شود. این نوع جداسازی مشکلات عمده‌ای نظیر گرفتگی غشا را به همراه دارد. هدف از این مطالعه تجربی (میکروفیلتراسیون غشایی)، بررسی اثر فشار و نوع غشا بر شفافیت کوشاب است. در این پژوهش اثر فشار، دما، نوع غشاء، اندازه منفذ، سرعت جریان عرضی و دبی بر مقدار گرفتگی و شفافیت مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که افزایش فشار در تمام غشاها باعث افزایش شار تراوه تا فشار بحرانی می‌شود. با افزایش ویژگی آبدوستی در غشا مقدار شار تراوه افزایش یافت. مطالعات تکمیلی به منظور تایید نتیجه‌های نظری با عکسبرداری الکترونی انجام شد. این بررسی نتیجه‌های به‌دست آمده را تایید کرد.

**واژه‌های کلیدی:** غشاء، میکروفیلتراسیون، کوشاب، شفاف‌سازی

### مقدمه

مجموع ویتامین C لازم برای بدن را تأمین می‌کند. به دلیل دارا بودن اسیدهای متفاوت، قند، ویتامین‌ها و به‌ویژه املاح و فلزهای مفید در پیشگیری از برخی بیماری‌ها، ضد عفونی‌کننده روده، هضم غذا و نیز رفع خستگی مؤثر است. شفافیت یکی از مهم‌ترین پارامترهای کیفی کوشاب است که به منظور دست‌یابی به آن، در آخرین مرحله از تولید، عملیات صاف‌کردن صورت می‌گیرد. در این فرایند ذرات

کوشاب<sup>۱</sup> فراورده‌ای گاز دار و غیر الکلی است که از مالت جو و مواد افزودنی مجاز بدون مرحله تخمیر الکلی تهیه می‌شود. رنگ کوشاب با کیفیت، طلایی و شفاف است و چگالی آن به تقریب برابر آب است زیرا در حدود ۸۰٪ کوشاب را آب تشکیل داده است. این مایع دارای انواع ویتامین‌های گروه B و ویتامین C است که

۱- نوشابه گازدار غیر الکلی یا ماءالشعیر

متنوعی مانند پروتئین‌ها، پلی فنل‌ها، کربوهیدرات‌ها بتاگلوکان و پنتوزان، ریز- و درشت- مولکول‌های عامل کدورت، ترکیبات نیتروژن دار با وزن مولکولی بالا، سلول‌های مخمر، نمک‌های اگزالات و مقادیر جزئی از مواد معدنی در کوشاب منجر به ایجاد این پدیده می‌شوند [۵ و ۶]. البته باید اشاره کرد تمام ترکیبات کوشاب تأثیر منفی بر ایجاد پدیده یاد شده ندارند به طوری که حضور و حذف مخمرها با استفاده از سانتریفوژ به ترتیب سبب افزایش و کاهش جریان عبوری از غشاء می‌شود [۶ و ۷]. درحالی که وجود اتانول به عنوان یک حلال آلی و یک عامل مرطوب کننده به عبور ذرات محلول و در نتیجه، افزایش سرعت جریان کمک می‌کند [۶].

طیف گسترده اندازه ذرات موثر بر کدورت کوشاب سبب ایجاد اشکال و پدیده گرفتگی غشایی در فرایند شفاف‌سازی کوشاب با استفاده از فرایندهای غشایی می‌شود. می‌توان پدیده یادشده را با کاهش واکنش‌های سطحی غشاء و ذرات محلول مانع شد. همچنین با کنترل شرایط هیدرودینامیک ورودی مانند استفاده از دستگاه‌های ایجاد جریان‌های آشفته‌کننده<sup>۱</sup>، غشاهای چرخنده<sup>۲</sup>، ناپایدار<sup>۳</sup> و یا تزریق هوا سبب بهبود جریان شد. از جمله روش‌های از بین بردن گرفتگی غشاء در میکروفیلتراسیون کوشاب شست‌وشوی شیمیایی است که به‌صورت زیر گروه‌بندی می‌شود:

اسیدی:  $\text{HNO}_3$ ،  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ،  $\text{HCl}$  و سیتریک‌اسید

بازی:  $\text{NaOH}$

اکسایش و کاهش:  $\text{NaCl}$ ،  $\text{H}_2\text{O}_2$

آنزیمی: پروتئاز، آلفا آمیلاز و پلی گالاکتوروناز [۷].

### بخش تجربی

#### روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها به‌منظور شفاف‌سازی کوشاب در ۴ فشار انتقالی ۰٫۴ و ۰٫۸ و ۱٫۲ و ۱٫۶ بار و دمای محیط و دبی ثابت ۱۰۰ لیتر در ساعت و سرعت جریان عرضی ۰٫۳۴۷ متر بر ثانیه انجام شد. دو نوع غشای آب‌دوست (سلولزهای ترکیبی استر) MCE و (پلی اتر

جامد (سلول‌های مخمر، مواد مورد نظر (تنوع شیمیایی و ابعاد ذرات متفاوت) موجب دشواری کنترل این عملیات می‌شود [۱]. در جدول ۱ ذرات موجود در کوشاب بررسی شده است. در حال حاضر شفاف‌سازی این مایع با روش مرسوم صاف کردن با انتهای بسته و با کمک صافی‌هایی مثل خاک دیاتومه، پرلیت، سلولز و یا کربن فعال صورت می‌گیرد. به‌تقریب دو سوم خاک دیاتومه تولید شده، در صنایع تولید انواع نوشیدنی استفاده می‌شود. مقدار خاک استفاده شده در صنعت کوشاب بسیار زیاد بوده و موجب مشکلات مهم زیست محیطی، بهداشتی و اقتصادی می‌شود [۱]. شفاف‌سازی کوشاب یکی از فرایندهایی است که در گستره فرایند میکروفیلتراسیون قرار می‌گیرد. استفاده از فرایندهای غشایی در عملیات شفاف‌سازی باعث می‌شود که از نظر کیفی محصول دارای ثبات بیشتری بوده و به علت طبیعت استریل فرایند، حذف میکرو ارگانیسم‌ها نسبت به روش‌های متداول به مراتب بیشتر شود. مساحت و فضای مورد نیاز برای عملیات کمتر شده و تمامی تجهیزات و امکانات مرتبط با خاک دیاتومه (اعم از انبار، جابه‌جایی و ...) مورد نیاز نخواهد بود [۲]. همچنین عملیات، بدون ضایعات و توقفات در هر لحظه قابل توقف و شروع مجدد بوده و مقدار تولید را می‌توان بین صفر و حداکثر ظرفیت تنظیم کرد. حتی می‌توان تانک‌های کوشاب شفاف را حذف کرد و خروجی صافی را به‌طور مستقیم به خط تولید و بسته‌بندی متصل کرد [۳].

جدول ۱ گروه بندی و اندازه ذرات کوشاب [۴]

اندازه ذرات (میکرومتر)	مثال	گروه
۵	مخمرها	ذرات
۰٫۵-۲	ذرات مه	کلوئیدها
$\leq 0.4$	پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها	درشت مولکول‌ها

بررسی گرفتگی و شست و شوی غشاء در صاف کردن کوشاب گرفتگی غشایی مهم‌ترین عامل محدودکننده در استفاده از میکروفیلتراسیون در صنعت کوشاب به شمار می‌آید زیرا ترکیبات

1. Turbulent Promoters

2. Rotating

3. Unsteady

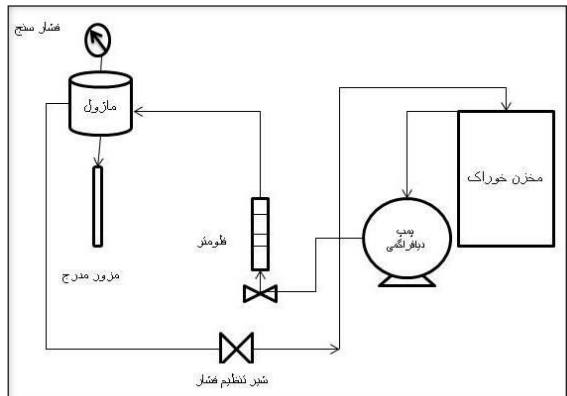
مدول که غشاء درون آن قرار می‌گیرد، شامل یک عدد ماژول قاب و صفحه‌ای از جنس فولاد زنگ نزن بوده است. شکل ۲ تصویر دستگاه آزمایش را نشان می‌دهد. این سامانه آزمایشگاهی شامل اجزاء زیر است:

۱. فشارسنج
۲. ماژول نگهدارنده غشاء
۳. مزور مدرج
۴. فلومتر
۵. مخزن خوراک
۶. شیر تنظیم جریان و فشار
۷. پمپ خوراک از نوع دیافراگمی RF-1000 با حداکثر فشار خروجی ۱۲۵ psi



شکل ۲ تصویر دستگاه آزمایش

سولفون (PESU) و یک غشاء آب‌گریز PVDF (پلی وینیلیدن فلورید) استفاده شد. روش آزمایش صاف کردن جریان عرضی<sup>۱</sup> است. در شکل ۱ آرایش سامانه نشان داده شده است.



شکل ۱ نمودار جریانی ساده دستگاه آزمایش

#### مواد و روش‌ها

کوشاب مصرفی: برای انجام آزمایش شفاف‌سازی کوشاب تصفیه نشده از کارخانه بهنوش ایران تهیه شد. غشاهای مصرفی: به‌منظور فرایند میکروفیلتراسیون غشایی جهت شفاف‌سازی کوشاب ۳ نوع غشای پلیمری: پلی وینیلیدن فلورید (PVDF)، سلولزهای ترکیبی استر (MCE)، پلی اتر سولفون (PESU) ساخته شده به‌وسیله‌ی شرکت ممبران، کشور آمریکا استفاده شد. جدول ۲ ویژگی‌های غشاهای مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۲ ویژگی‌های غشاهای مورد استفاده و شرایط عملی موردنیاز

نام غشاء	بیشینه فشار (بار)	بیشینه غشاء $m^2$	گستره pH	قطر منفذ غشاء ( $\mu$ )	بیشینه دما ( $^{\circ}C$ )
MCE	تا ۳ بار	۰٫۰۰۱۲۵۶	۱ تا ۱۱	۰٫۲۲	۹۵ تا ۱۰
PVDF	تا ۳	۰٫۰۰۱۲۵۶	۲ تا ۱۰	۰٫۲۲	۱۳۰
PESU	۳٫۴	۰٫۰۰۱۲۵۶	۲ تا ۱۲	۰٫۲۲	۱۲۱
صافی کاتیجی پلی‌پروپیلن	-	-	-	۵	۶۵

1. Cross flow

تعیین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی

می‌شود.

$$J = \Delta v / (A \cdot t) \quad (1)$$

که در آن  $V$  حجم تراویده ( $l$ )،  $A$  سطح غشاء ( $m^2$ )،  $t$  زمان ( $h$ ) و واحد شار به طور معمول  $l \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$  است.

مطالعه ریز ساختاری غشا

به منظور بررسی گرفتگی و ضخامت لایه کیک روی غشاء و در عرض آن، عکس‌هایی با میکروسکوپ الکترونی مدل i440 ساخت شرکت LEO از کشور انگلیس تهیه شد. نشانندن طلا روی نمونه‌ها به روش نشست بخار فیزیکی<sup>۲</sup> انجام شده است.

تحلیل‌های آماری

تمامی آزمون‌ها ۳ بار تکرار و میانگین و انحراف معیار داده‌ها با استفاده از نرم افزار spss گزارش شده است.

در این کار تجربی اسیدپتیه کل، به روش ارایه شده توسط سازمان استاندارد ملی ایران اندازه‌گیری شده است. مقدار کدورت نمونه‌ها قبل و بعد از صافی با کدورت‌سنج رقمی هیچ مدل 2100Q ساخت امریکا و pH نمونه‌ها قبل و بعد از فرایند با pH متر رقمی مدل 744 ساخت شرکت مترهم سوئیس به‌دست آمده است. مقدار مواد جامد محلول کل<sup>۱</sup> در دمای آزمایش با رفرکتومتر دستی ساخت شرکت آتاگو ژاپن بر حسب درجه بریکس اندازه‌گیری شد. باقی‌مانده مواد خشک جامد بر طبق روش ارایه شده توسط سازمان استاندارد ملی ایران تعیین شده است. اندازه‌گیری رنگ به‌وسیله‌ی دستگاه رنگ سنج اتوماتیک ساخت شرکت لایوباند انگلستان مدل pfx155 صورت گرفت. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی در پیش و پس از آزمایش در جدول‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. شار تراویده ( $J$ )، مقدار تراوه به‌دست آمده از واحد سطح غشاء در واحد زمان است که از رابطه زیر محاسبه

جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خوراک، نمونه تجاری و استاندارد کوشاب

ویژگی‌ها	نمونه	خوراک	نمونه تجاری (پهنوش)	نمونه پیش صاف شده	شرایط استاندارد [۱۱]
کدورت (EBC)* انحراف معیار	۱۸۰٫۷۵ ±۱٫۸۰	۰٫۴۲ ±۰٫۰۱	۱۶۴٫۱۶ ±۴٫۴۸	حداکثر ۲	
باقی مانده مواد خشک جامد (g/۱۰۰ ml) انحراف معیار	۶٫۱۲۳۹ ±۰٫۱۱۴	۵٫۱۲۸۳ ±۰٫۰۶۳	۶٫۱۱۴۷ ±۰٫۱۱۸۵	حداقل ۴٫۷	
اسیدپتیه (g/۱۰۰ ml) انحراف معیار	۰٫۳۵ ۰٫۰۰	۰٫۱۸ ۰٫۰۰	۰٫۱۷ ۰٫۰۰	تا ۰٫۱ ۰٫۲۵	
pH انحراف معیار	۴٫۸۳ ۰٫۰۰	۴٫۲۸ ۰٫۰۰	۴٫۱۱ ۰٫۰۰	۳٫۶ تا ۴٫۵	
مقدار مواد جامد محلول (بریکس) انحراف معیار	٪۶٫۲ ۰٫۰۰	٪۵٫۲۶ ۰٫۰۰	٪۵٫۹ ۰٫۰۰	حداقل ٪۴٫۵	
رنگ EBC انحراف معیار	۱۰٫۲ ۰٫۰۰	۱۳٫۵ ۰٫۰۰	۷٫۸ ±۰٫۰۵	حداقل ۴	

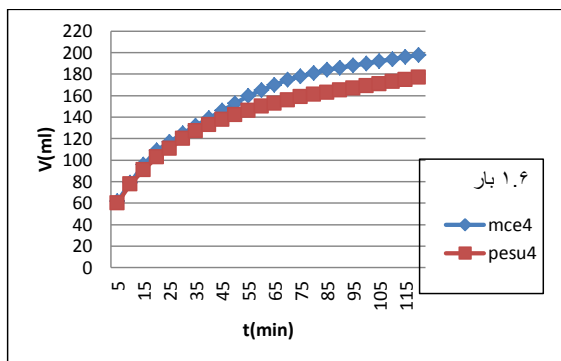
\* Nephometry Turbidity Unit

جدول ۴ تغییرات فیزیکی و شیمیایی کوشاب پس از آزمایش به وسیله غشای PESU

PESU1	PESU2	PESU3	PESU4	نمونه ویژگی‌ها
۱٫۳۱	۱٫۱۹	۱٫۰۵	۰٫۹۲	کدورت EBC
±۰٫۰۲	±۰٫۰۳	±۰٫۰۳	±۰٫۰۸	انحراف معیار
۰٫۱۹۸	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱۸۹	اسیدیته (g/۱۰۰ ml)
±۰٫۰۰۹	±۰٫۰۱	۰٫۰۰	±۰٫۰۱۳	انحراف معیار
۴٫۱۷	۴٫۲۲	۳٫۹۹	۴٫۰۴	pH
۰٫۰۰	±۰٫۰۲	±۰٫۰۱	±۰٫۰۱	انحراف معیار
%۵٫۷	%۴٫۸	%۴٫۶	%۴٫۵	مواد جامد محلول (بریکس)
۰٫۰۰	±۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	انحراف معیار
۵٫۸۵۰۰	۵٫۷۶۱۳	۵٫۶۳۳۳	۵٫۲۳۵۷	جامد خشک باقی مانده (g/۱۰۰ ml)
±۰٫۰۸۲۴	±۰٫۰۵۵۳	±۰٫۰۹۰۷	±۰٫۰۸۴۳	انحراف معیار
۶٫۳	۵٫۱	۴٫۸	۴٫۴	EBC رنگ
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	انحراف معیار

جدول ۵ تغییرات فیزیکی و شیمیایی کوشاب پس از آزمایش به وسیله غشای MCE

MCE1	MCE2	MCE3	MCE4	نمونه ویژگی‌ها
۱٫۴۶	۱٫۱۰	۱٫۰۶	۰٫۹۸	کدورت (میانگین) EBC
±۰٫۰۳	±۰٫۰۳	±۰٫۰۱	±۰٫۰۶	انحراف معیار
۰٫۱۸	۰٫۲	۰٫۱۹	۰٫۱۸	اسیدیته (میانگین) (g/۱۰۰ ml)
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	انحراف معیار
۴٫۲۸	۳٫۸۹	۳٫۹۸	۴٫۰۴	pH (میانگین)
±۰٫۰۲	±۰٫۰۴	±۰٫۰۴	±۰٫۰۴	انحراف معیار
%۵٫۷	%۴٫۸	%۴٫۶	%۴٫۵	مواد جامد محلول (بریکس)، (میانگین)
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	انحراف معیار
۴٫۹۸۷۳	۴٫۳۲۳۷	۴٫۱۹۴۰	۴٫۰۶۹۷	جامد خشک باقی مانده (میانگین) (g/۱۰۰ ml)
±۰٫۰۶۱۳	±۰٫۰۶۷۰	±۰٫۰۵۱۰	±۰٫۰۵۶۹	انحراف معیار
۶٫۲	۵٫۹	۴٫۹	۴٫۴	EBC رنگ
۰٫۰۰	۰٫۰۰	±۰٫۰۵	۰٫۰۰	انحراف معیار



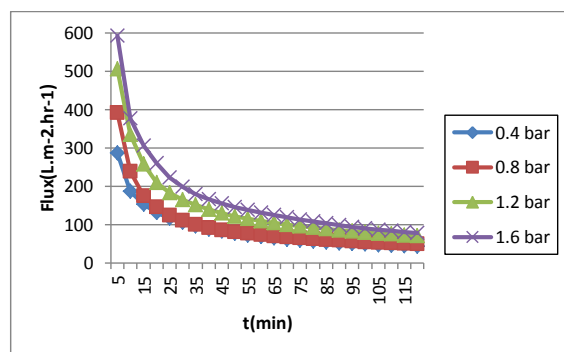
شکل ۴ اثر جنس غشا بر حجم تراوه در فشار ۱٫۶ بار

#### اثر فشار بر ویژگی جریانی

برای مطالعه اثر فشار بر ویژگی‌های جریانی ابتدا غشاء MCE سپس PESU در معرض ۴ فشار انتقالی متفاوت ۱٫۶، ۱٫۲، ۰٫۸، و ۰٫۴ بار قرار گرفت. فرایند غشایی فرایندی با نیروی محرکه اختلاف فشار است و افزایش فشار انتقالی به منزله افزایش نیرو محرکه آن است که این اثر در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود همان‌طور که قانون دارسی نشان می‌دهد مقدار شار تا فشار ۳ بار متناسب با گرادیان و پس از آن گرفتگی برگشت ناپذیر اتفاق می‌افتد [۸].

$$J = \Delta p / (\mu \cdot (R_{rev.e} + R_{rev.i} + R_{irrev})) \quad (2)$$

رابطه فوق رابطه دارسی را نشان می‌دهد که در آن،  $R_{rev.i}$  مقاومت برگشت پذیر داخلی و  $R_{rev.e}$  مقاومت برگشت‌پذیر خارجی و  $R_{irrev}$  مقاومت برگشت ناپذیر که نتیجه جذب سطحی شیمیایی و گرفتگی کامل حفره‌هاست [۹].



شکل ۵ اثر فشار بر شار تراوه در غشای MCE

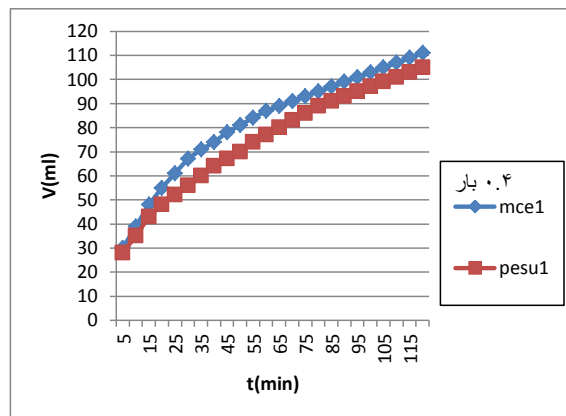
#### نتیجه‌ها و بحث

##### بررسی اثر عامل‌های مؤثر بر مقدار جریان

عامل‌هایی که بر میکروفیلتراسیون جریان عرضی تأثیر دارند عبارت‌اند از: اندازه منفذ غشاء، سرعت جریان عرضی، دمای خوراک، فشار انتقالی گذرنده، جنس غشاء و pH محیط که مهم‌ترین آن‌ها در بخش‌های بعد بررسی می‌شود. دما در این فرایند ثابت فرض و از اثرات آن چشم‌پوشی شد و به دمای محیط گزارش شده است.

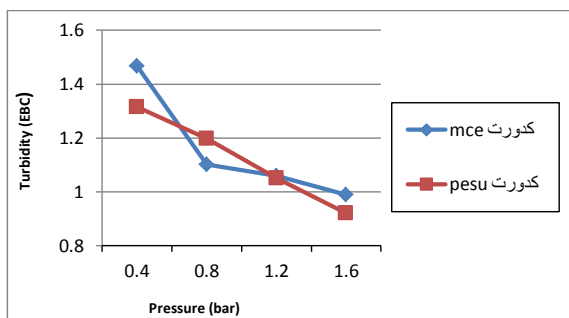
##### اثر جنس غشاء

برای مطالعه اثر جنس غشاء بر شار تراوه، کوشاب در شرایط یکنواخت فشار و اندازه منفذ، به‌وسیله‌ی ۳ غشای MCE، PESU و PVDF شفاف شد. آزمایش نشان داد که غشای MCE و PESU شار تراوه بیشتری، نسبت به غشای PVDF دارند که دلیل آن زیادتر بودن ویژگی آب‌دوستی غشاست، زیرا کوشاب ماده‌ای است که بر پایه آب ساخته شده، به‌طوری‌که شار آب نیز در غشاهای PESU و MCE بیشتر از PVDF است. شارهای آب عبوری اعلام شده به‌وسیله‌ی شرکت سازنده غشا برای MCE برابر با  $19 \text{ ml.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  و برای PVDF برابر با ۶ تا  $8 \text{ ml.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$  است. کاهش شار در غشای PVDF به علت جذب پروتئین در حفرات داخلی و گرفتگی شدید در همان لحظات اولیه آزمایش است [۱۲]. بررسی شکل‌های ۳ و ۴ اثر جنس غشاء را بر حجم تراوه نشان می‌دهد که در تمامی فشارها غشای MCE حجم تراوه بیشتری نسبت به غشای PESU نشان می‌دهد.



شکل ۶ اثر جنس غشا بر حجم تراوه در فشار ۰٫۴ بار کوشاب

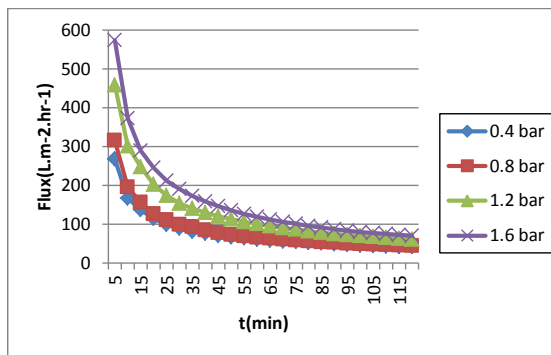
همان طور که در شکل ۷ دیده می‌شود کدورت کاهش چشمگیری دارد که نشان دهنده شفاف شدن کوشاب است. دلیل این نتیجه را می‌توان در کاهش مقدار مواد جامد معلق در تمامی غشاهای MCE و PESU دانست. میزان pH پس از شفاف‌سازی در تمام نمونه‌ها به تقریب ثابت ماند و در تجزیه آماری تفاوت معناداری مشاهده نشد. پس از صاف‌شدن اسیدیته نمونه‌ها و با توجه به تحلیل آماری، تفاوت مهمی نداشتند. بریکس یا مقدار مواد جامد محلول به غلظت و گرانیوی بستگی دارد و با افزایش دما گرانیوی کاهش می‌یابد، پس افزایش یا کاهش بریکس در بعضی نمونه‌ها را می‌توان بدین صورت توجیه کرد. اما تفاوت مهمی از نظر آماری با یکدیگر نداشتند.



شکل ۷ اثر فشار و جنس غشاء بر کدورت

#### گرفتگی غشاء و کاهش شار تراویده

در فشارهای بالا ذرات معلق موجود در کوشاب مجبور به عبور از منافذ غشا می‌شوند که در نتیجه باعث افزایش مقدار گرفتگی غشاء در زمان کوتاه‌تر نسبت به زمانی که فشار پایین‌تر است، می‌شود این عمل موجب کاهش مقدار شار خروجی می‌شود علت کاهش شار، تشکیل شدن یک لایه ژل مانند روی سطح غشاء است که در اثر وجود پروتئین و سلول‌های مخمر به وجود می‌آید. این لایه باعث بسته شدن منافذ غشا می‌شود و در اثر عبور هر چه بیش‌تر کوشاب از غشا متراکم‌تر می‌شود. در نتیجه مقدار شار کاهش پیدا می‌کند. در پژوهش‌های انجام شده در جریان عرضی به علت بالاتر بودن سرعت عبور مایع از غشا نسبت به سایر روش‌های عبور مقدار تنش ایجاد شده روی سطح غشاء افزایش پیدا می‌کند که



شکل ۶ اثر فشار بر شار تراوه در غشای PESU

#### اثر دما بر ویژگی جریانی

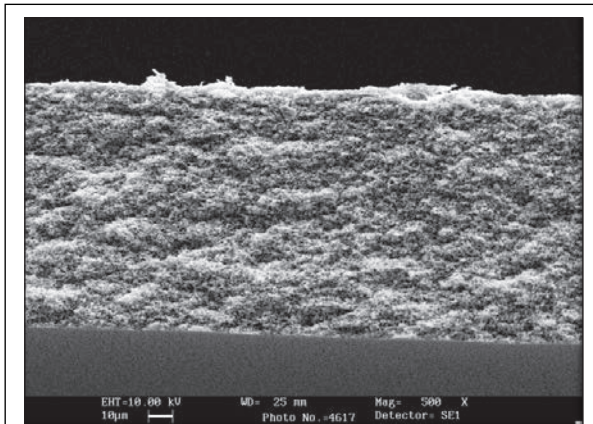
شار تراوه در قانون دارسی متناسب با عکس گرانیوی ( $\mu$ ) است، در نتیجه با افزایش دما گرانیوی مایعات کاهش یافته و شار عبوری از غشاء کاهش می‌یابد که مطلوب نیست. هم‌چنین در دمای بالا مقدار حلالیت مواد ناخواسته در کوشاب مانند بتوگلوکان بالا رفته که هم موجب گرفتگی غشاء و هم افزایش کدورت می‌شود [۴]. افزایش دما بر ویژگی‌های کیفی و طعمی نیز اثر گذار است.

#### اثر سرعت جریان عرضی بر ویژگی‌های جریانی

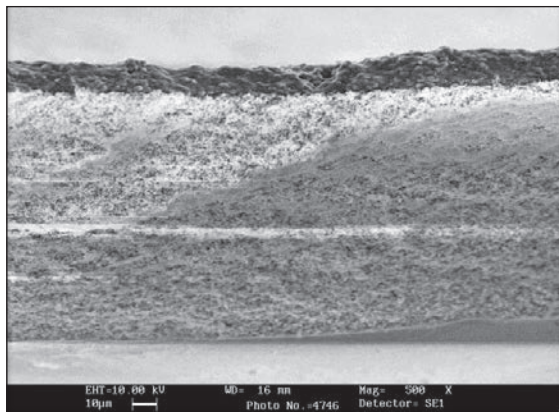
در حالت میکروفیلتراسیون کوشاب با جریان عرضی در مقایسه با حالت انتها بسته که سرعت عبور در آن صفر است، در این‌جا سرعت عبور و ایجاد تنش برشی مانع از ضخیم‌تر شدن لایه کیک بر روی سطح غشاء می‌شود که این پدیده مفید است. افزایش سرعت جریان عرضی می‌تواند تا حدودی شار تراوه را افزایش دهد [۴]. سرعت جریان عرضی برابر  $0.347$  متر بر ثانیه است که می‌توان بدین صورت از رابطه رینولدز نوع رژیم جریان را مشخص کرد:

$$Re = \rho u d / \mu \quad \text{و} \quad Re = 88.8 / 2100 \quad (3)$$

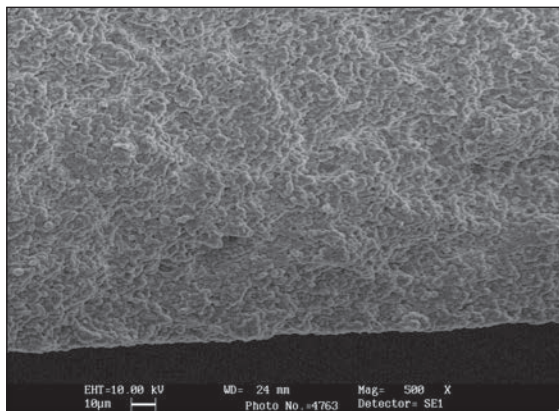
$\rho$ ، چگالی کوشاب و  $u$ ، سرعت جریان عرضی و  $d$ ، قطر داخلی حفره ماژول و  $\mu$ ، گرانیوی کوشاب نشان داده شد که جریان آرام است. در جریان آرام کیک به راحتی و بدون ممانعت تشکیل می‌شود و برای جلوگیری از این حالت می‌توان از طریق متفاوت که پیش‌از این اشاره شد جریان را آشفته کرد [۴].



الف



ب



ج

این مساله جلوگیری بیش‌تر از عبور مواد جامد معلق و به حداقل رساندن مقدار لایه کیک تشکیل شده روی سطح غشاء می‌شود. براساس پژوهش انجام شده لایه کیک تشکیل شده روی سطح غشای ناهموار آرام‌تر از لایه تشکیل شده روی سطح غشای هموار است که در نتیجه در غشاهای ناهموار مواد جامد بیش‌تری در سوراخ‌های غشا به دام می‌افتد. کاهش فلاکس و شار تراوه ابتدا به‌وسیله‌ی گرفتگی داخلی که فرایندی برگشت ناپذیر است، سپس به‌وسیله کیک تشکیل شده روی غشاء کنترل می‌شود [۱۰].

#### مطالعات ریز ساختاری

برای مطالعه و مقدار گرفتگی غشاها تمامی آن‌ها تحت بررسی ریز ساختاری با میکروسکوپ الکترونی SEM قرار گرفت که تصویرهای مربوط در شکل‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سطح روی غشاء با ترکیبات متفاوت موجود در ماء الشعیر پوشیده شده است و دیگر نشان از منافذ باز دیده نمی‌شود. برای مطالعه بهتر غشاها بصورت عرضی برش داده شدند و تحت مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند. در فشار بالا ترکیبات رسوب کرده روی غشاء متراکم‌تر و خشن‌تر هستند. در حالیکه در فشار پایین‌تر ترکیبات رسوب کرده بر سطح غشاء نرم و نازک و با تراکم کمتر هستند که دلیل آن اثر فشار در راندن ذرات بیشتر به سمت سطح غشاء است. همچنین به همین دلیل کیک قرار گرفته روی سطح غشاء با افزایش فشار ضخیم‌تر می‌شود. و خود لایه کیک مانند غشاء ثانویه عمل کرده و همان‌طور که در تصویرهای SEM دیده می‌شود ایجاد لایه کیک در فشارهای بالا مانع از گرفتگی داخلی بیشتر در عمق غشاء می‌شود. تغییر در رنگ در عمق غشاء نشان دهنده گرفتگی داخلی حفرات غشاء است که کمتر اتفاق افتاده در غشای MCE و در غشای PESU دیده می‌شود.

#### نتیجه گیری

ظاهر کدر کوشاب را می‌توان با استفاده از فرایند میکروفیلتراسیون

شکل ۸ مطالعه ریز ساختاری اثر فشار بر مقدار گرفتگی غشای MCE (الف) تصویر عرضی غشای خام MCE با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ (ب) تصویر عرضی غشای MCE در فشار ۰/۴ بار با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ (ج) تصویر عرضی غشای MCE در فشار ۱/۶ بار با بزرگ‌نمایی ۵۰۰



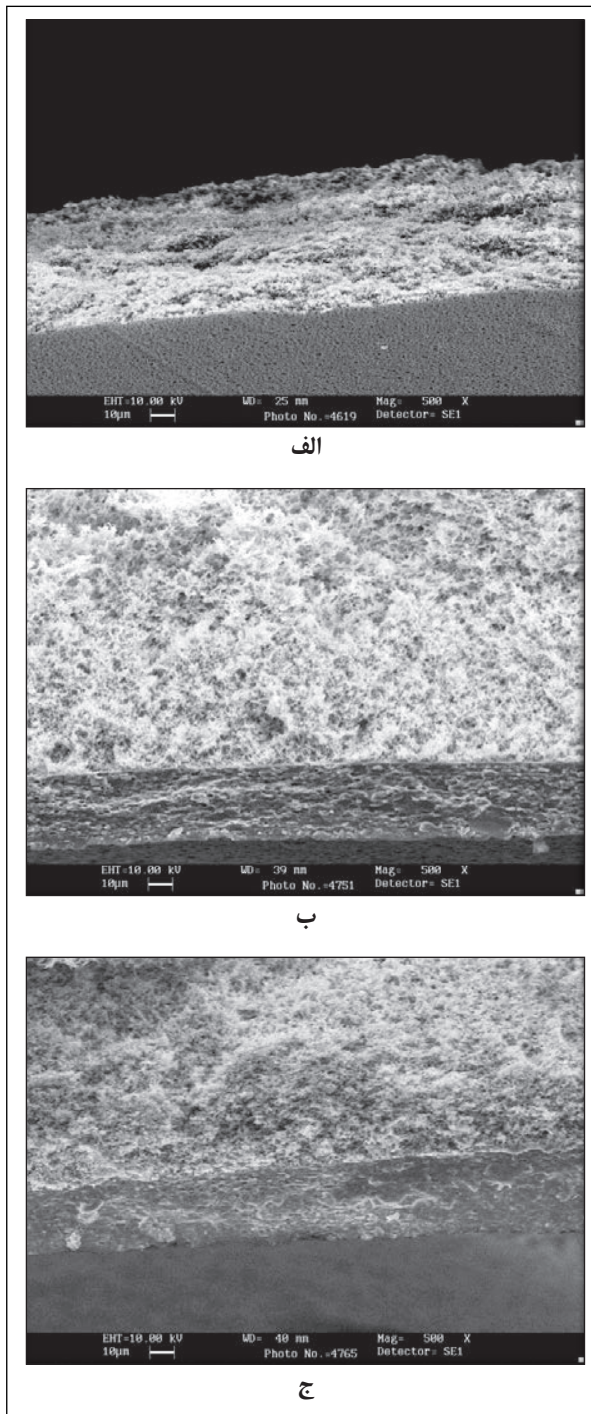
برطرف کرد. مهم‌ترین عامل صنعتی شدن این فرایند پدیده گرفتگی است عوامل متفاوتی بر مقدار گرفتگی مؤثرند. مطالعه نشان داد افزایش فشار باعث افزایش شار به دلیل افزایش نیرو محرکه می‌شود و در عوض باعث افزایش گرفتگی نیز می‌شود که شار را کاهش می‌دهد و اثر افزایش شار را خنثی می‌کند. بنابراین، باید در گستره‌ی فشار بحرانی (۱ بار) کار کرد. مطالعه ریز ساختاری نشان داد که با افزایش فشار ضخامت کیک تشکیل شده افزایش می‌یابد. در فرایند همراه غشای MCE نتیجه‌های بهتری از نظر شار تراوه به دست آمد. و شار تراوه بالاتری برابر  $78,2 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  در انتهای آزمایش گزارش شد در صورتیکه شار تراوه غشای PESU در پایان برابر  $70,46 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  بود. شار تراوه از غشای PVDF حتی در فشار ۱٫۶ بار بسیار ناچیز و غیر قابل گزارش بود. مشکل غشای PVDF جذب پروتئین و گرفتگی حفرات آن است. اندازه ذرات به کمتر از  $0,2$  میکرون رسیده است. کدورت به شکل قابل توجهی کاهش یافت و به زیر مقدار استاندارد EBC ۲ رسید. برای غشای PESU شفافیت بهتر و در فشار ۱٫۶ بار کدورت EBC ۰٫۹۲ و برای غشای MCE در فشار ۱٫۶ بار کدورت EBC ۰٫۹۸ گزارش شد.

### سپاسگزاری

از جناب آقای مهندس سید مهدی شیرازی به دلیل در اختیار گذاشتن سامانه آزمایشگاهی و همکاری تشکر و قدر دانی می‌شود.

### مراجع

- [1] Fillaudeau, L.; Bossier, B.; Moreau, A and other. Investigation of rotating and vibrating filtration for clarification of rough beer, Journal of Food Engineering, 2006.
- [2] Schurman, D.; Meijer, L.; Broens, A.; Mep-schen, Full scale result of (lieselguhr-free) beer membrane filtration and latest developments on combined membrane filtration and stabilization , The Inst. of Brewing & Distill-



شکل ۹ مطالعه ریز ساختاری اثر فشار بر مقدار گرفتگی غشای PESU (الف) تصویر عرضی غشای خام PESU با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ (ب) تصویر عرضی غشای PESU در فشار ۰٫۴ بار با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ (ج) تصویر عرضی غشای PESU در فشار ۱٫۶ بار با بزرگ‌نمایی ۵۰۰

- ing Africa Sect. Proc. 10th Brewing convention, Pilanesberg, South Africa, 2005.
- [3] Madaeni S.S , Rahimpour, A.; "Industrial Membrane Processes "(in Persian), Razi University Publications, Kermanshah, Iran, 2005.
- [4] Van der Sman, R.G.M.; Vollebreg , H.M., Mepschen, A. Review of hypotheses for fouling during beer clarification using membranes, Journal of Membrane Science 396 ,22– 31, Elsevier, 2012.
- [5] Fane .AG, Kim .KJ, Hodgson. PH, Leslie .G, Strategies to minimize fouling in the membrane processing of biofluids, Proc. Bio-proc.; 304-320, 1992.
- [6] Tailor, M.; Faraday, DBF, O Shaughnessy C.L.; Quantitative determination of fouling layer composition in microfiltration of beer .J Sep. Purify Rev.; 22-23 ;133-142, 2001.
- [7] Lipnizki, F.; Carl-Erik, N.; Becket, R.; Food & Bev.: Anyone for a tasty beverage, j. Filtration & Separation, 43, 14-18, 2006.
- [8] Thomassen .JK, Faraday .DBF, Underwood BO, Cleaver JAS. The effect of varying trans-membrane pressure and cross flow velocity on the microfiltration fouling of a model beer. Sep Purify Rev; 41:91–100, 2005.
- [9] Ulbrich, M.; "Advanced functional polymer membranes polymer.47, 2217-2262, 2006
- [10] Kazemi, M.A.; Soltanieh, M.; Yazdanshenas, M.; Influence of cross flow microfiltration on ceramic membrane fouling and beer quality, 2013.
- [۱۱] نوشیدنی مالت و بیژگی‌ها روش‌های آزمون - مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران شماره ۲۲۸۰ و ۲۲۷۹ و ۲۴۴۱

## Clarification of non-alcoholic beers by using membrane separation technology

M. Azeri<sup>1</sup>, D. Bastani<sup>2</sup> and M.R. Jafari-Nasr<sup>3,\*</sup>

1. MSc in Chemical Engineering, Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Professor of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Associate Professor of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: November 2014, Revised: January 2015, Accepted: February 2015

**Abstract:** The clarity of non alcoholic beverages is commonly considered as an attractive characteristic for consumers. To achieve these characteristics, membrane separation technology has been used widely in food processing industries. The potential of cross-flow microfiltration as a proper separation technique for brewing is a subject of intensive study. Clarification of rough nonalcoholic beer (RB) and pasteurization of clarified beer (CB) by cross flow microfiltration (CFMF) stand as potential applications of membrane in the food industry. In this study, the effect of important parameters on filtration such as temperature, pressure, type, and pore size of membrane, and cross flow microfiltration for the clarification of beer were investigated. For the tested membranes the proper flux with less fouling were observed. The microfiltration of process with these membranes resulted in a clean beer with almost free of turbidity. The experimental results were confirmed by using scanning electrom microscopy (SEM).

**Keywords:** Flux, Fouling, Membrane, Microfiltration