



بازیابی حلال از میسلا روغن - هگزان کلزا با استفاده از فرآیند غشایی نانوفیلتراسیون

*فخرالدین صالحی¹ و سیدمحمدعلی رضوی²

¹پژوهشگر سازمان اتکا (مرکز پژوهش، توسعه و امور نخبگان سازمان اتکا).

²استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: 90/11/12 ؛ تاریخ پذیرش: 91/3/20

چکیده

مصرف بالای انرژی در هنگام بازیافت حلال از میسلا روغن به روش سنتی، باعث ترغیب کارشناسان جهت یافتن روش‌های نوین جهت کاهش مصرف انرژی در صنایع استخراج روغن شده است. بنابراین در این پژوهش پتانسیل فرآیند غشایی نانوفیلتراسیون به منظور بازیافت حلال هگزان از میسلا روغن - هگزان کلزا مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش اثر اختلاف فشار عملیاتی (سه سطح 1/5، 2 و 2/5 مگا پاسکال) و دما (سه سطح 20، 30 و 40 درجه سانتی‌گراد) بر روی کارایی فرآیند نانوفیلتراسیون مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام آزمایش‌ها از غشا لوله‌ای پلی‌آمیدی مدل AFC40 ساخت شرکت PCI، در یک سیستم پایلوت پلنت، استفاده شد. نتیجه‌های بررسی اثر دما و فشار بر شار هگزان خالص نشان داد که با افزایش فشار و دمای عملیاتی شار هگزان افزایش می‌یابد. از مزایای کاربرد این نوع غشا، پایداری غشا پلی‌آمیدی نسبت به حلال بود و نتیجه‌های بررسی پروفیل شار در برابر زمان نشان داد با گذشت زمان تغییر چندانی در شار هگزان مشاهده نمی‌شود. با توجه به نوع و اندازه منافذ غشا استفاده شده در این پژوهش، مشاهده گردید که تنها هگزان قادر به عبور از منافذ این غشا می‌باشد و وارد جریان تراوه می‌شود و سایر ترکیبات موجود

*مسئول مکاتبه: FS1446@yahoo.com

در میسلا (از جمله اسیدهای چرب آزاد و تری گلیسریدها) به عنوان ناتراوه به مخزن خوراک برگشت داده می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده میانگین شار میسلا کلزا با افزایش دما و فشار افزایش می‌یابد. به دلیل انتخاب مناسب نوع غشا و اندازه منافذ آن، مشاهده گردید گرفتگی غشا با چندین بار سیرکوله کردن حلال خالص از درون آن رفع می‌گردد و می‌توان آن را دوباره مورد استفاده قرار داد. براساس نتایج می‌توان دمای 30 سانتی‌گراد و فشار 2/5MPa را به عنوان بهترین دما و فشار جهت انجام فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن - هگزان در صنعت استخراج روغن پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: بازیافت حلال، پلی آمید، تری گلیسرید، شار، کلزا، هگزان

مقدمه

تهیه روغن از دانه‌های روغنی شامل مرحله‌های روغن‌کشی و تصفیه می‌باشد. اولین مرحله در فرآوری روغن‌های گیاهی استخراج روغن از دانه روغنی می‌باشد. برای دانه‌های با مقدار روغن کم‌تر از 20 درصد مانند سویا فقط از حلال جهت استخراج روغن استفاده می‌شود [1]. ولی برای دانه‌های روغنی با مقدار بیشتر از 20 درصد روغن، از یک مرحله استخراج توسط پرس مکانیکی نیز استفاده می‌شود. دانه کلزا با 8 درصد رطوبت حاوی 38 تا 40 درصد روغن می‌باشد. بنابراین مشابه دانه‌های روغنی با مقدار روغن بالا نظیر آفتاب‌گردان، از روش ترکیبی شامل پرس مکانیکی اولیه که در حدود 60 درصد روغن استخراج می‌شود و سپس باقی‌مانده روغن توسط حلال جداسازی می‌شود، جهت استخراج روغن استفاده می‌شود. روغن کلزا به عنوان یک روغن با مقدار اسید چرب اشباع پایین (کم‌تر از 4 درصد پالمیتیک) و مقدار به نسبت بالایی اولئیک (60 درصد) و اسید آلفا لینولئیک (10 درصد) شناخته می‌شود و از لحاظ کیفیت تغذیه‌ای در میان روغن‌ها و چربی‌های معمول بعد از روغن زیتون قرار می‌گیرد [3-1]. در مرحله بعد حلال‌زدایی از میسلا (مخلوط 20 تا 30 درصد وزنی روغن و حلال) صورت می‌گیرد که به مقدار قابل توجهی انرژی جهت حذف حلال نیاز دارد. بازیافت حلال در دو مرحله انجام می‌شود. بازیافت حلال از میسلا یکی از بحرانی‌ترین مرحله‌ها در فرآوری روغن‌های خوراکی از لحاظ اقتصادی، زیست‌محیطی و ایمنی می‌باشد. همچنین انرژی زیادی صرف گرم و سرد کردن روغن و نیز تامین انرژی پمپ‌ها، سانتریفوژها و سایر تجهیزات می‌شود. فرآیند بازیابی حلال به مقادیر قابل توجهی انرژی (در حدود 350 کیلو ژول به‌ازاء هر کیلوگرم روغن) نیاز

دارد. بسته به نوع دانه روغنی، مصرف بخار برای تولید روغن خام بین 2000-4000 Btu/lb می‌باشد. در آمریکا برای فرآوری پنبه دانه، سویا، ذرت و بادام‌زمینی به ازاء تولید $6/85 \times 10^9$ کیلوگرم روغن خام به‌طور تقریبی $85/25 \times 10^9$ کیلوژول انرژی نیاز می‌باشد. همچنین برای فرآوری 22000 پوند روغن خام به 1400-1800 kwh/yr انرژی الکتریسیته نیاز می‌باشد. برخلاف پیشرفت‌هایی که در نیم قرن گذشته در زمینه مهندسی و طراحی تجهیزات فرآوری و تصفیه روغن بر مبنای کاهش افت روغن، کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت روغن‌های خوراکی صورت گرفت، اصول فرآوری و تصفیه روغن‌ها همچنان ثابت ماند و با توجه به مشکلات گوناگون موجود، جایگزین کردن یا تلفیق روش‌های موجود با تکنیک‌های نوین ضروری به‌نظر می‌رسد.

فرآیندهای غشایی به دلایل گوناگون از جمله صرفه‌جویی در مصرف انرژی، استفاده نکردن از آلاینده‌های شیمیایی، بهبود کیفیت محصول، حفظ مواد مغذی و سایر ترکیبات مطلوب روغن، کاهش حجم فاضلاب یا حذف فرآیند تصفیه فاضلاب، سهولت عملیات و انجام فرآیند در دماهای پایین و معمولی به‌عنوان یک روش جایگزین، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. جداسازی غشایی یک فن‌آوری جایگزین بسیار جالب توجه برای روش مرسوم فرآوری روغن‌های نباتی می‌باشد.

در ایالات متحده آمریکا تخمین زده شده است که با استفاده از فرایندهای غشایی جهت تصفیه روغن‌های خوراکی در حدود $2/1 \times 10^{12}$ کیلو ژول در سال در مصرف انرژی توسط این صنایع صرفه‌جویی به‌عمل می‌آید. کوسگلو و انجلگو در سال 1990 [3] به بررسی طراحی یک فرآیند ترکیبی از روش تقطیر سستی و غشایی جهت جداسازی حلال پرداختند. با استفاده از یک غشای نانوفیلتراسیون¹ جریان‌های حاوی درصد بالای هگزان که می‌تواند به استخراج کننده فرستاده شود و جریان‌های حاوی درصد بالای روغن که می‌تواند جهت بازیافت باقی مانده هگزان به تقطیرکننده فرستاده شود.

دمورا و همکاران [7] صمغ‌زدایی روغن خام سویا و میسلای آن را به کمک فرآیند غشایی اولترافیلتراسیون با استفاده از یک غشاء پلی‌اتر سولفون در دمای 50 درجه سانتی‌گراد و فشارهای متفاوت (0/5 - 5 bar) مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه‌ها نشان داد دفع فسفولیپیدها در فشار بیش از 2bar با فشرده شدن بیشتر غشا و کاهش قطر متوسط خلل و فرج کاهش می‌یابد.

1- Nanofiltration (NF)

کوسگلو و همکاران [6] با استفاده از غشاهای نانو و الترافیلتراسیون در جداسازی روغن پنبه دانه (25 درصد وزنی - وزنی) از میسله‌هایی که حاوی هگزان، اتانول و ایزوپروپانول به‌عنوان حلال بودند، استفاده نمودند. غشاهای نانوفیلتر ترکیبی از پلی سولفون، پلی مرهای فلوراید، پلی‌آمید و استات سلولز با میانگین حد وزن مولکولی¹ بین 150 و 1000 دالتون مورد آزمایش قرار گرفتند. نتیجه‌ها گزارش شده نشان می‌دهد که تنها غشاهای پلی آمیدی در برابر هگزان پایدار می‌باشند. بهترین کارایی در این پژوهش با استفاده از غشا OSMO 192T-89 با میانگین حد وزن مولکولی بین 300 و 400 دالتون در سرعت جریان $7/14 \text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ که در نتیجه دفع $13/6$ درصد روغن، تراوه حاوی $21/6$ درصد روغن به‌دست آمده است. اسنپ و ناکاجیما [2] گزارش دادند میسلا بعد از صمغ‌زدایی توسط اولترافیلتراسیون می‌تواند به‌عنوان خوراک فرایند نانوفیلتراسیون به‌منظور بازیافت حداکثری حلال انجام پذیرد.

وو و لی غشاهای سرامیکی را در جهت اولترافیلتراسیون میسلا (روغن - هگزان) سویا بر پایه اختلاف نفوذپذیری بین هگزان و روغن مورد استفاده قرار دادند. آن‌ها روغن خام سویا با 33 درصد روغن را با استفاده از غشای صفحه‌ای با میانگین اندازه منافذ $0/02$ میکرومتر و ضخامت تقریبی $0/1$ میکرومتر فیلتر نمودند. اپتیمم شرایط جداسازی در اختلاف فشار 4kgfcm^{-2} و سرعت به هم‌زدن 120rpm به‌دست آمد که با دفع برابر 20 درصد، غلظت روغن از 33 درصد در خوراک به 27 درصد در تراوه کاهش یافت. جرم مولارتری آسیل گلیسرول‌ها 900 گرم بر مول و جرم مولار هگزان 86 گرم بر مول و اندازه‌های مولکولی تری‌آسل گلیسرول در یک محیط حاوی هگزان برابر $16/2$ و اندازه مولکولی هگزان برابر $7/5$ آنگسترم گزارش شده است.

پاگلیرو و همکاران [9] به بررسی بازیافت حلال از میسلا صمغ‌گیری شده آفتاب‌گردان با غلظت روغن بین 25 تا 45 درصد (وزنی - وزنی) با استفاده از غشاهای سنتز شده از PVDF پرداختند. اپتیمم جداسازی در فشار بین 4 و 6 بار، دمای 50 درجه سانتی‌گراد، 25 درصد روغن در میسلا، سرعت هم‌زدن برابر 750rpm و سرعت جریان $30 \text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}$ به‌دست آمد که درصد دفع روغن برابر 17 درصد بوده که در نتیجه آن غلظت روغن در تراوه به 33-30 درصد افزایش یافته است.

¹ - Molecular weight cut off (MWCO)

ریبریو و همکاران [10] بازیافت حلال از میسلای روغن - هگزان سویا را مورد مطالعه قرار دادند. غشاهای پلی مری صفحه‌ای پلی‌سولفون و پلی‌آمید، در طی فرآیندهای اسمز معکوس، نانو و اولترافیلتراسیون تست شدند. اثر فشار (27-13 بار) و دما (49-21 درجه سانتی‌گراد) بر شار تراوه، دفع روغن و جداسازی اسیدهای چرب آزاد مورد بررسی قرار گرفت. افزایش فشار منجر به افزایش شار شد در حالی که دفع روغن و اسیدهای چرب آزاد کاهش یافت. دمای بالا دارای اثر مثبت بر شار تراوه، دفع روغن و عبور اسیدهای چرب آزاد داشت. بالاترین دفع روغن برابر 67/12 درصد در فشار 15 بار و دمای 45 سانتی‌گراد گزارش شده است.

ویبین و همکاران [11] به بررسی بازیافت حلال از میسلا روغن - هگزان سویا با استفاده از غشای پلی‌دی‌متیل سیلوکسان (PDMS) پرداختند و استفاده از غشاهای نانوفیلتراسیون را در جهت بازیافت حلال توصیه نمودند.

مطالب بالا نشان می‌دهد که تکنولوژی غشایی، پتانسیل بالایی در زمینه فرآوری روغن‌های خوراکی دارد. با عنایت به روند رو به رشد تولید انواع غشاهای مقاوم در برابر شرایط عملیاتی و مواد شیمیایی مختلف، و افزایش کاربرد این فناوری نوین در صنایع مختلف، تعیین بهترین شرایط انجام فرآیند غشایی نانوفیلتراسیون جهت بازیافت حلال هگزان باعث صرفه‌جویی ارزشمند در مصرف انرژی می‌شود و به مقدار زیادی ارزش تغذیه‌ای روغن‌های خوراکی حفظ می‌شود. در بررسی‌های انجام شده نتیجه‌های قابل قبولی ارائه نشده است و در هیچ‌کدام از منابع از میسلا دانه روغنی کلزا که امروزه سهم عمده‌ای از تولیدات روغن‌های خوراکی کشور ما را بر عهده داد، به‌عنوان خوراک سیستم فیلتراسیون استفاده نگردیده است. بنابراین در این پژوهش به بررسی تاثیر پارامترهای عملیاتی (دما و فشار هر یک در سه سطح) بر رفتار شار هگزان خالص و شار میسلا روغن خام کلزا در فرآیند نانوفیلتراسیون پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: روغن خام کلزا از کارخانه استخراج روغن کلزا از گرگان خریداری و در سردخانه در دمای 4 درجه سانتی گراد نگهداری شد. غشایی از جنس فیلم پلی آمید از شرکت PCI آمریکا خریداری گردید. مشخصات فنی سیستم غشایی به صورت خلاصه در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1- مشخصات فنی سیستم پایلوتی غشاء نانوفیلتراسیون مورد استفاده در این پژوهش.

AFC40	نوع غشا
فیلم پلی آمید ¹	جنس غشا
240 cm ²	سطح موثر غشا
1/5-9/5	دامنه تحمل pH
تا 60 درجه سانتی گراد	دامنه تحمل دما
60 بار	حداکثر فشار قابل تحمل
60 درصد (CaCl ₂)	خصوصیت دفع ظاهری ²
لوله ای ³ ، مدل MIC-RO 240	نوع مدول

روش کار

فرایند نانوفیلتراسیون: سیستم پایلوت غشایی جریان عرضی نانوفیلتراسیون (شکل 1) جهت انجام آزمایشها مورد استفاده قرار گرفت. برای انجام هر بار عملیات نانوفیلتراسیون، میسلا با اختلاط 3 لیتر هگزان با 1 لیتر روغن خام کلزا آماده شده و سپس تانک تغذیه سیستم غشایی با نمونه میسلا پر شده و عملیات نانوفیلتراسیون در 5 مرحله زیر انجام می شد:

- 1- فیلتراسیون هگزان خالص از درون غشا تمیز به مدت 15 دقیقه.
- 2- فیلتراسیون میسلا، از درون غشا تمیز به مدت 50 دقیقه.
- 3- فیلتراسیون هگزان خالص از درون غشا مسدود شده به مدت 15 دقیقه.

1- Polyamide film
2- Apparent Retention Character
3- Tubular

4- سیرکولاسیون هگزان خالص درون غشا به مدت 30 دقیقه جهت شستشوی غشاء و حذف ذرات موجود بر روی سطح آن.

5- فیلتراسیون هگزان خالص از درون غشا شسته شده به مدت 15 دقیقه.

شار هگزان خالص و جریان فاز تراوه خوراک در فواصل زمانی یک دقیقه‌ای توسط یک ترازوی دیجیتالی متصل به کامپیوتر ثبت می‌شد و سپس با جایگذاری مقادیر حاصل در معادله (1) شار بر حسب $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ به دست می‌آمد:

$$J = \left(\frac{W_2 - W_1}{t \times A} \right) \quad (1)$$

W_1 : وزن خوانده شده در زمان t_1 بر حسب kg

W_2 : وزن خوانده شده در زمان t_2 بر حسب kg

t : فاصله زمانی بین خواندن دو وزن W_2, W_1 بر حسب h

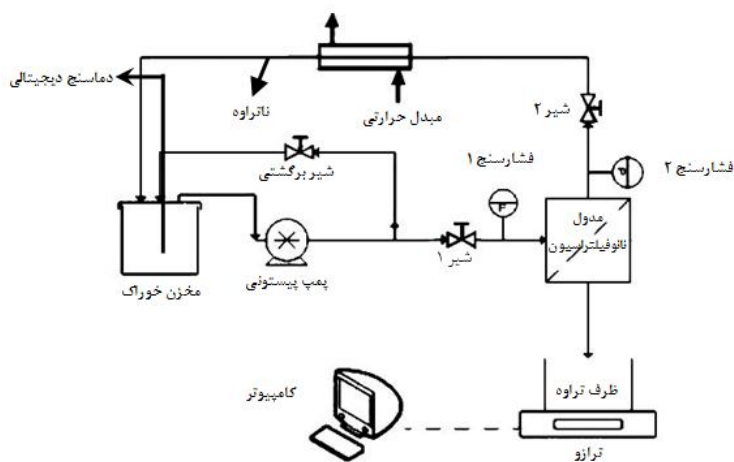
A : سطح غشا بر حسب m^2

هدف از مرحله اول و پنجم تعیین شار هگزان خالص (J_w) و کنترل شار روزانه غشا دستگاه بوده است. با توجه به داده‌های مرحله دوم، شار تراوه (J_p) به دست می‌آید. هدف از مرحله سوم تعیین شار هگزان خالص در غشا مسدود شده (J_{WF}) و محاسبه درصد گرفتگی غشا بر اساس معادله (2) بوده است.

$$\text{Fouling (\%)} = 1 - \frac{J_{wf}}{J_w} \times 100 \quad (2)$$

سیکل شستشو زمانی پایان می‌پذیرفت که اختلاف شار هگزان خالص در انتهای فرآیند شستشو با شار هگزان خالص در ابتدای هر بار عملیات بیش از 3 تا 5 درصد نباشد، در غیر این صورت گرفتگی غشا بر طرف نشده و سیکل شستشو تکرار می‌گردید. در طی فرآیند نانوفیلتراسیون اثرات اختلاف فشار عرضی (TMP)¹ در سه سطح 1/5، 2 و 2/5 مگا پاسکال و دمای عملیات در سه سطح 20، 30 و 40 درجه سانتی‌گراد به منظور بررسی کارایی فرآیند غشایی مورد بررسی قرار گرفت.

1- Transmembrane Pressure

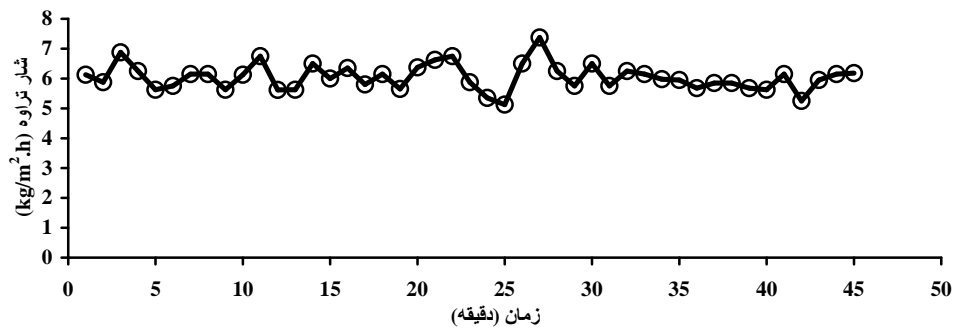


شکل 1- سیستم نانوفیلتراسیون به کار گرفته شده جهت نانوفیلتراسیون میسلا روغن - هگزان.

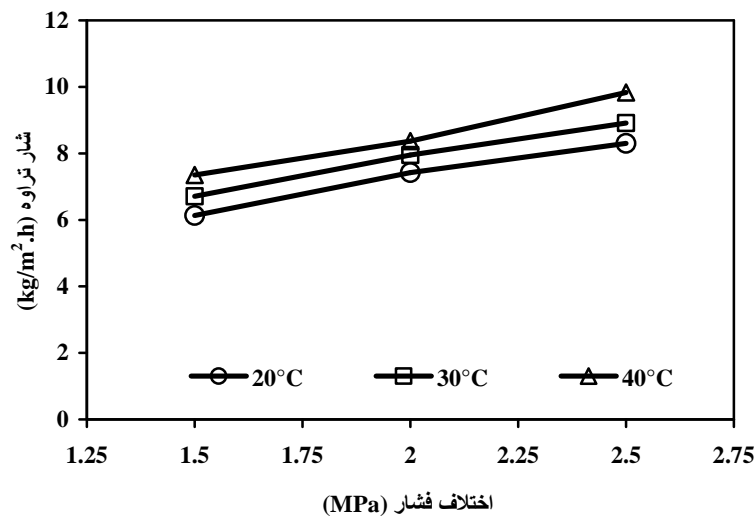
نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی غشا اثر قابل ملاحظه‌ای بر انتقال حلال دارد و حلال‌های غیرقطبی از عرض غشاهای هیدروفوب با سرعت بیشتری عبور می‌کنند. کوسگلو و همکاران در سال 1990 گزارش کردند که تنها غشاهای پلی‌آمیدی نسبت به حلال هگزان مقاوم می‌باشد و می‌توان از این غشاء جهت بازیابی حلال در صنایع استخراج روغن استفاده نمود. قابل ذکر است در غشاهای پلی‌مری، مکانیسم جداسازی شامل برهم کنش پلی‌مر - حلال، حلال - حلال - حل شونده و حل شونده - پلی‌مر می‌باشد [13]. همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود با گذشت زمان شار هگزان از درون غشا پلی‌آمیدی AFC40 تغییر چندانی نمی‌کند و کاهش شاری که توسط سایر محققان در هنگام فیلتراسیون غشایی هگزان گزارش شده است، مشاهده نمی‌شود. رافع و همکاران [14] به بررسی شار تراوه هگزان و آب از درون غشا اولترافیلتراسیون پلی‌سولفون امید پرداختند. غشا مارپیچی 20 کیلو دالتون در یک سیستم پایلوت جهت انجام آزمایش‌ها انتخاب گردیده است. شار مشاهده شده برای هگزان از شار آب کم‌تر بوده و همچنین شار هگزان با گذشت زمان و بین عملیات‌های فیلتراسیون متوالی کاهش یافته است که می‌تواند در اثر برهمکنش بین حلال و مواد سازنده غشا و یا در اثر جذب حلال بر روی سطح داخلی غشا اتفاق افتاده باشد. میانگین شار هگزان در دمای 30 سانتی‌گراد و فشار عملیاتی برابر $1/2\text{MPa}$ برابر $6/04\text{kg/m}^2\text{h}$ به دست آمد. شکل 3 اثر دما و فشار عملیاتی را بر میانگین شار هگزان خالص نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دما و فشار عملیاتی شار هگزان افزایش می‌یابد. بالاترین مقدار شار هگزان در دمای 40 درجه سانتی‌گراد و فشار $2/5\text{MPa}$ که برابر $9/83\text{kg/m}^2\text{h}$ بود، به دست آمد. افزایش شار

هگزان با افزایش دما را می‌توان به کاهش ویسکوزیته هگزان و افزایش ضریب نفوذ مولکولی آن از عرض غشا نسبت داد. در این پژوهش، افزایش شار هگزان به ازای افزایش دما از 20 به 30 درجه سانتی‌گراد 7/87 درصد و به ازای افزایش دما از 30 به 40 درجه سانتی‌گراد 8/37 درصد بوده است.

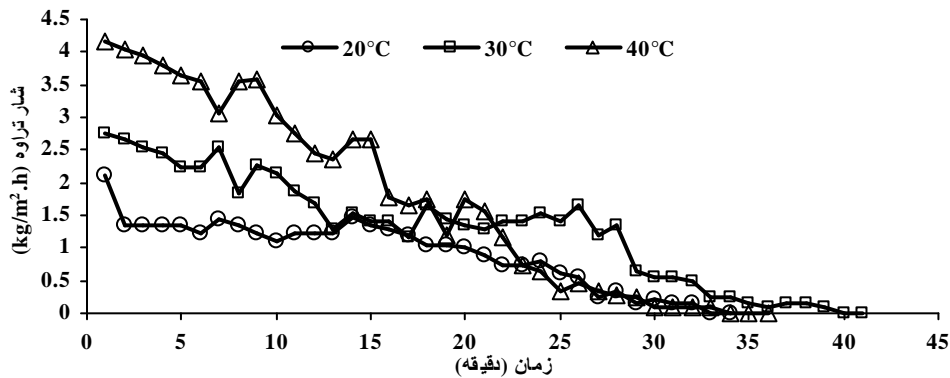


شکل 2- پروفیل شار- زمان فرآیند نانوفیلتراسیون هگزان خالص در دمای 30 سانتی‌گراد و فشار عملیاتی برابر 1/2MPa.

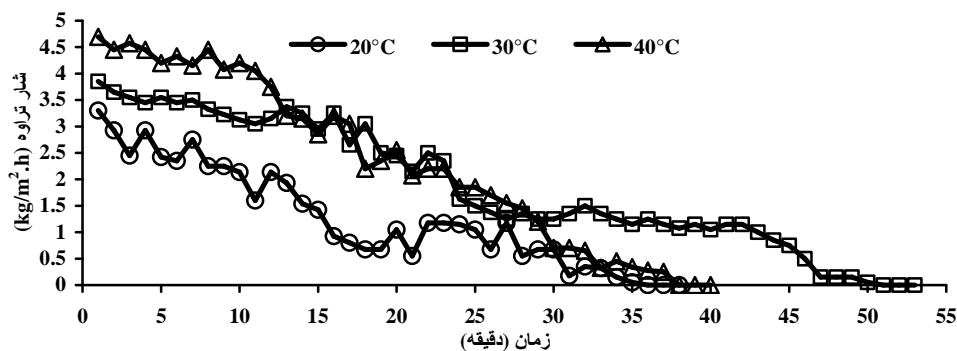


شکل 3- میانگین شار هگزان فرآیند نانوفیلتراسیون به‌عنوان تابعی از اختلاف فشار در عرض غشا و در دماهای مختلف.

در فرآیندهای تقطیر سنتی به ازای هر تن هگزان در حدود 1/7 کیلوگرم بخار هگزان وارد محیط زیست می‌شود. اما با تکنیک نانوفیلتراسیون این مقدار را می‌توان تا 5 درجه سانتی‌گراد کاهش داد [15]. نتیجه‌های این پژوهش نشان داده است که شار تراوه شار تراوه فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن- هگزان در تمامی دماها و اختلاف فشارهای با گذشت زمان به دلیل افزایش گرفتگی غشا کاهش می‌یابد و در حدود 40 دقیقه بعد از شروع عملیات شار صفر می‌شود (شکل‌های 4، 5 و 6). در دمای 30 درجه سانتی‌گراد در تمامی فشارهای عملیاتی به کار رفته مشاهده گردید که شار با سرعت کم‌تری کاهش می‌یابد و گرفتگی کامل غشا اندکی طولانی‌تر می‌شود.

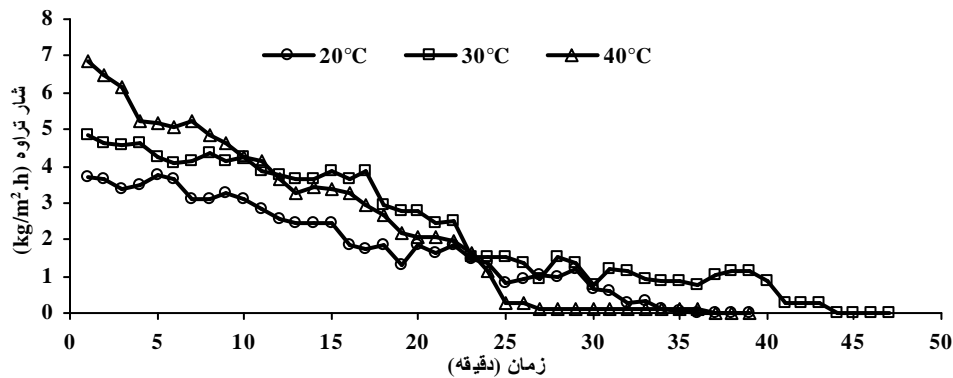


شکل 4- پروفیل شار- زمان فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن- هگزان در دماهای مختلف (فشار عملیاتی برابر 1/5 مگا پاسکال).



شکل 5- پروفیل شار- زمان فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن- هگزان در دماهای مختلف

(فشار عملیاتی برابر 2 مگا پاسکال).

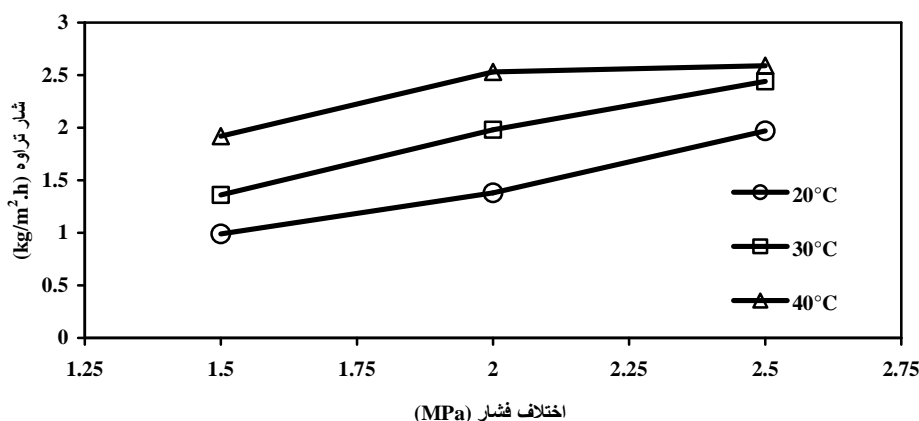


شکل 6- پروفیل شار- زمان فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن- هگزان در دماهای مختلف (فشار عملیاتی برابر 2/5 مگا پاسکال).

شکل 7 میانگین شار تراوه را به عنوان تابعی از اختلاف فشار عرضی و در دماهای مختلف نشان می دهد. نتیجه های تغییرات فشار نشان داد که با افزایش اختلاف فشار شار تراوه متوسط افزایش می یابد. شار تراوه متوسط در یک دمای ثابت به ازای 0/1 مگا پاسکال افزایش در اختلاف فشار هنگامی که فشار از 1/5 به 2 مگا پاسکال و از 2 به 2/5 مگا پاسکال افزایش می یابد، به ترتیب $0/11 \text{ kg/m}^2\text{h}$ و $0/07 \text{ kg/m}^2\text{h}$ افزایش می یابد. افزایش شار با افزایش اختلاف فشار عرضی نشان دهنده این است که شار تراوه در شرایط عملیاتی به کار گرفته شده در این پروژه در محدوده وابسته به اختلاف فشار عرضی است. همچنین با ملاحظه شکل 7 نیز می توان دریافت که در یک اختلاف فشار عرضی ثابت، افزایش دمای فرآیند، شار تراوه را افزایش داده است. افزایش شار تراوه در اثر افزایش دما در نتیجه کاهش ویسکوزیته تراوه و افزایش ضریب نفوذ مولکولی می باشد [16]. در این پژوهش، افزایش شار به ازای افزایش دما از 20 به 30 درجه سانتی گراد 33/3 درصد و به ازای افزایش دما از 30 به 40 درجه سانتی گراد 21/8 درصد بوده است.

آیسو و همکاران [17] به بررسی اثر دما و اختلاف فشار عملیاتی بر شار تراوه روغن سویا با استفاده از یک غشای لوله ای سرامیکی (اندازه منافذ 0/01 میکرومتر) و یک غشای الیافی از جنس پلی سولفون (اندازه منافذ 100KDa) پرداختند. مقادیر دما و فشار برابر 60، 50 و 70 درجه سانتی گراد و 3،

4/5 و 6 بار برای غشای سرامیکی؛ 50، 60 و 70 درجه سانتی‌گراد و 0/7 و 1/4 بار برای غشاء پلی سولفون در نظر گرفته شد. برای غشای سرامیکی بهترین شار در 50 سانتی‌گراد و 6 بار که برابر $4/16 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ بود، به دست آمد و برای غشاهای پلی سولفونی در فشار 1/5 بار و 70°C که برابر $11/58 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ بود، به دست آمد. درصد دفع غشای سرامیکی نسبت به غشا پلی سولفون بیشتر بوده اما شار این غشاء کم‌تر است. ولی با مطالعه درصد دفع‌های گزارش شده توسط این محققان متوجه می‌شویم هر دو غشا در حذف اسیدهای چرب آزاد، ترکیبات رنگی و کلروفیل ناکارآمد می‌باشند و درصد دفع‌های گزارش شده برای این ترکیبات پایین می‌باشد.



شکل 7- میانگین شار تراوه فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن - هگزان به‌عنوان تابعی از اختلاف فشار در عرض غشاء و در دماهای مختلف.

از آنجایی که بیشتر غشاهای نانوفیلتراسیون تجاری دارای بار سطحی می‌باشند، در فرآیندهای غشایی نانوفیلتراسیون علاوه بر مکانیسم غربالی (وابسته به اندازه مولکول‌های اجزای محلول و اندازه منافذ غشا)، پدیده دونان¹ (الکترواستاتیک) که ناشی از بار سطحی غشا است، در جداسازی و درصد دفع ترکیبات آلی تأثیر گذار می‌باشد [18]. نتایج نانوفیلتراسیون میسلا روغن - هگزان کلزا نشان داد که تنها هگزان قادر به عبور از

1- Donnan (electrostatic) effect

منافذ غشاء می‌باشد و تراوه تنها محتوی هگزان می‌باشد و سایر ترکیبات موجود در میسلا (اسیدهای چرب آزاد و تری‌گلیسریدها) قادر به عبور از منافذ غشا نیستند.

نتیجه‌گیری

با استفاده از فرآیندهای غشایی در صنایع تصفیه روغن، می‌توان مصرف انرژی به هنگام بازیابی حلال از میسلا را به حد چشم‌گیری کاهش داد و به‌این وسیله باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی گردید و در عین حال محصولی با قیمت تمام شده کمتر تولید می‌شود. با استفاده از این روش امکان بازیافت حلال در صنایع روغن‌کشی در دماهای پایین وجود دارد که باعث به حداقل رسیدن آسیب‌های وارده به ترکیبات مغذی محصول می‌شود. نتیجه‌های استفاده از غشاء پلی‌آمیدی نشان داد که این غشاء نسبت به حلال هگزان مقاوم می‌باشد و همچنین با افزایش دما و فشار به‌طور محسوسی شار هگزان خالص افزایش می‌یابد. بنابراین این نوع غشا را می‌توان به‌عنوان یک غشا مقاوم جهت استفاده در صنایع تصفیه روغن معرفی نمود. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد با افزایش دما و فشار عملیاتی میانگین شار تراوه افزایش می‌یابد. یکی از مهم‌ترین نتیجه‌های که از این پژوهش به‌دست آمد حذف کامل ترکیبات آلی توسط غشا و دستیابی به هگزان خالص بود که می‌تواند به‌صورت مستقیم به سیستم استخراج روغن از دانه روغنی باز گردد. بر اساس نتیجه‌های این پژوهش می‌توان دمای 30 درجه سانتی‌گراد و فشار 2/5 مگا پاسکال را به‌عنوان بهترین دما و فشار جهت انجام فرآیند نانوفیلتراسیون میسلا روغن- هگزان در صنعت استخراج روغن پیشنهاد داد. زیرا علاوه‌بر شار بالا ($2/44 \text{ kg/m}^2\text{h}$)، گرفتگی غشا در این شرایط عملیاتی با سرعت کم‌تری اتفاق می‌افتد.

تشکر و قدردانی

به‌این وسیله از پژوهشکده علوم و فنون اتکا (مرکز پژوهش، توسعه و امور نخبگان سازمان اتکا) به جهت پیشنهاد و تامین اعتبار این پژوهش قدردانی می‌گردد.

منابع

1- رافع، ع. (1386). بررسی پتانسیل روش اولترافیلتراسیون در صمغ‌گیری، رنگبری و تصفیه روغن خام کلزا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد.

- 2-Snape, J.B., & Nakjima, M. (1996). Processing of agricultural fats and oils using membrane technology. *Journal of Food Engineering*, 30, 1-41.
- 3-Koseoglu, S.S., & Engelgau, D.E. (1990). Membrane applications and research in edible oil industry: An assessment. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 67, 239-249.
- 4-Pabby, A.K., Rizvi, S.S.H., & Sastre, A.M. (2009). *Handbook of Membrane; Separations Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*, Taylor and Francis Group, New York.
- 5-Coutinho, C.M., Chiu, M.C., Basso, R.C., Ribeiro, A.P., Gonçalves, B.L.A.G., Viotto, L.A. (2009). State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review, *Food Research International* 42, 536-550.
- 6-Koseoglu, S.S., Rhee, K.C., & Lusas, E.W. (1990). Membrane processing of crude vegetables oils: Laboratory scale membrane degumming, refining and bleaching. In D.R., Erickson (Ed.), *Proceedings of world conference on edible fats and oils processing: Basic principles and modern practices*. Champaign: American Oil Chemists' Society, 182-188.
- 7-De Moura, J.M.L.N., Goncalves, L.A.G., Petrus, J.C.C., & Viotto, L.A. (2005). Degumming of vegetable oil by microporous membrane. *Journal of Food Engineering*, 70, 473-478.
- 8- Wu, J.C.S., & Lee, E.H. (1999). Ultrafiltration of soybean oil/hexane extract by porous ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*, 154, 251-259.
- 9-Pagliero, C., Mattea, M., Ochoa, N.A., & Marchese, J. (2003). Recuperación de solvente a partir de miscelas aceite de girasol/hexano usando tecnología de membranas. In J.C.C., Petrus, L.M., Porto, J.B., Laurindo (Eds.), *4 Ibero-american congress in membranes science and technology*. Florianópolis: abstracts, 51.
- 10- Ribeiro, A.P.B., de Moura, J.M.L.N., Gonc, L.A.G., Petrus, J.C.C., & Viotto, L.A. (2006). Solvent recovery from soybean oil/hexane miscella by polymeric membranes. *Journal of Membrane Science*, 282, 328-336.
- 11- Weibin, C. Yanzhi, S., Xianglan, P., Jiding, L. & Shenlin, Z. (2011). Solvent Recovery from Soybean Oil/Hexane Miscella by PDMS Composite Membrane. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 19(4), 575-580.

- 12- Salehi, F., Razavi, S.M.A. & Elahi, M. (2011). Purifying anion exchange resin regeneration effluent using polyamide nanofiltration membrane. *Desalination*, 278, 31-35.
- 13- Bhanushali, D., Kloos, S., Kurth, C., & Bhattacharyya, D. (2001). Performance of solvent-resistant membranes for non-aqueous systems: Solvent permeation results and modeling. *Journal of Membrane Science*, 189, 1-21.
- 14- Rafe, A., & Razavi, S.M.A. (2009). Water and hexane permeate flux through UF polysulfone amide membrane. *Desalination*, 236, 39-45.
- 15- Ghosh, M. (2007). Review on recent trends in rice bran oil processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society*: 84, 315-324.
- 16- Rautenbach, R., & Albrecht, R. (1989). *Membrane Processes*. New York: Wiley
- 17- Alicieo, T.V.R., Mendes, E.S., Pereira, N.C., & Motta Lima, O.C. (2002). Membrane ultrafiltration of crude soybean oil. *Desalination*, 148, 99-102.
- 18- Darwish, N.A., Hilal, N., Al-Zoubi, H., & Mohammad, A.W. (2007). Neural networks simulation of the filtration of sodium chloride and magnesium chloride solutions using nanofiltration membranes. *Chemical Engineering Research and Design*, 85, 417-430.



Solvent Recovery from Canola Oil/Hexane Miscella Using Nanofiltration Membrane Process

*F. Salehi¹ and S.M.A. Razavi²

¹Former M.Sc Student, Dept. of Food Sciences and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, ²Professor, Dept. of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad

Received:2012-02-1 ; Accepted:2012-6-09

Abstract

*Corresponding author: E-mail: FS1446@Yahoo.com

High energy consumption during the recovery of solvent from oils miscella in traditional method, the experts urged is to find new ways to reduce energy consumption in oil extraction industry. Therefore in this study, the nanofiltration (NF) membrane potential to recycle of the hexane solvent from oil/hexane miscella of canola has been studied. In this work, the effect of transmembrane pressure (1.5, 2.0 and 2.5 MPa at three levels) and temperature (20, 30 and 40°C at three levels) on the efficiency of NF process was investigated. The polyamide tubular AFC40 membrane manufactured by PCI membrane systems in a pilot plant system was used in study. Results of temperature and pressure effects on the flux of pure hexane showed that hexane flux increases with increasing operating temperature and pressure. The advantages of using this type of membrane was the stability of the polyamide membrane against solvent and the results of flux profiles versus time showed little change over time in hexane flux is found. According to the type and membrane pore size used in this study were showed that only hexane able to pass through the pores of the membrane and entered in the permeate stream and other compounds found in miscella (including free fatty acids and triglycerides) as retentate back into the feed tank. The results mean the canola miscella flux was increases with increasing temperature and pressure. Because the select the appropriate type and pores size of membrane, fouling of the membrane removed with several times circulation with pure solvent through a membrane and the membrane can be re-used. According to the results, can be propose 30°C and 2.5 Mpa, as the best temperature and pressure for NF process of canola oil/hexane miscella in oil extraction industry.

Keywords: Canola, Flux, Hexane, polyamide, Solvent Recovery, Triglyceride