

# روش جدید در تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی روغن با استفاده از سیستم ترکیبی MF-UF

عزیز باباپور\*<sup>+</sup>، رضا روستا آزاد

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست،

صندوق پستی ۶۸۹۱-۱۱۳۶۵

مهرداد حسام‌پور

فنلاند، دانشگاه صنعتی لاپین رانتا، دانشکده تکنولوژی شیمی

جلیل رضوی

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست،

صندوق پستی ۶۸۹۱-۱۱۳۶۵

**چکیده:** در این تحقیق، کاربرد فرایند ترکیبی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون در تصفیه پساب صنعتی حاوی امولسیون روغن در آب مورد ارزیابی قرار گرفت. غشای میکروفیلتر مورد استفاده از نوع سرامیکی با پایه  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  و پوشش داده شده با  $\text{ZrO}_2/\text{TiO}_2$  و با اندازه‌ی حفره ۰/۱ میکرو و دربخش اولترافیلتراسیون غشاء ۶۳۳۸ - ۲۰ UFPHT بود. در هر بخش اثر شرایط متفاوت عملیاتی از جمله فشار، دما، غلظت، سرعت، تنش برشی و pH بر میزان فلاکس تراویده از غشای مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجه‌های حاصل نشان می‌دهد که در قسمت میکروفیلتراسیون، تفاوت فشار ۲ bar، سرعت خطی حدود ۰/۴ m/sec، دمای عملیاتی حدود ۳۱ درجه سانتی‌گراد و pH معادل ۹ و در قسمت اولترافیلتراسیون تفاوت فشار بیش از ۳ bar، سرعت خطی حدود ۲-۱ m/sec، دمای عملیاتی حدود ۳۱ درجه سانتی‌گراد و pH معادل ۹ شرایط بهینه جهت انجام فرایند است. نتیجه‌های تصفیه پساب، کاهش COD، BOD، TSS، Oil & Grease را به ترتیب به میزان ۹۸/۴، ۹۸/۷، ۹۹/۴، ۹۹/۷ درصد نشان داده و pH خروجی ۳ واحد کم شده است. این فرآوری، پساب را بر شرایط استاندارد محیط‌زیست منطبق می‌کند. نتیجه‌ها بیانگر این است که تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی روغن با روش ترکیبی MF-UF امکان‌پذیر بوده و این پتانسیل وجود دارد که این روش جایگزین روش‌های موجود شود.

**واژه‌های کلیدی:** روغن، غشای MF-UF، فلاکس تراویده، شرایط عملیاتی، امولسیون.

**KEY WORDS:** Oil, MF membrane, Permeation flux, Operating condition.

## مقدمه

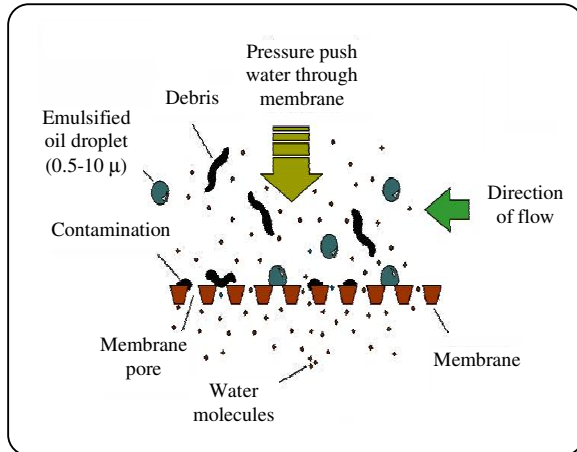
امروزه مقررات زیادی برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست ناشی از تخلیه انواع پساب‌ها به محیط اطراف وضع شده است.

+E-mail: babapoor2006@yahoo.com

\*عهده دار مکاتبات

از طرف دیگر چون منابع آب شیرین در حال کاهش و جمعیت انسانی در حال افزایش است، لزوم استفاده مجدد از پساب‌های شهری

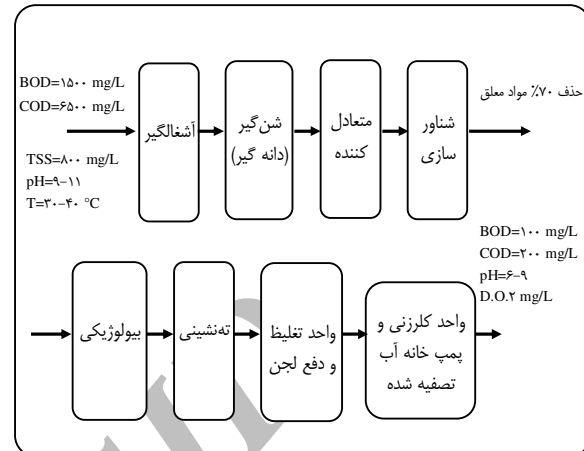
سایر پارامترها از جمله pH، COD و میزان مواد معلق در اولویت بعدی قرار دارند.



شکل ۲- پایه و اساس عملیات غشایی.

در حال حاضر روش‌های معمول مثل روش‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی در تصفیه و تطابق پساب‌های روغنی با استانداردهای موجود (کمتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر) یا کارساز نیستند و یا اینکه هزینه بسیار زیادی می‌طلبند. برای حل این چالش‌ها و استفاده بهتر از منابع اقتصادی، فناوری‌های متفاوتی برای تکمیل فرایند تصفیه پساب پیشنهاد شده و آزمایش شده‌اند. در این رابطه می‌توان به کاربرد غشاهای متفاوت مانند میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانو فیلتراسیون و اسمز معکوس اشاره کرد که پتانسیل خوبی برای کاربرد در صنعت آب و پساب به صورت ترکیبی با فرایندهای متداول، از خود نشان داده‌اند [۱].

در این پژوهش نیز، هدف استفاده از سیستم ترکیبی میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون برای بهبود کیفیت پساب و کاهش بار آلودگی کارخانه روغن نباتی است. شکل ۱ نمایی از مرحله‌های متفاوت تصفیه پساب را در یک کارخانه روغن نباتی نشان می‌دهد. در شکل ۲ طرح و نحوه کاربرد غشاهای نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است این پتانسیل وجود دارد که غشاهای جایگزین مرحله‌ها ته نشینی بعد از تصفیه بیولوژیکی و یا در برخی موردها، جایگزین کل سیستم تصفیه بیولوژیکی شوند.



شکل ۱- نمای کلی تصفیه پساب‌های روغن با روش‌های متداول.

و صنعتی به ویژه در مناطق خشک، روز به روز جدی‌تر می‌گردد. از آب‌های تصفیه شده به شرطی که میزان ترکیب‌های سمی آن به حد مجاز و استاندارد رسیده باشد می‌توان برای هدف‌های متفاوتی استفاده کرد [۱].

یکی از منابع مهم آلوده کننده آب، انواع روغن‌هاست که در صنایع گوناگون همچون صنایع نفت، صنایع ماشین سازی، صنایع تراشکاری، صنایع غذایی و غیره استفاده می‌شوند. ورود روغن به پساب، مشکلات زیادی را ایجاد می‌کند. به عنوان مثال، در صورتی که برای تصفیه پساب از روش‌های بیولوژیکی استفاده شود، ورود مواد روغنی سبب اختلال در سیستم شده و حتی ممکن است سیستم را بی‌هوازی کند و بازده حذف آلودگی‌ها را کاهش دهد [۱]. همچنین ورود این مواد، تجهیزات را آلوده کرده و سبب تخریب تجهیزات می‌شوند. اگرچه بخش کوچکی از روغن همراه با مواد ته‌نشین شونده، ته‌نشین شده و به لجن افزوده می‌شوند، ولی بیشتر آنها روی پساب شناور گشته و تخلیه این پساب‌های حاوی روغن به آب‌های سطحی، سبب ایجاد لایه‌های بد منظره‌ای از مواد شناور شده و حیات بیولوژیکی را برهم می‌زند. افزون بر اینها در برخی صنایع، مثل صنعت روغن نباتی وجود بیش از حد روغن و چربی در پساب خروجی تولید، نشان دهنده اتلاف فراورده بوده و از نظر اقتصادی یک ضایعه و اتلاف سرمایه تلقی می‌شود [۲]. در این کارخانه‌ها کنترل و تصفیه پساب، بیشتر بر مبنای کاهش دو فاکتور اصلی BOD<sub>5</sub> و FOG (چربی، روغن و گریس) است و

کلویدی) و قطره‌های بزرگ روغن که در پساب وجود دارند، به وسیله‌ی این فرایند حذف می‌شوند. با توجه به اینکه فلاکس) را به تاخیر انداخت. لذا به‌طور معمول آزمایش‌هایی برای شناخت بیشتر تاثیر پارامترهای مهم انجام می‌گیرد. در این پژوهش نیز ابتدا اثر پارامترهایی مانند فشار، سرعت،



شکل ۴- دستگاه غشایی MF استفاده شده در آزمایش‌ها.

غلظت خوراک تهیه شده از کارخانه روغن نباتی روی میکرو-فیلتراسیون بررسی شده، سپس جریان تراوش یافته از یک غشای اولترافیلتراسیون عبور داده شده و اثر این پارامترها دوباره مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت میزان بازده کلی فرایند تصفیه با روش معمول تصفیه، مقایسه شده است.

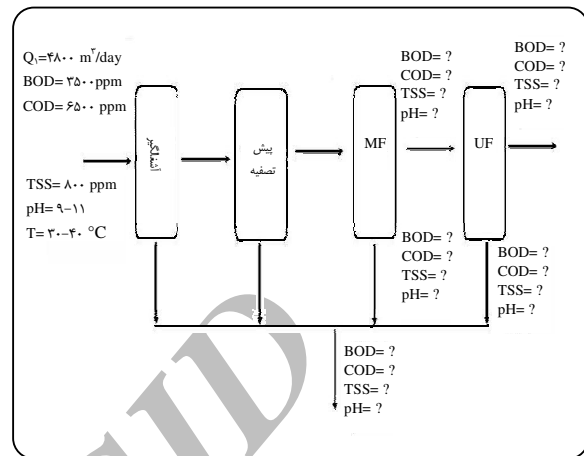
### مواد و روش‌ها

#### سیستم MF

تصویری از پایلوت آزمایشگاهی آزمایش غشای میکرو-فیلتراسیون در شکل ۴ نشان داده شده است. این پایلوت شامل اجزای زیر است:

- ۱- مخزن خوراک
  - ۲- سیستم خنک کننده (ظرف آب و یخ)
  - ۳- پمپ سانتریفوژ برای ایجاد جریان و فشار مورد نیاز به داخل غشای
  - ۴- غشای لوله‌ای از جنس سرامیک
- غشای استفاده شده در آزمایش‌ها، غشای سرامیکی لوله‌ای بوده که از شرکت Pall تهیه شده بود. این غشای از نوع میکروفیلتراسیون با پایه  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  و پوشش داده شده با  $\text{ZrO}_2/\text{TiO}_2$  و با اندازه‌ی

غشاهای میکروفیلتراسیون توانایی جداسازی ذراتی بین ۰/۱ تا ۱۰ میکرون را دارند. بنابراین، ذره‌های سوسپانسیونی، معلق



شکل ۳- نمایی از طرح کلی پروژه.

نمک‌ها از غشای میکروفیلتراسیون عبور می‌کنند، تفاوت فشار اسمزی بین دو طرف غشای ناچیز بوده و عمل جداسازی نیاز به تفاوت فشار به نسبت کمی در حدود ۰/۵ تا ۱ بار دارد [۲ و ۳].

حفره‌های غشاهای اولترافیلتراسیون در گستره‌ی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر قرار دارند و قادرند که از عبور ذراتی با وزن مولکولی در محدوده ۳۰۰ تا ۵۰۰۰۰۰ گرم بر مول ممانعت به عمل آورند. بنابراین، قطره‌های ریزتر روغن که در آب به صورت امولسیون یا محلول در آب هستند می‌توانند به وسیله‌ی این فرایند جدا شوند. شکل ۳ نمایی از فرایند جداسازی را در یک غشای نشان می‌دهد. در اولترافیلتراسیون مانند فرایند میکروفیلتراسیون به دلیل عبور نمک، تفاوت فشار اسمزی در دو طرف غشای کم می‌باشد، بنابراین برای جداسازی به فشار بالایی نیاز نیست. فشار معمول برای عمل اولترافیلتراسیون در حدود ۲ تا ۵ بار است.

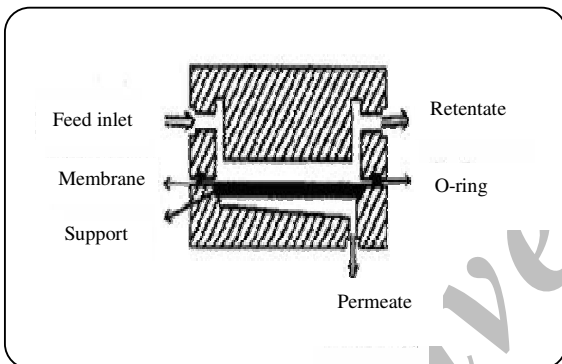
بازده غشاهای میکرو فیلتراسیون و اولترافیلتراسیون که براساس میزان جداسازی و فلاکس جریان تراویده از غشای بیان می‌گردد تابعی از فاکتورهای مختلف مانند ویژگی‌های خوراک، شرایط عملیاتی و نوع غشای می‌باشد.

به دلیل جداسازی ذره‌ها بر اساس اندازه، در این غشاهای به‌مرور زمان لایه‌ای از اجزای باقی‌مانده روی سطح غشای تشکیل می‌شود که مهم‌ترین عامل در کاهش بازده غشاست. با تنظیم شرایط عملیاتی و انتخاب درست غشای می‌توان این پدیده (کاهش

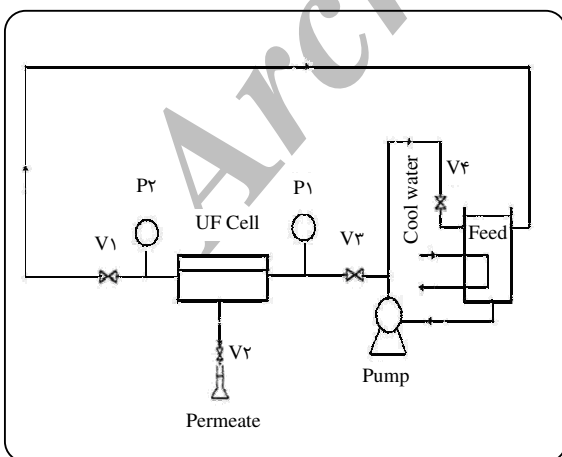
مزایای آن این بود که توانایی کار کردن در شرایط متفاوت عملیاتی را داشت.

مایع داخل مخزن به وسیله‌ی یک پمپ سانتریفوژ Pentax با توان ۱ hp و هد ۵۵ mH<sub>2</sub>O به سمت سل پمپ می‌شود. تحت شرایط طراحی سیستم، پمپ مذکور قادر به ایجاد حداکثر فشاری جدول ۱- تجزیه‌ی خوراک مورد استفاده.

COD(ppm)	۳۴۱۰
BOD(ppm)	۲۲۷۵
TSS(ppm)	۸۰۰
Oil&Grease(ppm)	۲۰۰۰
TOC(ppm)	۲۵۰۰
pH	۱۰٫۵



شکل ۵- نمایی از مقطع عرضی سل اولترافیلتراسیون.



شکل ۶- سیستم آزمایشگاهی UF مورد استفاده در بررسی‌های تجربی.

حفره ۰/۱ میکرون بود. طول غشاء ۲۳ سانتی‌متر، قطر خارجی آن ۱۰ میلی‌متر، قطر داخلی آن ۷ میلی‌متر و مساحت سطح داخلی آن نیز، ۵۰ سانتی متر مربع بود. این غشاء آب‌دوست بوده و از جمله انرژی مکانیکی اعمال شده به وسیله‌ی پمپ، باعث افزایش تدریجی دمای محلول می‌شود، لذا برای کنترل دمای محلول و نگه‌داشتن آن در حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد، از سیستم خنک کننده که شامل یک مخزن آب و یخ است استفاده شد. شاخه‌ای از خوراک قبل از ورود به غشاء جدا شده و به یک لوله مسی ماریچ هدایت می‌شود و گرمای خود را از دست می‌دهد. این قسمت خنک شده دوباره به مخزن خوراک برمی‌گردد.

خوراک مورد استفاده، پساب خروجی از آشغال‌گیر قسمت تصفیه‌خانه واحد مارگارین گروه صنعتی بهشهر بود که به صورت روزانه و با دقت کافی گردآوری شده بود. که البته این خوراک، مشکلات زیادی برای سیستم غشایی ایجاد می‌کند لذا آزمایش‌های متفاوت و بررسی‌های گوناگون نشان داد که نیاز حتمی به پیش‌تصفیه وجود دارد که این پیش‌تصفیه می‌تواند به روش‌های متفاوتی انجام گیرد که از جمله می‌توان به روش‌های CPI، کربن فعال، سانتریفوژ، تصفیه شیمیایی و غیره اشاره کرد. در این پژوهش، از سانتریفوژ استفاده شد و خوراک مورد نظر و مناسب برای سیستم غشایی تهیه گردید که تجزیه‌ی خوراک مورد استفاده (خروجی از پیش‌تصفیه) در جدول ۱ آورده شده است.

### سیستم UF

در این قسمت نیز، برای انجام بررسی‌های تجربی و فراهم آوردن شرایط یک واحد صنعتی، یک واحد پایلوت آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفته است. سل آزمایشگاهی مطابق شکل ۵ از دو قطعه مجزا از جنس فولاد ضدزنگ تشکیل شده است که با پیچ و مهره به یکدیگر متصل می‌شوند و فضای بین آنها به وسیله‌ی یک اورینگ به طور کامل آب‌بندی می‌شود. صفحه غشاء بین این دو قطعه قرار می‌گیرد. در این شرایط، سطحی از غشاء که در معرض تماس با محلول خوراک قرار می‌گیرد معادل ۲۹ سانتی‌متر مربع است. سل UF در سیستمی مطابق با شکل ۶ نصب شده است. سیستم فوق مجهز به یک مخزن با گنجایش ۵ لیتر است. این مخزن دارای یک کویل آب سرد مسی برای خنک کردن یا ثابت نگه داشتن دمای محلول می‌باشد. دمای محتویات مخزن به وسیله‌ی یک ترمومتر شیشه‌ای با دقت  $\pm 1$  سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود.

است و در صورت لزوم می‌توان به وسیله‌ی یک شیر، دبی سیال ورودی به سل را تنظیم کرد. فشار جریان خوراک قبل از ورود به سل به وسیله‌ی یک فشار سنج بردون اندازه‌گیری می‌شود و ویژگی‌های مذکور خوراک و فرآورده از جمله BOD, COD و غیره طبق استاندارد<sup>(۱)</sup> اندازه‌گیری شد [۶].

جدول ۲- تجزیه‌ی تقریبی خوراک مورد استفاده در سیستم UF.

COD(ppm)	۶۰۰
BOD(ppm)	۲۵۰
TSS(ppm)	۱۵۰
Oil&Grease(ppm)	۲۰۰
TOC(ppm)	۳۵۰
pH	۹٫۵

### نتیجه‌ها و بحث

#### اثر فشار بر میزان تراوش خوراک

در فرایند میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون افزایش فشار باعث افزایش نیروی محرکه ذره‌های عبوری از غشاء شده و در نتیجه فلاکس عبوری از غشاء افزایش می‌یابد که این افزایش تا فشار بحرانی ادامه می‌یابد ولی بعد از این نقطه فلاکس وارد منطقه کنترل جرم می‌شود و فلاکس تراویده با افزایش فشار، تغییر کمی از خود نشان می‌دهد. این روند را می‌توان با استفاده از مدل مقاومت‌های سری (معادله‌ی (۱)) توجیه کرد. بر مبنای این مدل در فشارهای پایین مقاومت ناشی از کیک و لایه‌های روی سطح حداقل مقدار خود است. در این گستره‌ی فشاری جریان توده‌ای که به سمت غشاء است و حامل ذره‌ها بوده، با جریان نفوذی برگشتی از سطح غشاء، متوازن است و یک حالت تعادلی بین آنها وجود دارد لذا معادله‌ی (۱) بین فلاکس و فشار برقرار است. در این رابطه مقاومت غشاء ثابت بوده و فلاکس به صورت خطی با فشار تغییر می‌یابد:

$$J = \frac{\Delta P}{R_m} \quad (1)$$

حالت تعادل بین دو جریان، با افزایش فشار از بین رفته و در نتیجه ذره‌ها روی سطح انباشته می‌شوند. این تجمع ذره‌ها به

معادل ۵ bar است. به علت این که دبی پمپ قابل تنظیم نیست، پس از خروجی پمپ یک مسیر بازگشتی به سمت مخزن تعبیه شده و سپس خوراک وارد سل می‌شود. جزء تراوش کرده از غشاء، از طریق مجرای پایینی سل در ظرف مناسب برای توزین جمع‌آوری می‌شود. فشار جریان خروجی از سل نیز به وسیله‌ی فشارسنج مشابهی تعیین می‌شود و سپس این جریان به داخل مخزن اصلی بازگردانده می‌شود. اندازه‌گیری دبی حجمی جریان در داخل سل به وسیله‌ی یک روماترکالیبره شده، که در مسیر خروجی سل نصب شده است انجام می‌شود. اندازه‌گیری دبی حجمی جریان برای محاسبه سرعت جریان در داخل سل ضروری است. تنظیم و کنترل فشار و دبی حجمی جریان در این سیستم به صورت همزمان انجام می‌شود.

غشاء UF به کار گرفته شده در تمامی آزمایش‌ها، غشاء UFPHT فرآورده‌ی شرکت DOW از کشور دانمارک با کد ۶۳۳۸-۲۹ UFPHT می‌باشد. این غشاء پلیمری از جنس پلی‌سولفون (PS) با MWCO=۳۰KD است. دلیل انتخاب این غشاء برای انجام آزمایش‌ها، پایداری شیمیایی آن در شرایط عملیاتی متفاوت است. خوراک مورد استفاده، فرآورده‌ی تراویده سیستم MF موجود در آزمایش‌هاست که آنالیز آن در جدول ۲ ارائه شده است.

#### شستشوی غشاءها در طول آزمایشات

بعد از انجام هر آزمایشی غشاءها طی مراحل زیر تحت شستشو قرار گرفت:

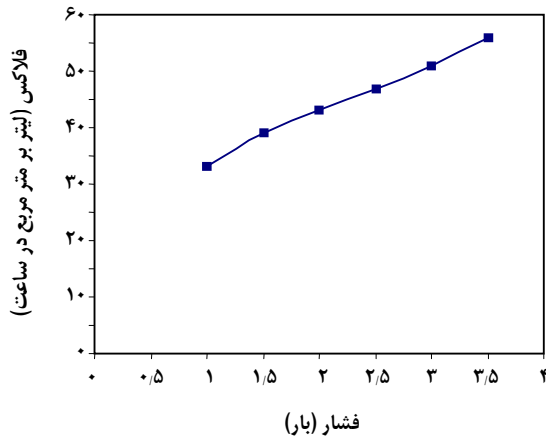
- ۱- خیساندن غشاء در آب مقطر به مدت ۴۸ ساعت
- ۲- شستشو با آب مقطر به مدت ۲ ساعت
- ۳- شستشو با محلول ۵ درصد حجمی کلریدریک اسید
- ۴- شستشو با آب مقطر به مدت ۱ ساعت
- ۵- شستشو با محلول بازی (۱ درصد وزنی دی هیدروژن فسفات، ۰٫۱ درصد EDTA، ۰٫۲ درصد سدیم دودسیل سولفات (SDS) و ۰٫۸ درصد سود)
- ۶- شستشو با آب مقطر به مدت ۱ ساعت
- ۷- شستشوی آنزیمی به مدت ۲ ساعت
- ۸- شستشو با آب مقطر به مدت ۱ ساعت [۴ و ۵].

#### روش اندازه‌گیری ویژگی‌های خوراک و فرآورده

$$J = \frac{\Delta P}{R_m + R_c} \quad (2)$$

(۱) Standard methods for the examination of water and wastewater

با افزایش غلظت خوراک به صورت توانی کاهش می‌یابد. با تغییر غلظت خوراک، گران روی، چگالی و قابلیت نفوذ محلول خوراک تغییر می‌کند.



شکل ۸- اثر فشار بر میزان تراوش خوراک UF.

$$J = k \ln \frac{C_b}{C_c} \quad (4)$$

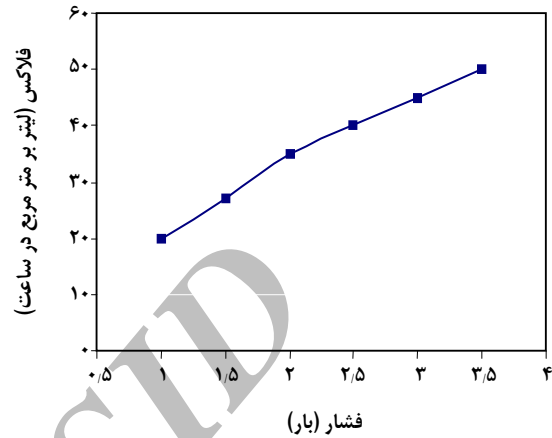
در معادله‌ی بالا  $C_b$  غلظت خوراک در توده سیال،  $C_c$  غلظت جزء حل شده در روی سطح غشاء و  $k$  ضریب انتقال جرم است. این ضریب انتقال جرم برای جریان‌های آشفته و آرام به صورت زیر بیان می‌شود [۱۰-۱۲]:

$$K = 0.73 \left( \frac{D^{0.67} V^{0.8} \rho^{0.47}}{d_h^{1.2} \mu^{0.47}} \right) \quad (5) \text{ برای جریان آشفته}$$

$$K = 1.86 \left( \frac{D^{0.67} V^{0.33}}{d_h^{1.33} L^{0.33}} \right) \quad (6) \text{ برای جریان آرام}$$

با توجه به معادله‌ی اولی، چنانچه از سیستم جریان آشفته استفاده شود، ضریب انتقال جرم و فلاکس با افزایش غلظت (به شرطی که دیگر پارامترها ثابت بماند) به خاطر افزایش گران روی، کاهش می‌یابد. اما در مقابل مدل جریان آرام هیچ وابستگی از خود نشان نمی‌دهند [۱۳].

صورت یک مقاومت اضافی در مدل مقاومت‌های سری نشان داده می‌شود ( $R_c$ ). به دلیل وجود چنین مقاومتی تاثیر فشار بر روی فلاکس کاهش می‌یابد [۷ و ۸].



شکل ۷- اثر فشار روی فلاکس تراویده غشای MF.

شکل‌های ۷ و ۸ اثر افزایش فشار را روی فلاکس تراویده در شرایط سرعت، غلظت، دما و pH ثابت نشان می‌دهد.

### اثر دما بر میزان تراوش خوراک

در هر دو فرایند میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون، افزایش دما در هر دو ناحیه تحت کنترل فشار و تحت کنترل انتقال جرم، منجر به افزایش فلاکس می‌شود. این افزایش به شرطی است که هیچ گونه اثرهای غیر معمول دیگری مثل گرفتگی غشاء به علت رسوب نمک‌ها در دمای بالاتر اتفاق نیفتد. اثر دما به وسیله‌ی معادله آرنیوس قابل بررسی است [۹].

$$J = A_p \exp(-E_p / RT) \quad (3)$$

طبق این معادله با افزایش دما، میزان فلاکس افزایش می‌یابد. افزایش دما همچنین موجب افزایش نفوذپذیری حلال، کاهش گران روی آن و در نتیجه افزایش فلاکس می‌شود. شکل‌های ۹ و ۱۰ اثر افزایش دما را بر روی فلاکس تراویده در شرایط سرعت، غلظت، فشار و pH ثابت نشان می‌دهند.

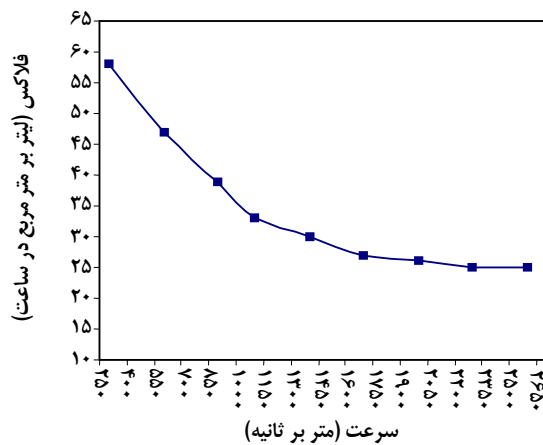
### اثر غلظت خوراک بر میزان فلاکس تراویده

در فرایند میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون از مدل تئوری فیلم می‌توان برای بیان تغییرهای فلاکس بر حسب غلظت استفاده کرد (معادله‌ی (۴)). بر اساس این مدل فلاکس تراویده

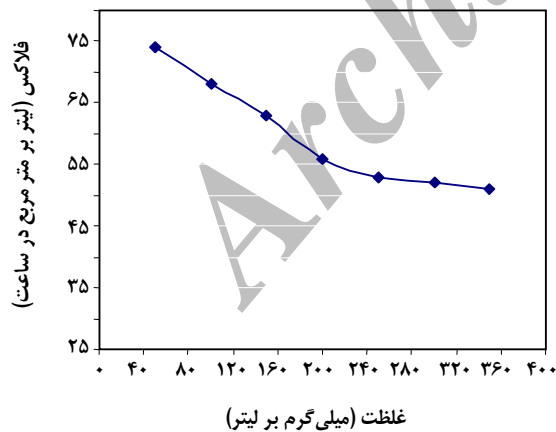
می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل‌ها نیز دیده می‌شود در غلظت‌های زیاد، با افزایش غلظت میزان فلاکس (شیب منحنی) کم‌تر می‌شود.

### اثر سرعت بر میزان تراوش خوراک

در فرایند MF و UF در ناحیه تحت کنترل انتقال جرم، آشفته‌گی چه با هم زدن به وجود آمده باشد و چه با پمپ کردن سیال، اثر بالایی بر فلاکس دارد. هم زدن و اختلاط سیال نزدیک سطح غشای میزان آشفته‌گی در جریان را افزایش می‌دهد و در نتیجه



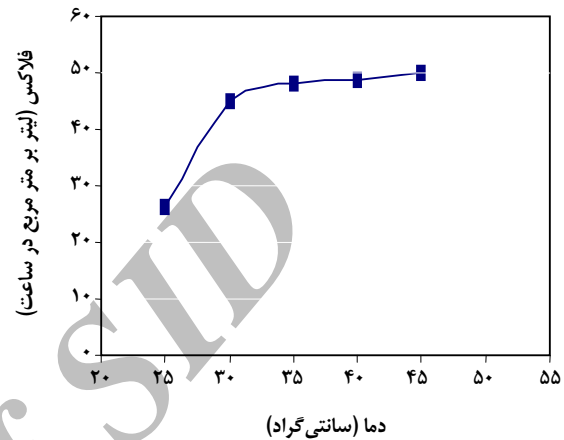
شکل ۱۱- اثر غلظت خوراک بر میزان فلاکس تراویده غشای MF.



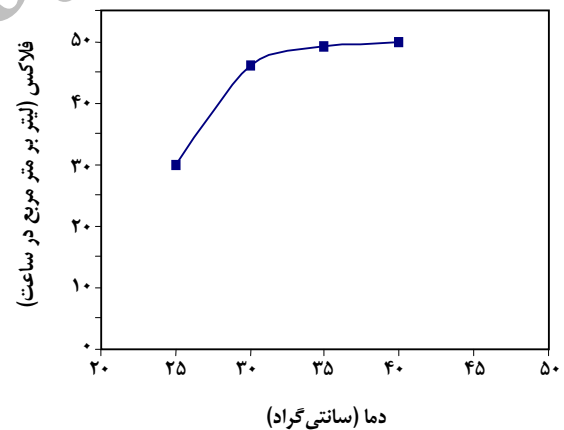
شکل ۱۲- اثر غلظت خوراک بر میزان فلاکس تراویده غشای UF.

دلیل دیگر کاهش فلاکس با غلظت، افزایش ضخامت لایه تشکیل شده روی سطح غشاء که منجر به افزایش مقاومت کیک یا  $R_c$  در معادله (۲) می‌شود، است.

شکل ۱۱ و ۱۲ اثر افزایش غلظت خوراک را بر میزان فلاکس تراویده در دو فرایند میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون نشان



شکل ۹- اثر دما بر میزان فلاکس تراویده غشاء MF.



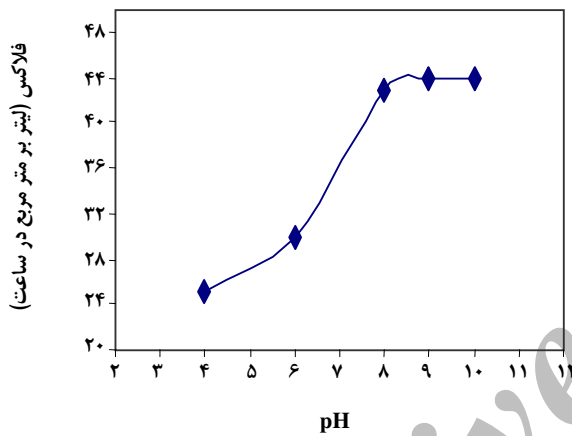
شکل ۱۰- اثر دما بر میزان تراوش خوراک در UF.

دلیل این امر این است که در غلظت‌های پایین‌تر، افزایش غلظت تا حدی ضخامت لایه تشکیل شده را افزایش می‌دهد لیکن در غلظت‌های بالاتر، افزایش غلظت تأثیر قابل توجهی بر ضخامت لایه تشکیل شده ندارد [۱۴].

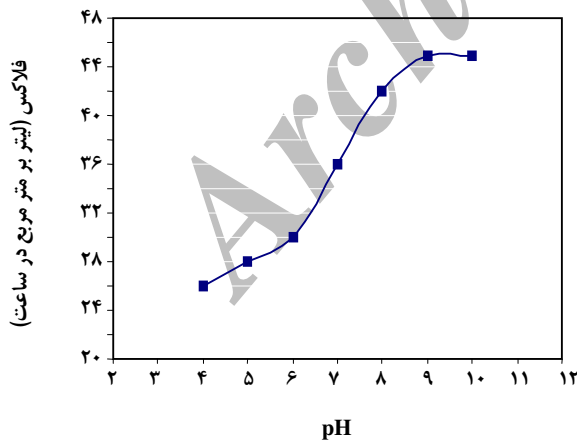
با افزایش سرعت جریان متقاطع، اگرچه به دلیل افزایش فلاکس، بازده کار بیشتر می‌شود، ولی هزینه‌های مصرف انرژی برای پمپ‌کردن نیز افزایش می‌یابد. شکل‌های ۱۳ و ۱۴، اثر سرعت جریان بر میزان فلاکس تراویده در MF و UF را نشان می‌دهد [۱۲ و ۱۵].



در این واکنش تعادلی، با افزایش pH، تعادل بیشتر به سمت راست متمایل خواهد شد و این باعث تجزیه اسیدهای چرب و خارج شدن آنها از حالت مولکولی شده و در نتیجه تجمع آنها روی سطح غشاء کم شده و میزان فلاکس تراویده افزایش می‌یابد.

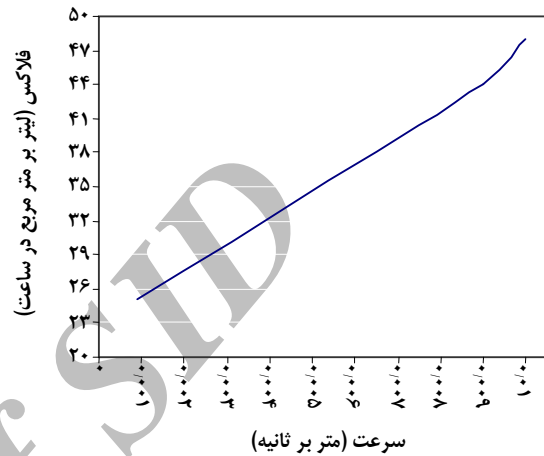


شکل ۱۳- اثر pH بر میزان فلاکس تراویده غشای MF.

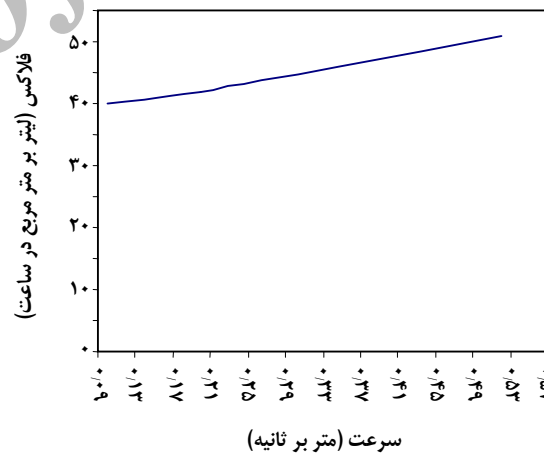


شکل ۱۵- اثر pH بر میزان فلاکس تراویده غشای UF.

ماده تجمع کرده روی سطح غشاء به درون توده مایع باز می‌شود و پلاریزاسیون غلظتی کاهش می‌یابد. افزایش سرعت جریان متقاطع در جریان‌های آشفته، نسبت به جریان‌های آرام موثرتر است چراکه ضریب انتقال جرم تابعی از توان بالاتر سرعت در جریان آشفته است (معادله‌های (۵) و (۶)).



شکل ۱۳- اثر سرعت جریان بر میزان فلاکس تراویده غشای MF.



شکل ۱۴- اثر سرعت جریان بر میزان فلاکس تراویده غشای UF.

### اثر pH بر میزان تراوش خوراک

با افزایش pH، میزان فلاکس تراویده در هر دو فرایند غشایی افزایش می‌یابد. این به دلیل تاثیر pH روی تفکیک اسیدهای چرب است. از آنجا که اسیدهای چرب، اسیدهای ضعیفی هستند واکنش تفکیک آنها مطابق معادله‌ی (۵) یک واکنش تعادلی است.



### اثر فشار بر COD فراورده‌ی خروجی

در فرایند MF، برای تعیین بازده غشای مورد استفاده فراورده‌های به دست آمده در فشارهای متفاوت مورد آزمایش اندازه‌گیری COD قرار گرفته است که نتیجه‌های آن در شکل ۱۷ ارائه شده است. همان طوری که از شکل مشاهده می‌شود

[۱۶-۱۸]. در pH حدود ۸٫۵ دیگر اکثر اسیدهای چرب، تجزیه شده و در نتیجه به علت کم بودن میزان اسیدهای چرب تفکیک نشده باقی‌مانده افزایش pH در مقادیر بالاتر اثر چندانی روی فلاکس ندارد. شکل‌های ۱۵ و ۱۶ اثر pH را بر میزان فلاکس تراویده MF و UF نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتیجه‌های تصفیه پساب مورد استفاده در بخش MF.

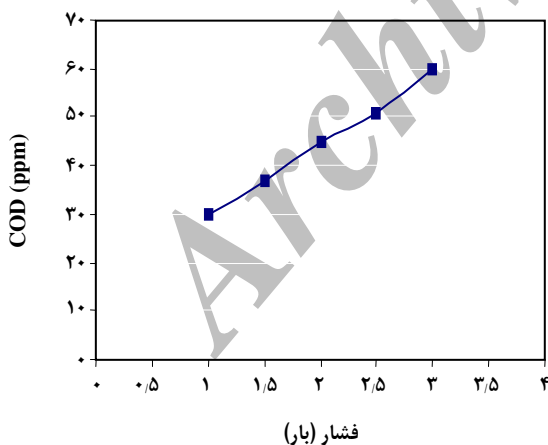
درصد حذف	تراویده از غشاء	خوراک	
۸۲٫۴	۶۰۰	۳۴۱۰	COD(ppm)
۸۹	۲۵۰	۲۲۷۵	BOD(ppm)
۸۱	۱۵۰	۸۰۰	TSS(ppm)
۹۰	۲۰۰	۲۰۰۰	Oil & Grease(ppm)
۸۶	۳۵۰	۲۵۰۰	TOC(ppm)
۹٫۵۲	۹٫۵	۱۰٫۵	pH

### نتیجه‌های تصفیه پساب

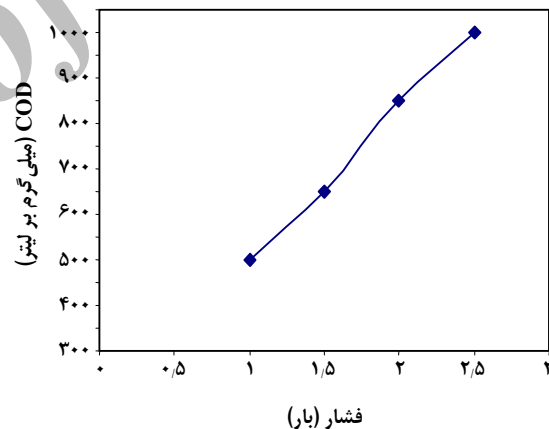
نتیجه‌های تصفیه پساب در بخش‌های متفاوت طبق جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در کلیه قسمت‌ها، عددهای ارائه شده، میانگین آزمایش‌های متفاوت با حداقل تکرار، ۱۰ بار می‌باشد.

جدول ۴- نتیجه‌های حاصل از تصفیه پساب به وسیله‌ی غشای UF.

درصد حذف	تراویده از غشاء	خوراک	
۹۰٫۸۳	۵۵	۶۰۰	COD(ppm)
۸۸	۳۰	۲۵۰	BOD(ppm)
۹۶٫۶۶	۵	۱۵۰	TSS(ppm)
۹۵	۵	۲۰۰	Oil & Grease(ppm)
۸۵٫۷	۵۰	۳۵۰	TOC(ppm)
۲۱	۷٫۵	۹٫۵	pH



شکل ۱۷- اثر فشار بر COD فراورده‌ی خروجی در MF.



شکل ۱۸- اثر فشار بر COD فراورده‌ی خروجی در UF.

با افزایش تفاوت فشار COD فراورده‌ی خروجی نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر غالب شدن اثر فشار بر اثرهای دیگری همچون اندازه‌ی حفره است که در فشارهای بیشتر موجب عبور درصد بیشتری از مواد آلی موجود در خوراک می‌شود [۱۹]. نتیجه‌های تاثیر فشار روی میزان COD عبوری از غشای UF در شکل ۱۸ ارائه شده است. همان طوری که از شکل مشاهده می‌شود با افزایش تفاوت فشار، COD فراورده‌ی خروجی نیز همانند فرایند MF افزایش می‌یابد.

روش‌های متفاوتی جهت دفع این جریان غلیظ وجود دارد که یکی از این روش‌ها، سوزاندن فاز روغنی است. حتی اگر بتوان فاز روغنی را سوزاند تنها جزء کوچکی (به طور معمول حدود ۵-۳ درصد) از حجم اولیه پساب از آن جدا شده است که از بین بردن آن به روش‌های دیگری همچون استفاده از صافی پرس کار سختی نیست. همچنین این فرآورده‌ی قابل استفاده در کارخانه‌های خوراک دام و طیور است. نتیجه‌های آزمایش‌های متفاوت نشان جدول ۶- نتیجه‌های حاصل از روش‌های متفاوت تصفیه.

جریان	COD [ppm]	BOD [ppm]	TOC [ppm]	Oil & Grease [ppm]	TSS [ppm]	pH
خوراک	۳۴۱۰	۲۲۷۵	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۸۰۰	۱۰٫۵
خروجی روش متداول	۴۰۰	۳۰۰	۳۸۰	۲۵۰	۲۲۰	۸٫۵
خروجی روش پیشنهادی	۵۵	۳۰	۵۰	۵	۵	۷٫۵

می‌دهد که حجم نهایی باقی‌مانده در پشت غشاء معادل ۵-۳ درصد حجم اولیه پساب ورودی به سیستم غشایی می‌باشد. میانگین کل بار آلودگی این جریان غلیظ نیز حدود ۲۲۰۰ ppm می‌باشد.

### بررسی نتیجه‌های حاصل از روش‌های متفاوت تصفیه

جدول ۶ و شکل ۱۹ نتیجه‌های حاصل از تصفیه به دو روش متداول: الف) فیزیکی - شیمیایی - بیولوژیکی، ب) روش ترکیبی میکروفیلتراسیون - اولترافیلتراسیون را نشان می‌دهد. در شکل ۱۹ شماره ۱ خوراک، شماره ۲ روش فیزیکی- شیمیایی- بیولوژیکی و شماره ۳ روش ترکیبی میکروفیلتراسیون- اولترافیلتراسیون است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در تمام موردها روش پیشنهادی (روش دوم) نسبت به روش‌های متداول (روش اول) ارجحیت دارد. به ویژه در مورد میزان روغن و گریس این مورد چشمگیرتر است. در روش پیشنهادی همه پارامترهای پساب تصفیه شده بر شرایط استاندارد مطابق بوده و این روش می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های متداول باشد.

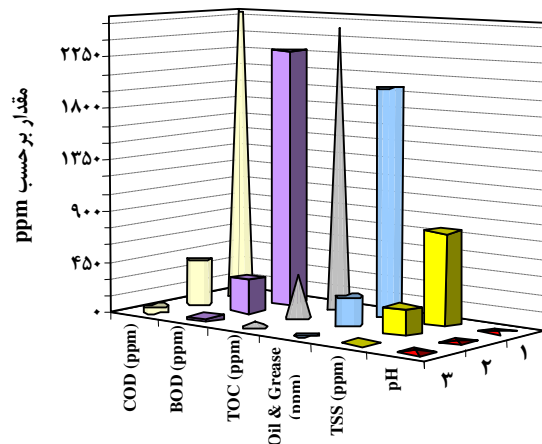
### نتیجه‌گیری نهایی

۱- این فرآوری پساب را بر شرایط استاندارد محیط زیست منطبق می‌کند. این مطلب بیانگر این است که تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی روغن با روش ترکیبی UF-MF امکان‌پذیر بوده و این پتانسیل وجود دارد که این روش جدید جایگزین روش‌های موجود شود.

نتیجه کلی تصفیه پساب به وسیله‌ی کل سیستم نیز در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود کاهش قابل توجهی در اکثر پارامترهای پساب به وجود آمده است و این نشان می‌دهد که روش ترکیبی MF-UF روش قابل قبولی جهت تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی روغن است. جریان غلیظ (فرآورده‌های پشت غشایی) نیز از سیستم جمع‌آوری شده که این جریان، بیشتر شامل فاز روغنی بوده و

### جدول ۵ - نتیجه کلی تصفیه پساب.

درصد حذف	پساب تصفیه شده نهایی	خوراک ورودی به کل سیستم
۹۸٫۴	۵۵	۳۴۱۰
۹۸٫۷	۳۰	۲۲۷۵
۹۹٫۴	۵	۸۰۰
۹۹٫۷۵	۵	۲۰۰۰
۹۸	۵۰	۲۵۰۰
۲۸٫۶	۷٫۵	۱۰٫۵



شکل ۱۹- مقایسه‌ی نتیجه‌های حاصل از تصفیه به روش‌های متفاوت.

۲- نتیجه‌های پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در قسمت میکروفیلتراسیون، تفاوت فشار ۲ bar، سرعت خطی حدود ۰/۴ m/sec، دمای عملیاتی ۳۱ درجه سانتی‌گراد و pH معادل ۹ و در قسمت اولترافیلتراسیون اختلاف فشار بیش از ۳ bar، سرعت خطی حدود ۱-۲ m/sec، دمای عملیاتی ۳۱ درجه سانتی‌گراد و pH معادل ۹ شرایط بهینه برای انجام فرایند است.

۳- شرایط و ویژگی‌های فرآورده‌ی تراویده به شرایط و ویژگی‌های خوراک وابستگی چندانی ندارد و همچنین کنترل سیستم راحت است که اینها همه از مزایای این سیستم هستند [۲۰-۲۳].

## مراجع

- [۱] سمینار افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های صنایع آب و فاضلاب با استفاده از فناوری‌های برتر، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۵).
- [۲] باباپور، عزیز و همکاران، تصفیه پساب‌های صنعتی حاوی روغن با استفاده از غشای MF، دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، زاهدان (۱۳۸۴).
- [۳] مدائنی، سید سیاوش؛ "غشاه‌ها و فرایندهای غشایی"، انتشارات طاق بستان، (۱۳۸۱).
- [4] Jiratananon, R., Uttapap, D. and Tangamornsuksun, C., Self-Forming Dynamic Membrane for Ultrafiltration of Principle Juice, *Journal of Membrane Science*, **129**, p. 135 (1997).
- [5] Lin, S.H. and LAN, W.J., Treatment of Waste Oil/Water Emulsion by Ultrafiltration and ION Exchange, *Water Research*, **32** (9), p. 2680 (1998).
- [6] Wang, P., Xu, N. and Shi, J., A Pilot Study of the Treatment of Water Rolling Emulsion Using Zirconia Microfiltration Membranes, *Journal of Membrane Science*, **173**, p. 159 (2000).
- [7] Sun, D., Duan, X., Li, W. and Zhou, D., Demulsification of Water-in-Oil Emulsion by Using Porous Glass Membrane, *Journal of Membrane Science*, **146**, p. 64 (1998).
- [8] Koltuniewicz, A.B. and Field, R.W., Process Factors During Removal of Oil in Water Emulsions with Cross-flow Microfiltration, *Desalination*, **105**, p. 79 (1996).
- [9] Mohammadi, T. and Esmaelifar, A., Wastewater Treatment Using Ultrafiltration at a Vegetable Oil Factory, *Desalination*, **166**, p. 329 (2004).
- [10] Subramanian, R., Raghavarao, K.S.M.S., Nabetani, H., Nakajima, M., Kimura, T. and Maekawa, T., Differential Permeation of Oil Constituents in Nonporous Denser Polymeric Membrane, *Journal of Membrane Science*, **187**, p. 57 (2001).
- [11] Zhou, H. and Smith, D.W., Advanced Technologies in Water and Wastewater Treatments, *J. of Environ. Eng. Sci.*, **1**, p. 247 (2002).
- [12] Xianguo, Hu., Erika Bekassy-Molnar, Andras Koris, Study and Modeling of Trans-Membrane Pressure and Gel Resistance in Ultra Filtration of Oily Emulsion, *Desalination*, **163**, p. 355 (2004).

## تشکر و قدردانی

از انجمن صنفی صنایع روغن نباتی ایران و گروه صنعتی بهشهر به خاطر همکاری در اجرای این پژوهش تشکر به عمل می‌آید.

تاریخ دریافت: ۱۸/۴/۸۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۹/۹/۸۶

- [13] Cheryan, M., "Ultrafiltration and Microfiltration Handbook", Technomic Publishing Co., (1998).
- [14] Ohaya, H., Kim, J. J., Chinen, A., Aihara, M., Semonova, S.I., Negishi, Y., Mori, O. and Yasuda, M., Effect of Pore Size on Separation of Microfiltration of Oily Water, Using Porous Glass Tubular Membrane, *Journal of Membrane Science*, **145**, p. 1 (1998).
- [15] Hui, H., "Bailey's Industrial Oil and Fat Products", John Wiley and Sons Inc (1996).
- [16] Scott, K., Mahmood, A. J., Jachuck, R. J. and Hu, B., Intensified Membrane Filtration with Corrugated Membranes, *Journal of Membrane Science*, **173**, p. 1 (2000).
- [17] Bottino, A., Capannelli, C., Del Borghi A., Colombino, M. and Conio, O., Water Treatment for Drinking Purpose: Ceramic Microfiltration Application, *Desalination*, **141**, p. 75 (2001).
- [18] Brinck, J., Johnson, A. S., Johnson, B. and Lindau, J., Influence of pH on the Adsorptive Fouling of Ultrafiltration Membranes by Fatty Acid, *Journal of Membrane Science*, **164**, p.187 (2000).
- [19] Zhou, H. and Smith, D. W., Advanced Technologies in Water and Wastewater Treatment, *J. Environ. Eng. Sci.*, **1**, p. 247 (2002).
- [20] Decloux, M., Treatment of Acidic Wastewater Arising from the Refining of Vegetable Oil by Crossflow Microfiltration at Very Low Transmembrane Pressure, *Process Biochemistry*, **42**, p. 693 (2007).
- [21] García, A.B., Spanish Push for Desalination: Part of Larger Plan, *Desalination Water Reuse*, **16** (1), p. 14 (2006).
- [22] Bixio, D., Thoeye, C., Wintgens, T., Hochstrat, R., Melin, T., Chikurel, H., Aharoni, A. and Durham, B., Wastewater Reclamation and Reuse in the European Union and Israel: Status Quo and Future Prospects, *Internat. Rev. Environ. Strategies*, **6** (2), p. 251 (2006).
- [23] Koutsakos, E. and Moxey, D., Membrane Management System, *Desalination*, **203**, p. 307 (2007).