

روش‌های مدرن در استخراج هیدرات‌های کربن

نویسندگان

فرزانه انصاری

farzaneh_20031@yahoo.com

چکیده

کربوهیدرات‌ها (هیدرات‌های کربن یا مواد قندی) یکی از انواع مولکول‌های زیستی هستند که از نظر شیمیایی آن‌ها را پلی‌هیدروکسی آلدئید یا پلی‌هیدروکسی کتون می‌دانند. امروزه روش‌های مدرنی به‌منظور جداسازی و استخراج قندها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله، روش‌های استخراج غشایی و سیستم‌های فیلتراسیون در صنعت قند، استخراج با غشاء محافظت شده، استخراج با مایع در معرض فشار و با استفاده از آب داغ، استخراج با کمک امواج ماکروویو، استخراج با حلال فوق بحرانی، استخراج با استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی قوی، استفاده از امواج فراصوت یا اولتراسونیک به‌منظور استخراج بیشتر قندها؛ به همراه ارائه آخرین تحقیقات و مقالات موجود با هدف شناسایی بهترین روش استخراج دارای بازده بالایی از ماده شیرین کننده مورد نظر آورده شده‌است. تمامی روش‌های شرح داده شده در این مقاله دارای فواید و مضراتی هستند. در همه این روش‌ها، مقدار حلال مصرفی کم است یا استفاده نمی‌شود، سریع‌تر هستند، سمیت کم و حساسیت بالایی دارند و نسبت به روش‌های کلاسیک استخراج راحت‌تر است.

مقدمه

روش‌های نوین استخراج باید غیرسمی، سریع، مکانیزه و قابل اتوماسیون، دارای حساسیت بالا، از لحاظ هزینه به صرفه و از لحاظ محیطی ایمن باشند [۱]. در حال حاضر روشی وجود ندارد که همه شرایط بهینه را دارا باشد. در این مقاله روش‌های نوین استخراج کربوهیدرات‌ها از مواد غذایی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها شامل استخراج با کمک غشاء، استخراج با مایع در معرض فشار، استخراج با آب داغ در معرض فشار، استخراج با کمک امواج مایکروویو، استخراج با سیال فوق بحرانی، استخراج با استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی و امواج فراصوت قوی یا اولتراسوند است. این روش‌ها با بسیاری از نیازهای امروزی مانند ملاحظات زیست محیطی، سرعت و قابلیت اتوماسیون مطابقت دارند. استفاده از این روش‌ها موجب کاهش زمان استخراج، کاهش مقدار حلال مصرفی، افزایش بهره‌وری استخراج و بهبود کیفیت ترکیبات استخراج شده می‌شود. در این مقاله اصول عملیاتی این روش‌ها و شرایط انجام آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. روش‌های مورد بحث می‌توانند به شکل موثر برای استخراج کربوهیدرات‌ها و شیرین کننده‌ها در صنایع غذایی به کار گرفته شوند.

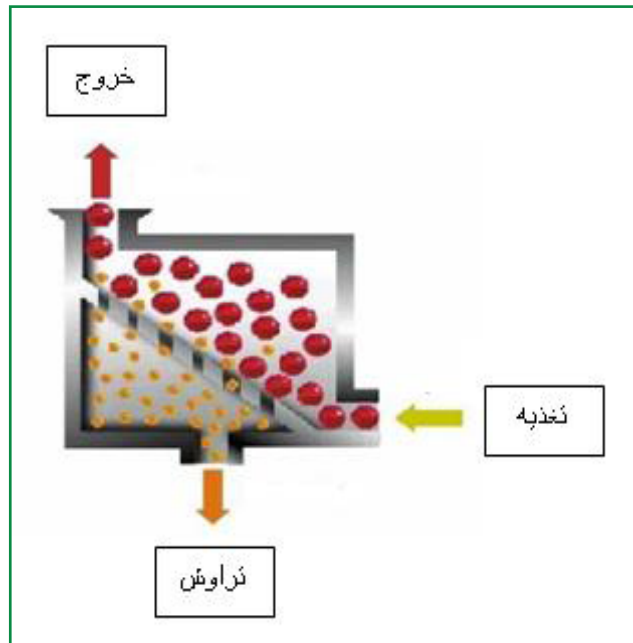
واژه‌های کلیدی

www.SID.ir
استخراج هیدرات‌های کربن، شیرین کننده، جداسازی

روش‌های نوین استخراج قندها

کلیات فیلتراسیون غشایی

کلیات فیلتراسیون غشایی عبارت است از جداسازی مواد از یک سیال با عبور دادن آن از یک جسم متخلخل، دارای الیاف یا دانه‌ای که مواد جامد را روی سطح یا داخل خود نگه می‌دارد و سیال را از خود عبور می‌دهد. در این روش، فرآیند جداسازی با استفاده از فیلتر یا صافی و براساس اندازه مواد جامد انجام می‌شود. این صافی‌های مولکولی غشاء نامیده می‌شوند. در شکل (۱) نمای یک واحد غشایی آورده شده‌است [۲].



شکل (۱): نمای یک واحد غشایی [۲].

غشاء چیست؟

لایه‌ای نازک است که می‌تواند اجزای یک سیال را به‌طور انتخابی از آن جدا کند. به عبارت دیگر، غشاء وسیله‌ای است که جداسازی را به‌طور کلی براساس اندازه مولکولی آن‌ها ممکن می‌سازد. در این فرآیند علاوه بر اندازه، عوامل دیگری نیز دخالت دارند [۲].

خواص غشاء

چگونگی کار غشاء با استفاده از خواص فیزیکی و شیمیایی آن مشخص می‌شود. خواص فیزیکی شامل اندازه و شکل حفره‌های موجود در غشاء و نوع آن‌ها است. خواص شیمیایی غشاء عبارتند از: بار سطحی آن، توانایی جذب اجسام دیگر و امکان انجام واکنش با دیگر مواد آب‌گریز و یا آب‌دوست است [۲].

جنس غشاء

غشاء می‌تواند از مواد مختلف آلی یا معدنی ساخته شده باشد که این مواد را می‌توان در گروه‌های پلیمر، سرامیک، فلز و مایع، دسته‌بندی کرد [۲].

مزایای فرآیندهای غشایی

- مزایای فرآیندهای غشایی عبارتند از:
 - صرفه‌جویی در مصرف انرژی؛
 - اشغال فضای کم برای انجام عملیات جداسازی؛
 - امکان ساخت غشاء در مدول‌های غشایی به اشکال و اندازه‌های مختلف؛
 - سریع‌تر بودن فرآیند غشایی نسبت به فرآیندهای جداسازی دیگر؛
 - بهره‌وری بالاتر نسبت به دیگر روش‌ها؛
 - امکان انجام عملیات در دمای معمولی (مناسب برای محلول‌های حساس به گرما به خصوص در صنایع غذایی، دارویی)؛
 - امکان انجام جداسازی‌هایی که با استفاده از روش‌های دیگر قابل انجام نیست؛
 - جدا نمودن آسان ذرات از محلول‌های بسیار رقیق؛
 - امکان ترکیب فرآیندهای غشایی با دیگر روش‌های جداسازی (این عمل باعث افزایش کارایی سیستم می‌شود)؛
 - عدم نیاز به افزودنی در بیشتر فرآیندهای غشایی؛
 - هزینه سرمایه‌گذاری کمتر نسبت به دیگر روش‌ها در مقیاس جهانی [۲].

ساختمان غشاء

ساختمان غشاء نقش اساسی در چگونگی کار آن دارد. به عبارت دیگر، چگونگی جداسازی اجزا که با استفاده از غشاء انجام می‌شود تابعی از ساختمان آن است. غشاهای جامد دو نوع ساختار دارند: غشاهای حفره‌دار یا متخلخل، غشاهای بدون حفره [۲].

مدول‌ها

برای استفاده از غشاء باید آن را در محفظه‌ای قرار داد. محفظه‌ای که غشاء در آن قرار می‌گیرد، مدول نام دارد. با استفاده از مدول‌های غشایی برای کارهای صنعتی و نیمه صنعتی سطح زیادی از غشاء در حجم کمی قرار خواهد گرفت.

نوع مدول و چگونگی طراحی آن به ویژه مسئله حرکت سیال در داخل آن نقش اساسی در چگونگی کار غشاء دارد. نقش‌های اساسی مدول‌ها عبارتند از: جا دادن غشاء در داخل خود و کنترل نمودن الگوی حرکت سیال.

انواع مدول‌ها عبارتند از: قاب و صفحه-پیچشی-لوله‌ای و فیبر تو خالی که از نظر هندسی دوتای اول مسطح و دوتای دیگر استوانه‌ای هستند. نمونه ای از مدول‌های لوله‌ای در شکل (۲) نشان داده شده‌است [۲].



شکل (۲): نمونه ماژول لوله‌ای که به‌عنوان محفظه غشاء استفاده می‌شود [۲].

برای پیشگیری از پدیده گرفتگی غشاء می‌توان از عوامل زیر کمک گرفت:

- انتخاب غشاء مناسب؛
- پیش تصفیه شربت ورودی به غشاء؛
- بهبود شرایط عمل؛
- احیای مجدد غشاء به روش‌های شیمیایی یا مکانیکی.

انواع فیلتراسیون‌های غشایی

فرآیندهای غشایی رشد سریعی در روش جداسازی اجزاء داشته است. اگر چه فرآیندهای غشایی نوع جدیدی از روش‌های جداسازی هستند اما چندین فرآیند غشایی به خصوص فرآیندهای غشایی در معرض فشار شامل میکرو فیلتراسیون^۶، اولترا فیلتراسیون^۷، نانوفیلتراسیون^۸ و اسمز معکوس^۹ قبلاً در مقیاس صنعتی فرآیندهای غشایی و زیست فناوری به کار گرفته شده‌است. غشاها ممکن است به‌عنوان فیلترهای مرسوم شناخته شوند اما با تعداد بیشتری مش مناسب و یا منافذ کوچکتر و بیشتر برای افزایش قابلیت جداسازی ذرات بسیار کوچک حتی در حد مولکول استفاده می‌شوند [۲].

MF و UF فرآیندهای اصلی فیلتراسیون هستند که در آن‌ها اندازه ذرات، معیاری برای نفوذ یا جداسازی است. در مقابل غشاهای RO اجزایی در حد مولکول را جدا می‌کنند و اساس جداسازی در آن‌ها ماهیت شیمیایی ذرات است [۲].

NF در اصل یک فرآیند غشایی مشابه RO است. همان RO با فشار بسیار پایین است [۲].

استفاده از RO و NF برای پیش تغلیظ شربت‌های رقیق در تولید شکر از چغندر قند و نیشکر در حال افزایش است. تفاوت اصلی بین این دو فرآیند در جداسازی کاتیون‌ها و آنیون‌های یک ظرفیتی است. در سیستم RO این ذرات به‌طور کامل جدا می‌شوند در حالی که در سیستم NF این جداسازی به‌صورت جزئی انجام می‌شود [۲].

■ میکرو فیلتراسیون

روشی است برای جداسازی ذرات کوچک با اندازه ۰/۱ تا ۱۰ میکرون مانند: باکتری‌ها، کلوئیدها، رنگدانه‌ها که با میکروسکوپ نوری یا الکترونی قابل مشاهده هستند.

این فرآیند برای جداسازی موادی با اندازه کلوئیدی است که از سازوکار غربالی برای باقی ماندن ذرات بزرگتر از اندازه قطر حفرات استفاده می‌کند. در این فرآیند از پلیمرهای طبیعی و سنتزی مانند نیترات یا استات سلولز، پلی آمیدها و پلی سولفون‌ها استفاده می‌شود. علاوه بر آن مواد معدنی مانند اکسیدهای فلزی، شیشه و کربن با پوشش زیرکونیا نیز برای تولید این غشاها به کار می‌روند. این غشاها در صنایع غذایی کاربرد وسیعی دارند.

■ اولترا فیلتراسیون

بسیار شبیه میکرو است اما برای جداسازی ماکرو مولکول‌ها با اندازه حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر به کار می‌رود. مثل ویروس، پروتئین، لیپید. اولترا فیلتراسیون بیشتر در جداسازی محلولی که به‌صورت مخلوطی از مواد مطلوب و نامطلوب است، به کار می‌رود. اولترا

انواع فرآیندهای غشایی

فرآیندهای غشایی در معرض فشار به دو صورت فیلتراسیون انتها بسته و فیلتراسیون جریان عرضی یا متقاطع انجام می‌گیرد.

■ فیلتراسیون انتها بسته: یک جریان ورودی به‌صورت عمود بر غشاء وارد شده و تنها یک جریان (فاز تراویده) مدول را ترک می‌کند. در این روش ذراتی که قادر به عبور از غشاء نیستند در پشت غشاء جمع و لایه‌ای را تشکیل می‌دهند. این لایه در برابر عبور مواد مقاومت می‌کند و در نتیجه اگر فشار ثابت باقی بماند جریان عبوری کاهش می‌یابد.

■ فیلتراسیون جریان عرضی: یک جریان به‌صورت مماس بر غشاء وارد می‌شود و دو جریان مدول را ترک می‌کند. یکی به‌عنوان فاز تراویده و دیگری به‌عنوان فاز ناتراویده.

موادی که از غشاء عبور می‌کنند، فاز تراویده^۳ را تشکیل می‌دهد و فازی که غشاء از عبور آن ممانعت می‌کند، فاز ناتراویده^۴ نامیده می‌شود [۲].

■ گرفتگی غشاء^۵

گرفتگی غشاء در اثر قرارگیری نامناسب ذرات معلق و نامحلول در سطح خارجی یا داخلی غشاء ایجاد و باعث کاهش کارایی غشاء می‌شود. این پدیده گاهی موجب کاهش قطر منافذ غشاء و گاهی باعث مسدود شدن آن‌ها و در برخی مواقع سبب ایجاد لایه‌ای بر سطح غشاء می‌شود که در برابر عبور سیال مقاومت ایجاد می‌کند. گرفتگی با متوقف کردن فرآیند فیلتراسیون از بین نمی‌رود. گرفتگی بیشتر محدود کننده اصلی استفاده از غشاء در کارخانه‌های مواد غذایی و زیست فناوری است. گرفتگی به‌صورت کاهش منطقه فعال غشاء دیده شده که باعث کاهش جریان تا حد زیر ظرفیت نظری غشاء می‌شود [۲].

■ عوامل ایجاد کننده گرفتگی در غشاء

عواملی که در غشاها گرفتگی ایجاد می‌کنند عبارتند از:

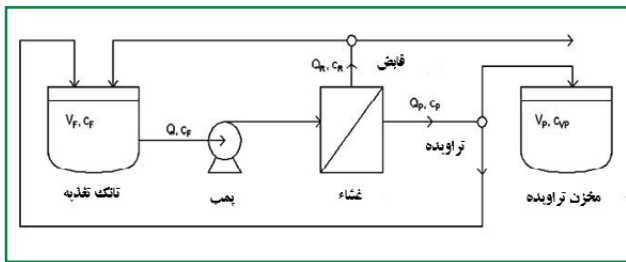
- ماهیت و غلظت حلال و حل شونده؛
- نوع غشاء؛
- اندازه منافذ غشاء؛
- ویژگی‌های سطحی و مواد تشکیل دهنده غشاء؛
- نیروی هیدرودینامیک مدول‌های غشاء [۲].

■ تأثیر گرفتگی غشاء بر عملکرد سیستم

گرفتگی غشاء سبب ایجاد تأثیرات عدیده‌ای بر عملکرد سیستم می‌شود که عبارتند از:

- کاهش شار خروجی از غشاء در طول زمان؛
- تغییر پس دهی مواد توسط غشاء؛
- کاهش عملکرد سیستم؛
- کاهش عمر غشاء؛
- افزایش فشار لازم برای اتمام فرآیند؛
- نیاز بیشتر به تمیز کردن غشاء [۲].

■ راه کارهای پیشگیری در برابر پدیده گرفتگی غشاء



شکل (۴): سیستم خالص‌سازی با استفاده از فرآیند اسمز معکوس [۲].

■ تصفیه غشایی شربت در صنعت قند

فیلتراسیون غشایی، عبارت است از جداسازی مواد از یک سیال با عبور دادن آن از یک جسم متخلخل، دارای الیاف یا دانه‌ای که مواد جامد را روی سطح یا داخل خود نگه می‌دارد و سیال را از خود عبور می‌دهد. میکرو فیلتراسیون و اولترا فیلتراسیون، فرآیندهای اصلی فیلتراسیون هستند که اندازه ذرات، معیاری برای نفوذ یا جداسازی در آن‌ها است. در مقابل غشاهای اسمز معکوس اجزایی در حد مولکول را جدا می‌کنند و اساس جداسازی در آن‌ها ماهیت شیمیایی ذرات است. نانوفیلتراسیون نیز در اصل یک فرآیند غشایی مشابه اسمز معکوس است.

در صنعت قند یکی از مراحل اصلی، تصفیه یا جداسازی ناخالصی‌ها و ترکیبات غیرقندی از ساکارز است که نتیجه آن دستیابی به بیشترین خلوص شربت است. متاسفانه فرآیند کربناتاسیون (آهک‌خور) مرسوم، همان‌طور که اشاره شد مشکلات عدیده‌ای را از لحاظ مصرف انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی ایجاد می‌کند. از این رو، مطالعه پیرامون روش‌های مدرن، مانند فناوری غشایی برای حذف یا تکمیل بخشی از روش‌های موجود به‌منظور افزایش عملکرد تصفیه، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش مصرف انرژی، حائز اهمیت است. اگر چه فرآیندهای غشایی نوع جدیدی از روش‌های جداسازی هستند، اما رشد سریعی در این زمینه داشته‌اند. استفاده از غشاها به‌منظور جداسازی در مراحل مختلف تولید در صنعت قند کاربرد دارد که در زیر به آن‌ها اشاره شده‌است:

■ کاربرد جداسازی غشایی در تصفیه شربت خام

فرآیند کربناتاسیون برای تولید شکر از چغندر کافی و مناسب است اما این فرآیند مسائلی در رابطه با انرژی مورد نیاز، مواد مورد نیاز، حمل و نقل مواد و دفع لجن کربناتاسیون ایجاد می‌کند. لذا فرآیندهایی با استفاده از MF و UF جریان عرضی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا قابلیت آن‌ها در تصفیه شربت خام و در نتیجه کاهش یا حذف آهک در صنعت چغندر قند مشخص شود.

در مطالعات انجام شده روشی برای تولید مستقیم شکر سفید بدون استفاده از فرآیند تصفیه متداول را پیشنهاد نموده‌اند. در این فرآیند هیدروکسید سدیم به شربت خام اضافه می‌شود تا PH شربت به ۷ برسد و با این عمل هیدرولیز

فیلتراسیون تا حدی بستگی به عواملی چون بار و اندازه ذره دارد. انواع گونه‌هایی که از این غشاها برگشت داده می‌شوند، شامل مولکول‌های زیستی، پلیمرها و ذرات کلوئیدی است.

■ نانوفیلتراسیون

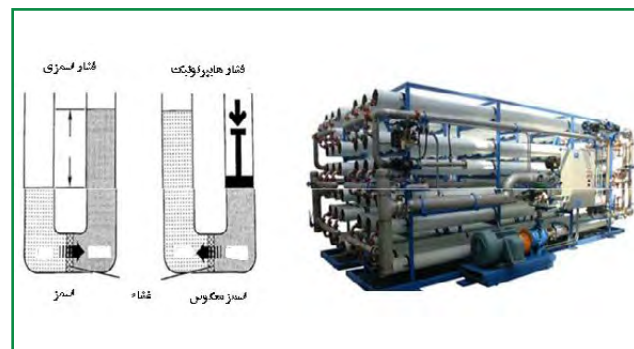
برای جداسازی مولکول‌ها با اندازه ۰/۵ تا ۱۰ نانومتر به کار می‌رود. مثل گلوکز.

نانوفیلتراسیون شکلی از فیلتراسیون است که غشاها را به‌منظور جداسازی سیالات یا یون‌های گوناگون به کار می‌گیرد. نانوفیلتراسیون به‌صورت اسمز معکوس ملایمتری عنوان می‌شود، چرا که حفرات غشایی بزرگتری در مقایسه با غشاهای اسمز معکوس دارد. به دلیل اینکه این غشاها در فشارهای بسیار پایینتری کار کرده و برخی از مواد معدنی را از خود عبور می‌دهند، NF می‌تواند در مواردی که حذف بالای مواد آلی مورد نیاز است و همچنین در حذف متوسط مواد معدنی کاربرد داشته باشد. این روش قادر به تغلیظ شکر، نمک‌های دوظرفیتی و پروتئین‌ها است. مزیت این روش بر اسمز معکوس این است که نانوفیلتراسیون به‌طور معمول در بازافت‌های بالاتری کار می‌کند در نتیجه، در آب کل مصرفی، صرفه‌جویی خواهد شد که ناشی از سرعت جریان با غلظت پایین‌تر است؛ ولی این روش در مورد ترکیبات آلی با جرم مولکولی پایین مانند متانول، مؤثر نیست. نانوفیلتراسیون از نظر هزینه انرژی و دفع یون و ابعاد حفرات، در بین روش‌های دیگر شرایط بهینه‌ای را ایجاد کرده است.

■ اسمز معکوس

فرآیند اسمز معکوس، قادر به حذف جامدات حل شده، باکتری، ویروس و دیگر مواد میکروبی داخل آب است. اسمز معکوس در اصل یک فرآیند غشایی نفوذی است که براساس نیرو محرکه فشاری عمل می‌کند. به‌طور کلی فاز تراویده حاصل از اسمز به‌طور معمول آب خالص است در شکل‌های (۳) و (۴) سیستم خالص‌سازی با استفاده از فرآیند اسمز و اسمز معکوس نشان داده شده‌است.

این غشاها، کوچکترین ساختار حفرات با اندازه قطر حفرات در محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ نانومتر را دارا هستند. در این غشاها بیشتر از ۹۵ تا ۹۹ درصد از نمک‌های معدنی و ترکیبات آلی باردار شده به دلیل دافعه بار الکتریکی سطح غشاء دفع می‌شوند.



شکل (۳): سیستم فرآیند جداسازی اسمز معکوس (شکل سمت راست) و نمای چگونگی انتقال از میان غشاء در فرآیند جداسازی اسمز معکوس (شکل سمت چپ) [۲].

ناخالصی‌های درشت مولکول است. گروهی از پژوهشگران مشخص کردند یک ترکیب موفق از سیستم تصفیه متداول و UF باعث کیفیت بسیار بالای شربت می‌شود. در این روش، شربت پس از سختی‌گیری از سیستم فیلتراسیون غشایی عبور می‌کند؛ در نتیجه یک شربت تصفیه شده شفاف حاصل می‌شود [۴].

■ کاربرد جداسازی غشایی در تصفیه شربت غلیظ در فرآیند تبخیر شربت تصفیه شده، مقدار قابل توجهی از مواد غیر قندی که در شربت تصفیه شده محلول بودند در شربت غلیظ نامحلول می‌شوند، به همین دلیل شربت غلیظ به‌طور معمول کدر و مات است. عبور دادن شربت غلیظ از سیستم NF با منافذ ۵۰-۲۰ آنگستروم علاوه بر رنگبری شربت، موجب افزایش قابلیت ایجاد بلور در فاز تراویده نیز می‌شود [۳].

■ کاربرد جداسازی غشایی در رنگبری با استفاده از تعویض یون استفاده از رزین‌های تعویض یونی بهترین روش در رنگبری از شربت است. برای فعال‌سازی مجدد رزین، آب نمک قلیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که باعث ایجاد فاضلاب حاوی کلرید سدیم می‌شود. برای حل این مشکل به‌منظور بازیافت آب نمک می‌توان از یک غشای مارپیچی استفاده کرد. فاز تراویده دارای قسمت عمده نمک بازیافت شده است که برای فعال‌سازی مجدد رزین قابل استفاده است [۳].

■ سیستم‌های میکرو فیلتراسیون و اولترا فیلتراسیون در صنعت قند^{۱۰} نتایج حاصل از تحقیقات هینکوا و همکاران روی سیستم MF/UF نشان می‌دهد در فشارهای بالاتر، سرعت تراوش نیز بالاتر می‌رود که در این صورت منافذ بزرگ بسیار سریع مسدود می‌شوند و جریان فاز تراویده کاهش می‌یابد. برای کاهش این اثر لازم است سیستم در فشارهای پایین‌تر آغاز به کار کند. با مقایسه مقدار موجود در شربت خام قبل و بعد از فیلتراسیون در شرایط مختلف (فشار، دما، سایز منافذ غشاء) مشاهده شده است که ذرات موجود در فاز تراویده، در دمای بالاتر از ۶۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابند اما زمان لازم برای تمیز کردن غشاء سه برابر می‌شود. گمان می‌رود این مساله ناشی از تجزیه حرارتی شربت خام و شکل‌گیری لایه‌ای روی غشاء بوده که جداسازی آن مشکل است [۳].

در این تحقیق نتایج قابل توجهی در افزایش خلوص شربت خام به‌دست آمده است. نتیجه مهم دیگر، کاهش محتوای ناخالصی‌های رنگی به میزان ۵۰ الی ۷۰ درصد شربت خام اصلی و ۵۰ الی ۶۰ درصد در شربت تغلیظ شده است. پس‌زنی مواد رنگی به‌طور متوسط ۶۱ درصد در دمای ۳۰ درجه سلسیوس و ۵۵ درصد در دمای ۵۰ درجه سلسیوس است. در تحقیقات روی سیستم اولترا فیلتراسیون چنین نتیجه شد که:

ساکارز و تولید اینورت در مراحل بعدی محدود می‌شود. سپس شربت خام با استفاده از میکرو فیلتراسیون با غشای آلی با منافذی به قطر ۰/۲ میلی‌متر صاف و شربت از میان یک رزین کاتیونی سدیمی عبور داده می‌شود. در نهایت، شربت در حرارت کم تغلیظ شده و کریستالیزاسیون سرد روی آن انجام می‌گیرد. نتیجه نشان می‌دهد که می‌توان به‌صورت مستقیم و بدون نیاز به مرحله تصفیه دیگر، شکر سفید با قابلیت عرضه به بازار را از اولین مرحله کریستالیزاسیون به‌دست آورد. انرژی مورد نیاز این فرآیند نسبت به فرآیند متداول بسیار کمتر است [۳]. با استفاده از UF می‌توان درجه خلوص شربت را به همان حدی رساند که روش‌های تصفیه مرسوم ایجاد می‌کنند. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهند که استفاده از UF برای تصفیه و رنگبری شربت خام امیدوارکننده است [۴].

■ کاربرد جداسازی غشایی در تصفیه آب پرس تفاله آب پرس تفاله محلولی بسیار رقیق بوده که حاوی ۳-۴ درصد از کل شکر ورودی به کارخانه است. بعد از آن که تفاله پرس شد، آب خارج شده از آن به دیفوزیون برگشت داده می‌شود که با هدایت آن به مرحله استخراج حدود ۹۰ تن شکر و ۳۰۰ تن ناخالصی به‌دست می‌آید. می‌توان از فیلتراسیون غشایی، هم برای استریل کردن این آب و هم برای جدا کردن مواد جامد معلق استفاده کرد [۵].

■ کاربرد جداسازی غشایی در تغلیظ شربت خام حدود ۵۰ درصد انرژی مورد استفاده در تولید شکر برای تبخیر آب در تبخیرکننده‌ها مصرف می‌شود؛ در نتیجه بیشترین قابلیت در کاهش انرژی مصرفی، در تغلیظ شربت رقیق تصفیه شده با استفاده از فیلتراسیون غشایی دیده می‌شود. با این روش می‌توان شربت رقیق تصفیه شده را از ۱۴-۱۲ درصد ماده خشک تا ۳۰ درصد ماده خشک تغلیظ کرد. فشار اسمزی مورد استفاده حدود ۳/۵ مگاپاسکال است [۵].

■ کاربرد جداسازی غشایی در صافی خلاء در فرآیند تصفیه متداول، لجن حاصل از دکانتور به صافی خلاء ارسال می‌شود تا قند موجود در آن بازیافت شود. محلول صاف شده بسیار تیره است لذا نمی‌توان آن را به‌طور مستقیم به تبخیرکننده ارسال کرد. لذا به مخزن شربت خام برگشته و دوباره مراحل تصفیه را طی می‌کند. بازگشت این محصول به مخزن شربت خام مضر است. برای غلبه بر این مشکل، ناخالصی‌های شربت صاف شده را با فرآیند رسوب دادن جدا می‌کنند. در روش جدید، این شربت صاف شده را با اولترا فیلتراسیون تصفیه می‌کنند. به این ترتیب مقدار خلوص به‌طور متوسط ۳ برابر افزایش می‌یابد [۳].

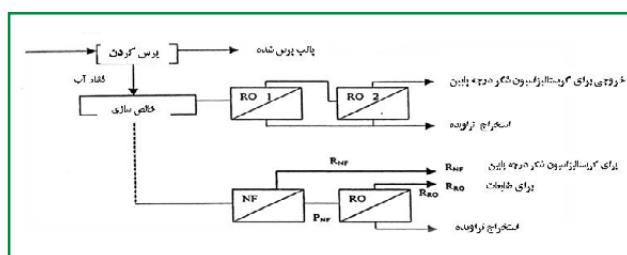
■ کاربرد جداسازی غشایی در تصفیه شربت تصفیه شده شربت تصفیه شده هنوز حاوی باقیمانده‌های باکتریایی و



شکل (۵): یونیت میکرو و الترا فیلتراسیون [۵].

■ سیستم‌های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در صنعت قند^{۱۱} نتایج حاصل از تحقیقات هینکوا و همکاران، روی سیستم NF نشان می‌دهد این سیستم باعث تغلیظ شربت و همچنین حذف ناخالصی‌هایی می‌شود که ضایعات شکر و ورود آن به ملاس را افزایش می‌دهند (مانند کاتیون‌های سدیم و پتاسیم). میزان جداسازی قند در محدوده ۷۵-۷۳ درصد و ناخالصی در محدوده ۸۳-۲۹ درصد متغیر است [۳].

از کاربردهای سیستم RO در بخش تغلیظ شربت تصفیه شده، شفاف‌سازی شربت تصفیه شده است که پیش‌تر توضیح داده شد. در تصفیه آب پرس تغاله سیستم RO می‌تواند فاز تراویده‌ای (که به‌طور تقریبی آب خالص است) برای استفاده مجدد در دیفوزیون تولید کند. برای این منظور از سیستمی متشکل از دو غشای RO استفاده می‌شود که در آن فاز ناتراویده حاصل از دو RO می‌تواند به‌صورت مستقیم وارد کریستالیزاسیون درجه پایین شود، فاز تراویده RO اول به RO دوم رفته و فاز تراویده حاصل از RO دوم به دیفوزیون می‌رود. امروزه غشای RO اول با یک سیستم NF جایگزین می‌شود که در این سیستم فاز ناتراویده حاصل از NF که شامل قند و ناخالصی‌هایی با وزن مولکولی بالا (پروتئین، نمک‌های چند ظرفیتی و غیره) است می‌تواند به‌طور مستقیم وارد کریستالیزاسیون درجه پایین شود و فاز تراویده آن به RO می‌رود. فاز تراویده حاصل از RO به دیفوزیون برگشته و فاز ناتراویده آن به دلیل آن که شامل مواد غیرقندی با وزن مولکولی پایین است، وارد ضایعات می‌شود. نمای سیستم RO/NF و ترتیب قرار گرفتن آن‌ها در شکل‌های (۶) و (۷) نشان داده شده‌است [۴و۵].



شکل (۶): نمای سیستم RO/NF در صنعت قند [۵].

- شربت حاصل از این سیستم خلوص بیشتری را نسبت به روش آهک‌خور مرسوم ایجاد می‌کند و در این سیستم حدود ۸۸ درصد پلی‌ساکاریدها حذف می‌شود.

- فاز تراویده حاصل از این سیستم از نظر رنگ، شفافیت، خلوص و محتوای CaO در مقایسه با شربت رقیق به‌دست آمده از روش مرسوم آهک‌خور کیفیت بهتری دارد.

- با افزایش مدت اقامت شربت در سیستم UF درجه خلوص، محتوای CaO و شفافیت بهبود می‌یابد.

- در بیشتر موارد، افزایش دما تاثیر مثبتی بر جداسازی ندارد اما بهتر آن است که در دمای ۳۰ درجه سلسیوس انجام شود.

- به دلیل تاثیر فشار بر فرآیند UF، باید بدون توجه به هزینه‌های آن، فشار در بالاترین سطح خود در طول فرآیند نگه داشته شود [۶].

نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط هاماجیا و همکاران بر سیستم UF نشان می‌دهد که درصد رنگ‌بری شربت خام با استفاده از این سیستم افزایش و با کاهش قطر منافذ غشا، جریان فاز تراویده کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش درجه حرارت، فاز تراویده افزایش می‌یابد. تکمیل رنگ‌بری شربت نیازمند فرآیندهای بعدی با استفاده از جاذب‌ها یا تعویض کننده‌های یونی است [۷].

نتایج حاصل از تحقیقات حکیم‌زاده و همکاران روی سیستم MF نشان می‌دهد که در تمامی سطوح فشار، مقادیر موجود در جریان فاز تراویده در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بیشتر از این مقادیر در دمای ۶۰ درجه سلسیوس است. نتایج حاصل از سیستم UF نشان می‌دهد:

- جریان فاز تراویده با افزایش فشار و دما افزایش می‌یابد.
- در سیستم UF انواع مختلف جریان فاز تراویده در سطوح مختلف دما و فشار، کاهش اندکی در مقایسه با سیستم MF یافتند.

این نکته حائز اهمیت است که شربت رقیق در صورت استفاده از دو سیستم MF و MF/UF به‌طور هم‌زمان و به دنبال یکدیگر، بهبود بیشتری خواهد یافت [۸].

نتایج حاصل از تحقیقات بر سیستم MF نشان می‌دهد که فرآیند میکرو فیلتراسیون در محدوده دما (در سه سطح ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) و فشار (در چهار سطح ۰، ۱/۵، ۱ و ۱/۵ بار) مورد بررسی، روی کاهش رنگ و کدورت به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار بود. درباره بقیه صفات، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

در نهایت دمای ۷۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ بار به‌عنوان شرایط مناسب برای فرآیند میکرو فیلتراسیون تعیین شد. اجرای فرآیند میکرو فیلتراسیون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ بار روی شربت باعث کاهش ۵۶/۲۵ درصد کدورت، ۱۶/۶۷ درصد ویسکوزیته، ۶/۴۹ درصد رنگ و افزایش ۰/۸۷ واحدی درجه خلوص شید [۹]. در شکل (۵) تصویر یک یونیت میکرو و الترا فیلتراسیون آورده شده‌است.

این صافی‌ها دارای انواع مختلفی هستند که عبارتند از:
الف- صافی خلاء: استوانه دواری است که قسمتی از آن در یک مخزن ناودانی غوطه‌ور است و از صفحات مستطیلی شکل، صفحات مشبک فلزی پوشیده شده از صافی تشکیل شده‌است. در هر صفحه مستطیلی، تعدادی سوراخ وجود دارد که هر سوراخ در داخل استوانه به یک لوله متصل‌اند. این لوله‌ها به یک لوله اصلی متصل بوده و در نهایت به پمپ خلأ منتهی می‌شوند.
 شربت اشباع همراه با رسوبات وارد مخزن ناودانی می‌شود و خلاء، این شربت را از منافذ پارچه صافی به داخل استوانه مکش می‌کند و از طریق مجاری مخصوص به خارج منتقل می‌شود. گل نیز به صورت لایه‌ای روی استوانه دوار قرار می‌گیرد و با فواره‌های آب شسته می‌شود.

یک صافی خلاء به تنهایی جواب‌گوی کارخانه و به‌خصوص رسوبات اشباع I نیست. لذا دو صافی خلاء در کارخانه وجود دارد که همواره یکی در حال کار و دیگری در حال تعمیر و آماده‌سازی است. برای رفع این مشکل، کار این صافی را با یک دکانتور تلفیق می‌کنند. یعنی ابتدا شربت اشباع I را وارد دکانتور شده و سپس گل غلیظ رسوب کرده را به این صافی هدایت می‌کنند. گل و شربت خارج شده از دکانتور وارد این صافی می‌شود [۴].

ب- صافی در معرض فشار: از اجتماع قاب‌ها تشکیل شده که قاب‌ها به صورت یک در میان در یک پارچه صافی پیچیده شده‌اند؛ در نتیجه این قاب‌ها تشکیل یک محفظه می‌دهند. هر صفحه دارای سوراخی است که در مجموع مجرای را برای ورود شربت به همراه گل شکل می‌دهد. شربت همراه با گل از این مجرا وارد قاب‌های تو خالی شده، پس از قرار گرفتن در محفظه‌های مذکور از منافذ پارچه صافی عبور کرده و صاف می‌شود.

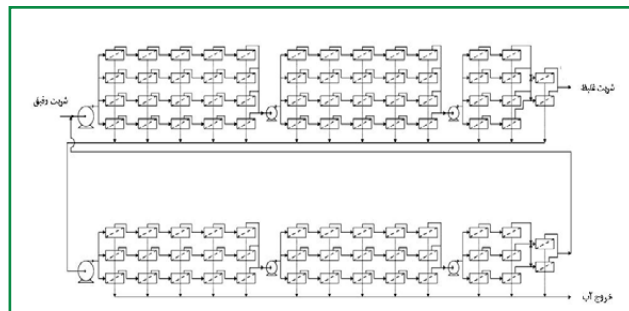
شربت صاف شده از شیار صفحات به سمت پایین جریان پیدا کرده و خارج می‌شود. گل باقیمانده در صافی حدود ۸-۷ درصد قند داشته که به منظور بازیابی آن باید شستشو شود. شربت وارد شده به این صافی در مرحله اول از دکانتور و صافی خلاء و در مرحله دوم از اشباع II است [۴].

ج- صافی مکانیکی: این صافی‌ها با فشار پایین کار می‌کنند. از یک سری صفحات تشکیل شده‌اند؛ لوله‌ای در بالای آن‌ها قرار دارد که همگی در داخل کیسه صافی قرار می‌گیرند. شربت پس از نفوذ به داخل کیسه صافی، صاف می‌شود و از طریق شکاف لوله در قسمت فوقانی هر صفحه وارد لوله مربوطه شده و از طریق مجرای خروجی تخلیه می‌شود. این صافی‌ها مقادیر جزئی رسوب را جدا کرده و تولید شربتی به‌طور کامل شفاف می‌کنند. به عبارت دیگر، کار صافی‌هایی که رسوبات درشت را از شربت جدا نموده‌اند کنترل می‌کند.

شربت حاصل از اشباع II پس از عبور از صافی در معرض فشار، از صافی مکانیکی عبور می‌کند. به‌منظور حذف ذرات تشکیل شده در هنگام تغلیظ شربت حاصل از اوپراسیون نیز از این صافی عبور داده می‌شود [۴ و ۱۱].

د- صافی شمعی: در کارخانه‌های قند از صافی شمعی نیز استفاده می‌شود که به صورت لوله‌های مشبک پیچیده شده در پارچه هستند. لوله‌ها درون یک استوانه با انتهای مخروطی قرار دارند.

سیستم‌های RO/NF در صنعت قند به اشکال متفاوتی طراحی می‌شوند:



شکل (۷): ترتیب قرار گرفتن سیستم‌های RO/NF [۱۰].

بنابراین، آب دارای ۱ تا ۳ درصد ماده خشک بوده که ۶۰ تا ۸۰ درصد آن قند و ۲۰ تا ۴۰ درصد نمک، کلونیدها و ناخالصی‌های مرتبط است. هینکوا و همکارانش در سال ۲۰۰۲، پتانسیل جداسازی غشاها را مورد بررسی قرار دادند. به این منظور آزمون را طی دو مرحله با استفاده از سیستم اسمز معکوس به همراه فیلتراسیون ابتدایی با کمک نانوفیلتر انجام دادند. با این روش مقدار ملاس نسبت به روش قبل کاهش می‌یابد زیرا کاتیون‌های تک ظرفیتی سدیم و پتاسیم به راحتی می‌توانند از NF عبور کرده و پس از آن از طریق فاز ناتراویده وارد ضایعات شوند که عامل اصلی تولید بیشترین میزان ملاس هستند [۵].

■ استفاده از صافی‌ها در صنعت قند

شربت‌های کارخانه قند چندین بار صاف می‌شوند. شربت‌های اشباع I و II به‌منظور حذف مقادیر زیاد رسوبات از صافی عبور می‌کنند. شربت اشباع II یک بار دیگر نیز به‌منظور حذف کدورت و ناخالصی‌های بسیار ریز باقیمانده از صافی‌های اولیه صاف می‌شود و بالاخره پس از انجام اوپراسیون شربت غلیظ خروجی نیز برای حذف ذرات تشکیل شده در هنگام تغلیظ از صافی‌های مکانیکی عبور داده می‌شود.

به‌طور کلی، دو دسته صافی در صنعت قند مورد استفاده قرار می‌گیرد. دسته اول شامل صافی‌هایی است که قسمت عمده رسوبات شربت را جدا می‌کنند؛ مانند صافی در معرض فشار و صافی خلاء. دسته دوم صافی‌هایی که کدورت و ذرات بسیار ریز داخل شربت را جدا می‌کنند؛ مانند صافی‌های مکانیکی که به‌طور معمول در مراحل بعدی صاف کردن مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴].

ویژگی‌های صافی خوب در صنعت قند عبارتند از:

- محلول ساکارز را از خود عبور دهد؛ اما از عبور مواد منعقد شده و رسوبات به‌طور کامل ممانعت کند؛

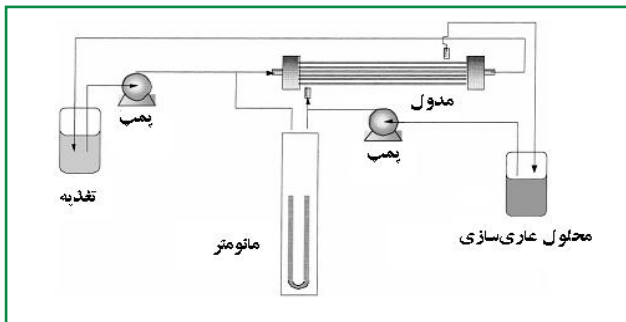
- با توجه به حجم زیاد رسوبات، شستشوی رسوبات از صافی آسان باشد؛

- به نیروی انسانی کمی نیاز داشته باشد؛

- ضمن تأمین ظرفیت مورد نیاز فضای کمی اشغال کند؛

- به قطعات یدکی کمتری نیاز داشته باشد؛

- عمل صاف کردن باعث هیچ‌گونه تحوّل در محصول نشود [۴ و ۱۱].



شکل (۹): نمای محافظه انتقال HFSLM [۱۳].

■ جنبه‌های اساسی انتقال از میان SLM

- غشاء یک حلال آلی است که با نیروهای موئینه در سوراخ‌های یک غشای متخلخل آب‌گریز نگهداری می‌شود.
- کمپلکس حل شونده با حاملی که در فاز غشاء وجود دارد، انجام می‌گیرد.
- کمپلکس با انتشار از غشاء عبور می‌کند.
- عمل باز شدن کمپلکس انجام و حل شونده در آن سوی تراویده در فاز آبی جدا می‌شود.

■ عوامل موثر در عبور مواد از میان غشاء SLM

عوامل موثر در عبور مواد از میان غشاء SLM عبارتند از:

- نیروی رانش و مقاومت در برابر انتقال؛
- نوع حامل و ویژگی‌های آن برای مثال، قدرت ترکیب شدن و جدا شدن از حالت ترکیب؛
- قدرت جدا نمودن حل شونده؛
- قابلیت تحرک حامل؛
- ویسکوزیته حلال؛
- شرایط هم زدن؛
- درجه حرارت.

■ جداسازی فروکتوز از میان کمپلکسی از قندها به روش SLM

دی لوسیو و همکارانش [۱۳] فروکتوز را از میان ترکیبی از قندها به روش SLM جداسازی کردند:

- آن‌ها از روش SLM با استفاده از صفحات تخت^{۱۸} استفاده نمودند. به این ترتیب که ابتدا صفحات تخت اکیورل^{۱۹} تجاری را (ضخامت ۲۵ میکرومتر و اندازه منافذ ۰/۲ میکرومتر) در محلول حامل ۲-نیترو فنیل اکتیل اتر غوطه‌ور کردند.
- صفحات را به مدت ۲ ساعت در خلاء قرار دادند.
- اجازه دادند که اضافه حلال تبخیر شود و صفحات را در محفظه دیالیز قرار دادند.
- هم‌زمان محلول عاری‌سازی^{۲۰} و تغذیه در محفظه دیالیز ریخته و قسمت محلول هم زده شد.

شربت با فشار وارد استوانه شده و در اثر فشار، گل پشت پارچه می‌ماند، شربت وارد لوله می‌شود و در اثر فشار بالا می‌رود [۴].

■ جداسازی گزیلوز با استفاده از نانوفیلتراسیون

علاوه بر استفاده از صافی‌های غشایی در صنعت قند از این نوع غشاها می‌توان به‌منظور جداسازی دیگر مشتقات شیرین نیز استفاده نمود. جداسازی گزیلوز از گلوکز به‌منظور تولید تجاری گزیلوتل از گزیلوز خالص دارای اهمیت است. روش NF روشی مقرون به صرفه و آسان برای جداسازی پنتوزها از هگزوزها است. سیگومان و همکارانش با استفاده از روش نانوفیلتراسیون یک مدل رفرلاکس را طراحی نمودند که در آن تراویده^{۱۲} و قابض^{۱۳} به داخل تانک تغذیه باز گردانده می‌شود. در فشار ۲ تا ۴۰ بار و دمای ۵۰ درجه سلسیوس و NF ۲۷۰ جداسازی گزیلوز از هگزوزها را براساس وزن مولکولی و انتشار انجام دادند. نتایج نشان دادند که میزان گزیلوز در تراویده ۱/۵ تا ۳ برابر بیشتر از منبع تغذیه^{۱۴} و مقدار گزیلوز ابقاء شده از ۰ تا ۸۰ درصد بود [۱۲].

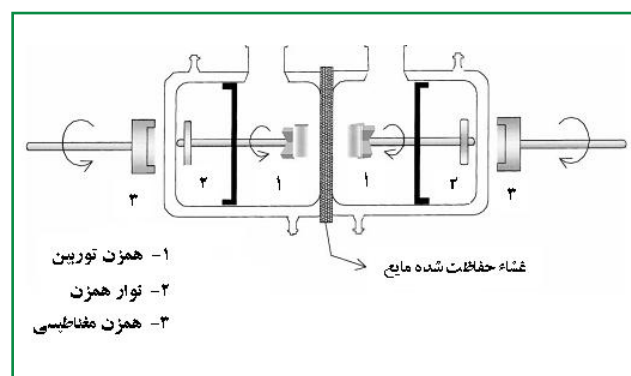
■ استخراج غشایی محافظت شده مایع^{۱۵}

در SLM هم فاز دهنده و هم فاز پذیرنده آبی هستند و غشاء یک حلال آلی است که با نیروهای موئینه در سوراخ‌های یک غشای متخلخل آب‌گریز (حفراتی در حد میکرون) نگهداری می‌شود. عامل اساسی در اینجا تنظیم pH است. pH فاز دهنده باید طوری تنظیم شود که ترکیب، غیر باردار شده و نتواند از میان یک حلال آلی ساکن عبور کند و pH فاز پذیرنده طوری تنظیم شود که ترکیب، یونیزه و به دام افتد. این روش برای استخراج اسیدهای آلی کوچک از نمونه‌ها کاربرد دارد.

■ انواع سیستم‌های SLM

الف- SLM با استفاده از صفحات تخت^{۱۶}

در این روش صفحات تخت در حامل غوطه‌ور می‌شود (شکل (۸)).



شکل (۸): نمای محافظه انتقال FSSLM [۱۳].

ب- SLM با استفاده از فیبر لوله‌ای^{۱۷}
نمای محافظه انتقال HFSLM در شکل (۹) آورده شده‌است.

■ استخراج با مایع در معرض فشار^{۲۱}

اصول PLE تا حدودی ساده‌تر از استخراج با سیال فوق بحرانی

نشان دادند که استخراج با متانل در محدوده دمایی ۱۱۰ تا ۱۶۰ درجه سانتیگراد بازده بهتری دارد [۱۴].

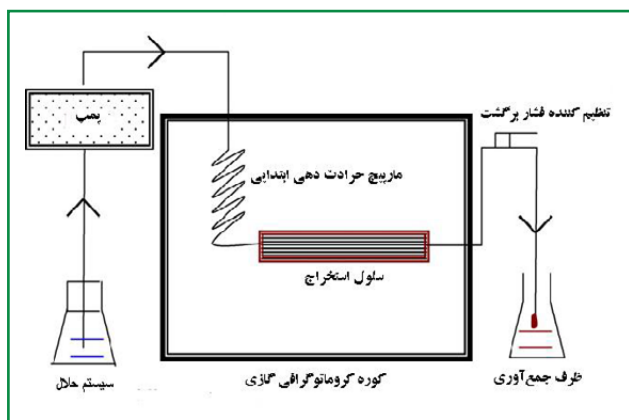
استخراج با آب داغ در معرض فشار^{۳۳}

آب یک ترکیب بسیار قطبی است که برای استخراج ترکیبات آلی غیرقطبی و همچنین ترکیبات با قطبیت ملایم در دمای اتاق استفاده می‌شود. هنگامی که آب در حالت فوق بحرانی است با افزایش دما به بالای ۳۷۴ درجه سلسیوس در فشار بالای کافی، قطبیت، ویسکوزیته و کشش سطحی کاهش می‌یابد.

استفاده از آب با دماهای بالای ۲۴ به‌عنوان حلال در استخراج ترکیبات قطبی یا نیمه قطبی عملی است. در یک سیستم در معرض فشار و در دمای بین ۱۰۰ و ۳۷۴ درجه سلسیوس آب زیر نقطه بحرانی^{۲۵} حاصل و در دمای بالای ۳۷۴ درجه سلسیوس (و فشار ۲۱۸ اتمسفر) فوق بحرانی می‌شود. استخراج با آب فوق بحرانی شامل دو عیب است که یکی استخراج با بازده پایین و دیگری امکان‌ناپذیری کاربرد برای ترکیبات ناپایدار دمایی است.

از واژه PHWE برای آب مایع با دمای بالای ۱۰۰ درجه سلسیوس و فشار به نسبت پایین حدود ۲۰ اتمسفر استفاده می‌شود. اصول PHWE مانند PLE است. اما در اینجا از آب به‌عنوان حلال استفاده می‌شود. آب حلالی ویژه است؛ زیرا ویژگی‌های فیزیکی آن با افزایش دما تغییر می‌کند و در دماهای بالا، شبیه یک حلال آلی عمل می‌کند [۱].

در این سیستم محفظه در معرض فشار قرار می‌گیرد تا آب به‌صورت مایع باقی بماند. آب، حلالی سازگار با محیط زیست، با خلوص بالا و هزینه کم است. این استخراج در عرض یک ساعت انجام و سیستم با استفاده از CO₂ در معرض فشار قرار می‌گیرد [۱۷]. نمای یک سیستم استخراج PHWE در شکل (۱۲) آورده شده است.

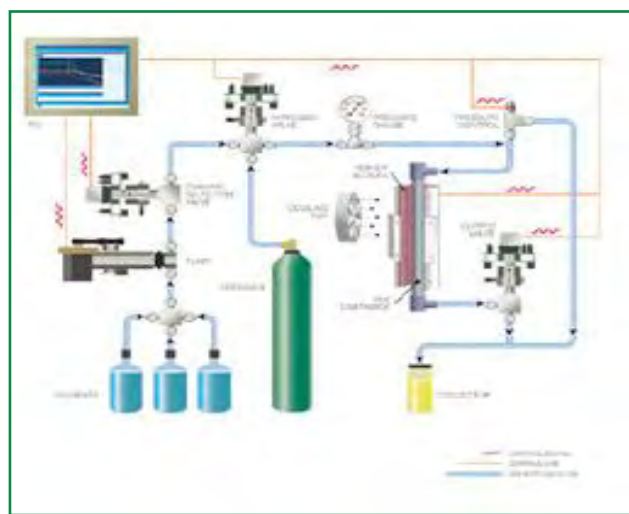


شکل (۱۲): نمای یک سیستم استخراج PHWE [۱۸].

از جمله کاربردهای استفاده از روش PHWE در استخراج گلیسییریزین از گیاه شیرین بیان است. شیرین بیان^{۲۶} گیاهی خودرو از تیره سبزی‌آسها است. عصاره ریشه شیرین بیان دارای

SFE بوده اما استخراج با آن سریع تر است که دلیل آن ضریب انتشار بالا، قابلیت حلالیت بالا، شکست موثر پیوند بین ماتریکس-آنالیت یک حلال مایع در دمای بالاتر از نقطه جوش آن است. عوامل بحرانی این روش در مدل آماری شامل: دما، فشار و نوع حلال مورد استفاده هستند. کنترل استخراج تحت تاثیر میزان حلالیت و سپس انتشار ماده حل شونده است. از سوی دیگر، طبیعت ماتریکس و اندازه ذرات آن و همچنین محل قرار گرفتن و اتصال آن‌ها به آنالیت در میزان استخراج موثر است [۱۴].

در این روش محفظه نمونه با حلال پر می‌شود، سپس محفظه تا دمای مورد نظر گرم شده و در معرض فشار قرار می‌گیرد تا حلال در حالت مایع باقی بماند. حلال حاوی ماده حل شده در یک ظرف خالی جمع می‌شود. شکل (۱۰) نمایی از سیستم PLE را نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): نمای یک سیستم PLE [۱۵].

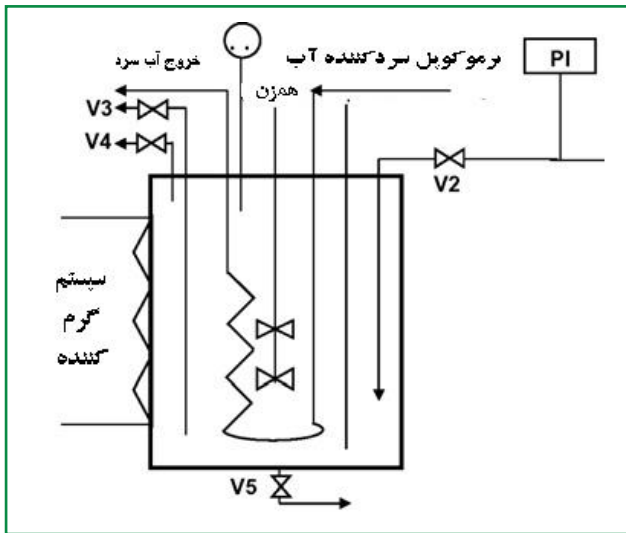
از فواید این روش، قابلیت استفاده مجدد از همان حلال است [۱]. این روش می‌تواند در محدوده وسیعی از دما و فشار انجام گیرد شامل: محدوده بین دمای اتاق تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و فشار ۳۵ تا ۲۰۰ بار و بسته به نوع ماتریکس نمونه، می‌توان از کاغذی صافی و یا عمل هم زدن در کمک به افزایش بازده استخراج استفاده نمود. نمونه مدل تجاری دستگاه PLE در شکل (۱۱) آورده شده است.



شکل (۱۱): نمونه مدل تجاری دستگاه PLE [۱۶].

از جمله کاربردهای این روش در استخراج استویاساید از گیاه استویا^{۲۷} روباتیانا^{۲۸} با استفاده از آب و متانل است. نتایج این بررسی

خالص‌سازی و همچنین از CO₂ در دمای زیر نقطه بحرانی برای ایجاد فشار استفاده کردند (مدل آزمایشگاهی شکل (۱۵)). نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین بازیافت مونو-آمونوم-گلیسیریزات از شیرین بیان در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس و فشار ۵ اتمسفر با نسبت ۴۰ میلی‌لیتر در گرم از محلول آمونوم (۰/۰۱ درصد وزنی/حجمی) به ماده اولیه پس از ۹۰ دقیقه استخراج حاصل می‌شود.



شکل (۱۵): مدل آزمایشگاهی سیستم استخراج PHWE [۱۹].

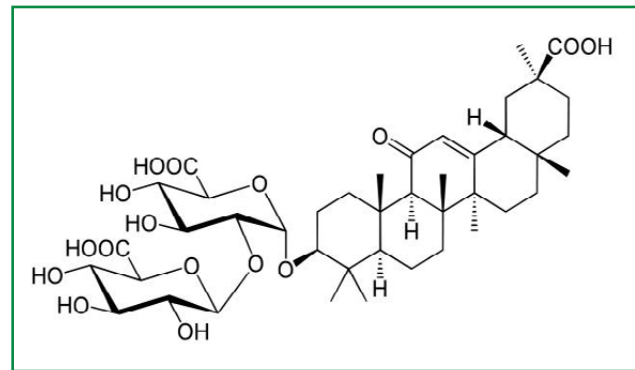
توئه و همکارانش [۲۰] استویوساید و ربیدوساید A را با استفاده از روش‌های PHWE و MAE استخراج نمودند. آن‌ها با افزایش دما بدون استفاده از حلال توانستند این دو ماده را استخراج نمایند. عمل استخراج را در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه انجام دادند. نتایج حاصل از مطالعه میزان بازده استخراج استویوساید با استفاده از دو روش فوق را به ترتیب ۱۳/۹۰ و ۲۱/۳۷ میلی‌گرم نشان دادند. همچنین نتایج نشان دادند که میزان استخراج با عوامل دما، مدت زمان استخراج و میزان جریان، ارتباط دارد.

استخراج با کمک امواج مایکروویو^{۲۷}

استخراج به کمک مایکروویو، ساده‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روش است. در این روش حلال‌های قطبی مثل آب، متانول یا استون برای استخراج ترکیبات آلی مورد نظر از ماتریکس‌های جامد به کار گرفته می‌شود. روش MAE مزایای زیادی نسبت به روش‌های استخراج مرسوم داراست. از جمله مزایای این روش این است که تابش میکروویو می‌تواند سرعت استخراج را افزایش دهد. بنابراین، برای تسریع حل کردن آنالیت و پیش تغلیظ حلال‌ها به داخل ماتریکس‌های جامد استفاده می‌شود، (در اصل تنها نمونه‌ها یا حلال‌هایی که ترکیبات دارای خاصیت دوقطبی یا خاصیت جذب امواج ریز را دارند می‌توانند تحت تأثیر امواج میکروویو قرار گیرند که سبب تندی استخراج در زمان کوتاه می‌شوند). از دیگر مزایای روش، دمای استخراج کم‌تر، حلال مصرفی کم‌تر و عملکرد بازیافت

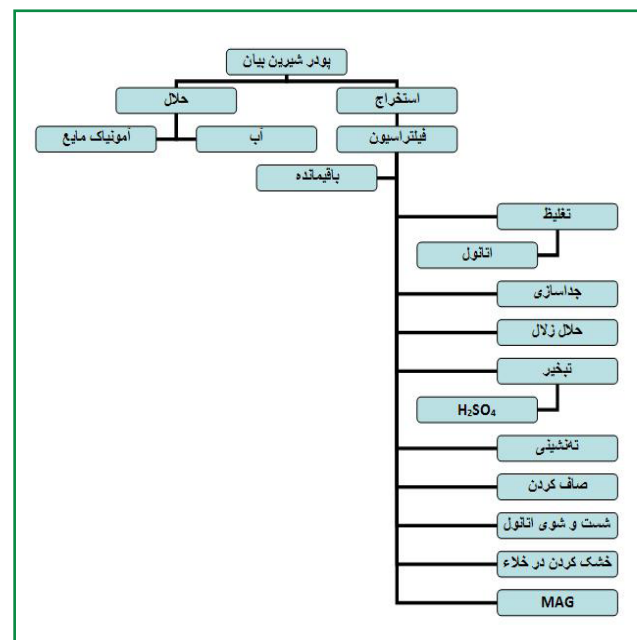
مقادیری گلوکز، ساکاروز، آسپاراژین، مواد آلومیدی، رزین و اسانس است و در صنایع غذایی مصرف دارد. ترکیب موجود در ریشه‌های گیاه به نام اسید گلیسیریزیک است که در واقع شکل متصل شده آن با نمک کلسیم و پتاسیم است که اسیدی ضعیف دارای سه گروه کربوکسیل و پنج گروه هیدروکسیل است. فرم اسیدی آن در آب غیرمحلول بوده و به‌منظور استخراج، ابتدا آن را به شکل نمک آمونوم در می‌آورند تا قابلیت حل شدن آن در آب افزایش یابد که در این حالت و در pH بالاتر از ۴/۵ در آب محلول است.

ریشه شیرین بیان ۳۰ تا ۵۰ برابر شیرین‌تر از ساکارز است. گستره شیمیایی آن در شکل (۱۳) آورده شده‌است.



شکل (۱۳): گستره شیمیایی گلیسیریزیک اسید یا گلیسیریزین [۱۹].

روش متداول استخراج شیرین بیان در شکل (۱۴) آورده شده‌است:



شکل (۱۴): مراحل استخراج و خالص‌سازی مونو-آمونوم گلیسیریزات (MAG) به روش متداول [۱۹].

موکوپادپای و همکارانش [۱۹] از روش PHWE به‌منظور استخراج گلیسیریزین و از آمونیاک برای آسان نمودن مراحل

دست آوردهای ویژه این روش عبارتند از: کاهش زمان و هزینه‌های استخراج، یکنواختی عمل استخراج و همچنین عدم نیاز به استفاده از حلال، انجام مراحل جداسازی و خالص‌سازی.

زمان و انرژی مورد نیاز کمتر از روش‌های سنتی و مرسوم فعلی است. با توجه به امکان تولید دستگاه‌های میکروویو (در مقیاس صنعتی) در داخل کشور از یک سو و همچنین بالا بودن حجم تولید و مصرف شیرین کننده‌ها در صنایع مختلف، لزوم کاربرد و گسترش این روش منطقی و ضروری به نظر می‌رسد.

این روش استخراج، برای استخراج ترکیبات آلی از بسیاری از بافت‌های گیاهی به کار رفته است. به‌عنوان مثال، استخراج گلیسیریزیک اسید از ریشه گیاه شیرین‌بیان، نمونه‌ای از کاربرد استخراج به کمک میکروویو در زمینه بافت گیاهی است. استخراج از گیاه به شکل تازه انجام شده و در نتیجه نیازی به صرف وقت و هزینه به‌منظور خشک کردن گیاه نیست. از آنجایی که عمل استخراج به کمک آب موجود در گیاه انجام می‌پذیرد، نیازی به افزودن حلال‌های آلی و حتی آب نبوده و در نتیجه این روش استخراج، روشی ساده، سریع، ارزان و سازگار با محیط‌زیست است [۲۳].

جی تاک و همکارانش [۲۴] استیوساید و ربیدوساید A را با استفاده از روش MAE استخراج نمودند. آن‌ها ابتدا به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس عمل استخراج سرد را روی نمونه انجام دادند و متعاقب آن استخراج اولتراسونیک را به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 5 ± 35 درجه سلسیوس ادامه دادند و سپس MAE را در سطوح قدرت متفاوت از ۲۰ تا ۱۶۰ وات با محدوده زمانی بین ۳۰ ثانیه و ۵ دقیقه با دمای ۱۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس انجام دادند. نتایج بررسی نشان داد که بهینه بازده روش در سطح قدرت ۸۰ وات به مدت ۱ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد است. استفاده از این روش سبب سریع‌تر شدن استخراج و کاهش استفاده از حلال و همچنین افزایش بازده استخراج شد.

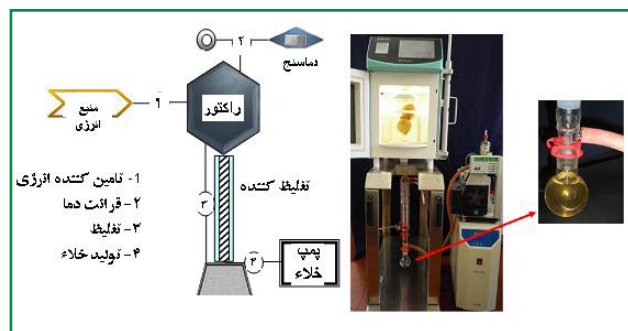
استخراج با سیال فوق بحرانی^{۲۸}

یک مایع یا گاز زمانی فوق بحرانی می‌شود که دما و فشار آن به بالای نقطه بحرانی برسد که برای دی اکسید کربن ۳۱ درجه سلسیوس و ۷۲ بار است. دی اکسید کربن به علت سمیت پایین، دما و فشار فوق بحرانی پایین انتخاب شده‌است. اساس این روش این است که SF (سیال فوق بحرانی) با استفاده از پمپ از یک مجرای پر شده با نمونه عبور می‌کند. بنابراین، محفظه استخراج از طریق پمپ با سیال موردنظر در معرض فشار قرار می‌گیرد. سپس در سپراتور با کاهش فشار یا کاهش دما ترکیباتی که استخراج شده‌اند رسوب کرده و جمع‌آوری و سیال بازیافت می‌شود. این سیستم همچنین مجهز به یک مجرای فشار بالا برای نگهداری نمونه، یک محدود کننده و ظرفی برای جمع‌آوری نمونه و کمک حلال در صورت نیاز است. از مزایای سیال‌های فوق بحرانی نسبت به حلال‌های دیگر، بالاتر بودن قدرت انحلال و قابلیت تنظیم این ویژگی با تغییر فشار یا دما، ضریب نفوذ بالاتر

بیش‌تر است. با این حال عوامل فیزیکی چون حلالیت، ثابت دی الکتریک و عامل پراکندگی حلال و نمونه باید در نظر گرفته شود. در ابتدا حلال باید قادر باشد آنالیت‌ها را در خود حل کند. دوم این که حلال دارای ثابت دی الکتریک مناسب باشد تا بتواند انرژی امواج میکروویو را جذب کند و باعث افزایش دما شود. به همین دلیل حلال‌های غیرقطبی در این روش کارایی چندانی ندارند. برای افزایش عملکرد بازیافت باید عامل پراکندگی بالا باشد زیرا هر چه این عامل بزرگ‌تر باشد به معنای سریع‌تر بودن انتقال حرارت ایجاد شده به درون ماتریکس مورد نظر است که منجر به استخراج سریع‌تر و کامل‌تر آنالیت می‌شود.

روش MAE براساس حرارت‌دهی و استفاده از حلال‌های آلی است. نمونه و حلال مناسب آن در یک ظرف ریخته می‌شود و فشار تنظیم شده و با میکروویو حرارت داده می‌شود. بعد از ۵ تا ۲۰ دقیقه استخراج کامل می‌شود. زمان ۴۰ ثانیه نیز در پژوهش‌ها دیده شده‌است. اجازه می‌دهیم تا مجرا سرد و سپس حلال فیلتر می‌شود. کارایی گرم شدن حلال‌های مختلف به ضریب پراکنش آنها بستگی دارد که برابر است با اتلاف دی الکتریک به ثابت دی الکتریک.

اتانول و متانول نسبت به آب، مقدار کمتری از انرژی میکروویو را جذب می‌کنند. از طرف دیگر، هگزان و دیگر حلال‌های غیرقطبی در مقابل میکروویو خنثی هستند و حرارت ایجاد نمی‌کنند. بهینه‌سازی MAE بستگی به ترکیب حلال، حجم حلال، دما و زمان استخراج و ویژگی نمونه مورد نظر دارد (شکل (۱۶)) [۲۱].



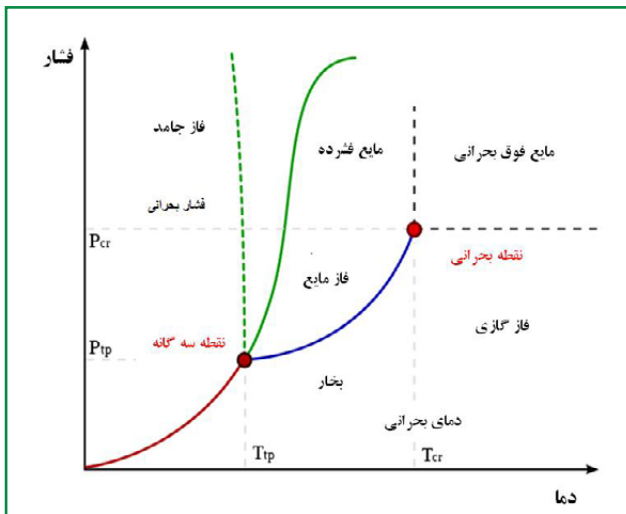
شکل (۱۶): دستگاه ماکروویو به‌منظور استخراج با استفاده از VMHG [۲۲].

استخراج قندها به کمک میکروویو به روش تقطیر و روش بدون حلال

در این روش از انرژی میکروویو خانگی (قابلیت کنترل زمان و توان) برای استخراج قندها استفاده می‌شود. طراحی سیستم شامل: ظرف واکنش (بالن)، خنک کننده (کندانسور)، سیستم جمع‌کننده و سیستم برگشت‌دهنده است.

از آنجایی که در این روش استخراج، زمان حرارت‌دهی یکنواخت و کوتاه بوده و مرحله جداسازی نیز ساده و غیرتخریبی است، قند تولید شده از کیفیت بسیار بالایی برخوردار است و در عین ارزان‌تر بودن روش، تولید، دارای قیمت بالاتری نسبت به قندهای استخراج شده با استفاده از دیگر روش‌ها است.

و ویسکوزیته کمتر است [۲۵].
جدایش دو فاز غیرممکن است. دیاگرام فازی گازها در شکل (۱۷) آورده شده‌است.



شکل (۱۷): دیاگرام فازی گازها [۲۷].

برخلاف مایع، گاز در شرایط فوق بحرانی تغییر ناچیزی در دما یا فشار و یا هر دو، تغییرات شدیدی در خواص فیزیکی به ویژه دانسیته سیال ایجاد می‌کند. این ویژگی در استخراج علاوه بر انتخاب پذیری زیاد در حل کردن یک ترکیب از مخلوط، باعث می‌شود که بازیابی مواد استخراجی با انبساط ناگهانی حلال فوق بحرانی انجام گیرد. همان‌طور که در قبل نیز گفته شد؛ سیالات فوق بحرانی از نظر انحلال پذیری مانند مایعات و از نظر خواص انتقالی و نفوذ مانند گازها رفتار می‌کنند، در نتیجه سیال فوق بحرانی به راحتی در جامدات متخلخل نفوذ می‌کند. از مزایای عمده سیالات فوق بحرانی، انحلال‌گرینشی و جداسازی کامل حلال و حل شونده و از معایب مهم این روش، فشار بالای مورد نیاز در فرآیند است.

انتخاب حلال فوق بحرانی

مهمترین مسئله در طراحی یک فرآیند استخراج فوق بحرانی، انتخاب حلال است. با انتخاب حلال مناسب هزینه‌های عملیاتی کاهش یافته و خلوص محصولات افزایش می‌یابد. حلال مصرفی باید ارزان و غیرسمی بوده و قدرت حلالیت بالایی داشته باشد. با توجه به تجربیات به‌دست آمده در طراحی یک فرآیند فوق بحرانی، به‌طور معمول اولین انتخاب حلال دی اکسید کربن CO_2 است. چند دلیل عمده در انتخاب CO_2 به شرح زیر است:

- ارزان قیمت و قابل دسترس است؛
 - مناسب و بی اثر بودن از نظر شیمیایی به‌منظور استفاده در فرآیندهای غذایی؛
 - شرایط بحرانی مناسب (۳۱/۶ درجه سانتی‌گراد و ۷۳/۴ اتمسفر)؛
 - غیر سمی بودن و غیر اشتعال بودن.
- در جدول (۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ترکیباتی را که به‌عنوان سیال فوق بحرانی در روش‌های نوین جداسازی استفاده می‌شود، ذکر شده‌است:

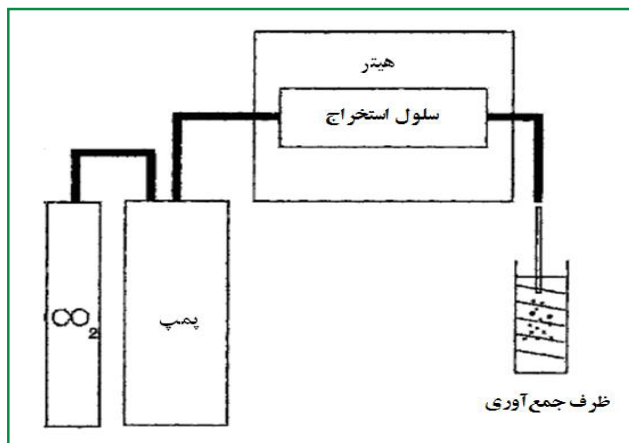
کاربرد سیالات فوق بحرانی در صنایع غذایی

در برخی از فرآیندهای جداسازی نمی‌توان از روش‌های معمول تقطیر و استخراج استفاده کرد که به‌طور عمده به لحاظ مسائل اقتصادی است زیرا خواص فیزیکی و شیمیایی مواد و نیز شرایط مورد نیاز به‌گونه‌ای است که امکانات لازم برای استفاده و کاربرد روش‌های معمول موجود را به‌طور رضایت بخش و با کیفیت بالا فراهم نمی‌سازد. اهم این موارد شامل بالا بودن نقطه جوش، نزدیک بودن نقطه جوش مواد مورد نظر (تشکیل مخلوط‌های آزنوتروپ با نقطه هم جوش^{۲۹}، حساسیت مواد به دمای بالا، تامین و بازیابی حلال است.

در فرآیند استخراج با سیال فوق بحرانی بر خلاف عملیات استخراج مایع-مایع، بازیابی حلال با انبساط ناگهانی (سرد کردن) انجام می‌شود و برای بازیابی حلال نیازی به عملیات تقطیر نیست، این موضوع باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. دلیل دیگر گسترش کاربرد سیالات فوق بحرانی، نیاز به مواد اولیه با درجه خلوص بالا در صنایع غذایی و دارویی است. برای مثال، بازیابی کامل حلال در صنایع دارویی و غذایی برای جلوگیری از ایجاد آلودگی حلال شیمیایی، بسیار ضروری است در حالی که در روش‌های معمول مانند تقطیر و استخراج مایع-مایع بازیابی کامل حلال میسر نیست [۲۶]. از دیگر دلایل گسترش سیالات فوق بحرانی این است که حلال‌های آلی به خصوص حلال‌های کلردار که در روش‌های قدیمی جداسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ برای محیط‌زیست مضر هستند به طوری که امروزه ثابت شده حلال‌های کلردار و بعضی از حلال‌های آلی مورد مصرف در صنایع، برای لایه ازن زیان‌آور بوده و از نظر دیدگاه شیمی سبز^{۳۰} مردود هستند؛ لذا با جایگزینی گاز CO_2 به‌عنوان حلال در فرآیندهای فوق بحرانی این مشکل برطرف شده‌است. روش‌های استخراج سازگار با محیط اساساً به این معنی است که برای پیش‌تخلیظ نمونه از حلال‌های سازگار با محیط از جمله آب، سیال فوق بحرانی و مایعات یونی و غیره استفاده شود. استخراج سیال فوق بحرانی و آب فوق بحرانی جزء روش‌های استخراج سازگار با محیط هستند. در موارد ذکر شده و مشابه که از ملاحظات اقتصادی و محدودیت‌های عملی و اجزائی ناشی شده‌است؛ باید از روشی برای انجام عمل جداسازی استفاده و یا امکان بهره‌گیری از آن را بررسی نمود تا حتی‌الامکان بتواند بیشتر شرایط مورد نیاز و به‌خصوص شرایط عمده و غالب را تامین کند (روش استفاده از سیالات فوق بحرانی در فرآیندهای جداسازی) [۲۶].

سیالات فوق بحرانی

در شرایط پایین‌تر از نقطه بحرانی تعادلات بخار-مایع به صورتی است که بخار از سطح جدایی دو فاز جدا و مایع در پایین سطح قرار می‌گیرد. سیال در شرایط دما و فشار بالاتر از نقطه بحرانی^{۳۱}، سیال فوق بحرانی نامیده می‌شود. با افزایش دما و فشار به تدریج دانسیته مایع کاهش یافته و دانسیته گاز زیاد می‌شود. در نقطه بحرانی دانسیته دو فاز با یکدیگر برابر می‌شود و تشخیص سطح



شکل (۱۸): وسیله اندازه‌گیری استخراج با سیال فوق بحرانی [۲۸].

ارکوک و همکارانش [۲۹] با استفاده از روش استخراج با حلال فوق بحرانی CO_2 ، گلیکوزیدها را از برگ‌های گیاه استویا روبیدینیا برتونی استخراج کردند. میزان بهینه استخراج در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و فشار ۲۱۱ بار $17/4$ درصد بود. بر طبق نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، میزان بازده استخراج برای استویوساید و روبیدوساید A به ترتیب $36/66$ و $17/79$ میلی‌گرم درصد به‌دست آمد.

۳۳ میدان‌های الکتریکی پالسی قوی

استفاده از میدان‌های الکتریکی پالسی قوی (PEF) به‌عنوان یک فرآیند غیرحرارتی در فرآوری و نگهداری مواد غذایی در طی دو دهه اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. این فرآیند مانند دیگر فرآیندهای غیرحرارتی سبب حفظ ویژگی‌های کیفی، تغذیه‌ای، کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری در فرآیندهای تولید مواد غذایی می‌شود [۳۰].

ساز و کار اثر میدان‌های الکتریکی پالسی بر سلول‌های گیاهی و حیوانی بر مبنای ایجاد روزه‌های بسیار ریز بر اثر جریان‌های الکتریکی یا فرآیند الکتروپوراسیون^{۳۴} و افزایش قابلیت نفوذ در غشاء است (شکل (۱۹)).

ایجاد روزه و قابل نفوذ نمودن سلول‌های زیستی در اصطلاح الکتروپوراسیون نامیده می‌شود [۳۱]. مهم‌ترین اثرات میدان الکتریکی پالسی، تخریب دیواره و غشای سلولی و افزایش میزان انتقال جرم است که می‌تواند در دو فرآیند مهم صنایع غذایی مورد استفاده قرار گیرد [۳۲].

اول: فرآیند نابودی سلول‌های زنده از جمله میکروارگانیسم‌های موجود در مواد غذایی: وقتی سلول‌های زنده تحت تأثیر چنین میدانی قرار می‌گیرند، به‌طور طبیعی دیواره سلولی و غشای آن‌ها دچار تخریب شده و مواد درون سلول به سهولت خارج می‌شود و از طرف دیگر موجب ورود مواد اطراف به درون سلول و منجر به نابودی سلول زنده می‌شود.

دوم: با افزایش قابلیت نفوذ در سلول‌های گیاهی و جانوری فرآیند استخراج مواد درون سلولی با سهولت و سرعت بیشتری انجام می‌شود، لذا می‌توان از فرآیند دوم به‌عنوان یک مرحله پیش

جدول (۱): ویژگی‌های فیزیکی ترکیبات معمول مورد استفاده به‌عنوان سیال فوق بحرانی [۲۸].

مایع	دمای بحرانی (°C)	فشار بحرانی (atm)	لحظه دی پل (D)
دی اکسید کربن	۳۱/۳	۷۲/۹	۰
اکسید نیتروژن	۳۶/۵	۷۲/۵	۰/۵۱
آمونیاک	۱۳۲/۵	۱۱۲/۵	۱/۶۵
پنتان	۱۹۶/۵	۳۳/۳	۰
سولفور هگزافلورید	۴۵/۵	۳۷/۱	۰
فرئون	۱۱۱/۸	۴۰/۷	۰/۱۷
گزنون	۱۶/۶	۵۸/۴	۰

۳۴ روش عملیاتی استخراج با سیال فوق بحرانی

استخراج سیال فوق بحرانی و سیال زیر بحرانی، روش‌های متناظر با استخراج آب زیربحرانی و استخراج با مایع در معرض فشار PLE هستند.

پیشرفت‌های حاصل در طراحی تجهیزات و نیاز به محصولات خالص‌تر و با کیفیت‌تر سبب شده تا صنایع غذایی بیش از پیش علاقمند به استفاده از فناوری SCFE شوند. به‌طور کلی برای استفاده از SCFE دو روش ارائه شده است.

روش اول در فشارهای بالا و به‌صورت ناپیوسته و روش دوم به‌صورت پیوسته انجام می‌شود؛ ولی به هر حال، در هر دو روش فرآیند استخراج فوق بحرانی به شرح زیر است:

در مرحله بارگیری^{۳۲} مخلوط خوراکی در تماس مستقیم با جریان SCF قرار می‌گیرد. در این حالت یک یا چند ماده از مخلوط خوراکی جدا می‌شوند. می‌توان شرایط عملیاتی را طوری تنظیم نمود که تنها ترکیبات مورد نظر جدا شوند که این بستگی به نوع حلال و فشار و دمای عملیات دارد. با کاهش دما در یک ظرف جداسازی می‌توان مواد حل شده در سیال فوق بحرانی را بازیابی نمود سپس حلال سرد شده و به مایع تبدیل می‌شود و بعد از جمع‌آوری به یک ظرف مبدل حرارتی انتقال داده می‌شود تا دوباره مورد استفاده قرار گیرد.

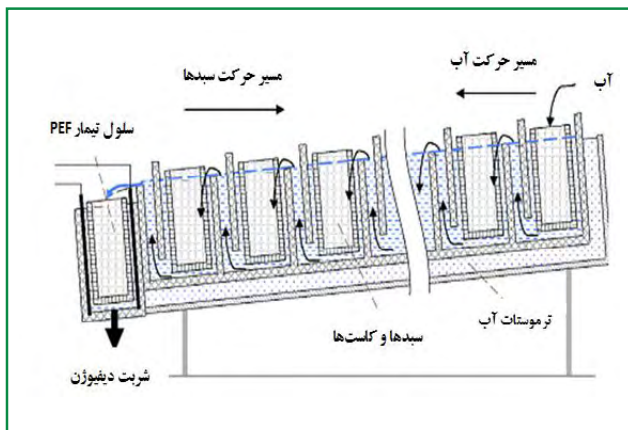
مزایای استفاده از سیالات فوق بحرانی به شرح زیر است:

- کاهش زمان انجام فرآیند؛
- انحلال‌پذیری مشابه مایعات و قدرت نفوذی مانند گازها؛
- انتخاب‌پذیری بالا؛
- حساسیت به تغییر دما، فشار، دانسیته و غلظت حلال برای ایجاد درجات آزادی مطلوب به‌منظور تنظیم یا کنترل قدرت و حساسیت حلال برای به‌دست آوردن محصولی با کیفیت بالاتر؛
- عدم ایجاد مشکلات زیست محیطی؛
- کمتر شدن میزان مصرف حلال با این روش؛
- سلامت دمایی برای ترکیباتی که به دمای بالا حساسیت دارند؛
- بازیابی کامل و آسان حلال. شکل (۱۸) نمایی از این نوع استخراج را نشان می‌دهد:

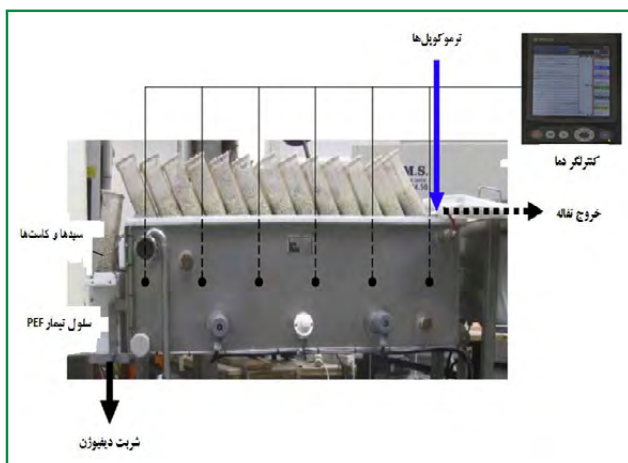
شده که متعاقب آن لایه پلازیمه که سبب مسدود شدن غشاء می‌گردد نیز کمتر تشکیل می‌شود. همچنین نتایج نشان دادند که با استفاده از میدان الکتریکی پالسی می‌توان قطر منافذ را از ۱۰۰ به ۱۰ کیلودالتون کاهش داد.

در مطالعه دیگری که توسط لویز و همکارانش [۳۶] انجام گرفت، با استفاده از میدان الکتریکی پالسی اقدام به استخراج قند از چغندر قند نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که وقتی که تعداد ۲۰ پالس با قدرت میدان ۷ کیلوولت بر سانتی‌متر استفاده می‌شود؛ می‌توان دمای مورد استفاده برای استخراج را از ۷۰ به ۴۰ درجه سلسیوس کاهش داد.

لاجی نووا و همکارانش [۳۵]، با استفاده از میدان الکتریکی پالسی اقدام به استخراج قند از چغندر قند نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با استفاده از قدرت میدان ۶۰۰ ولت بر سانتی‌متر، تعداد پالس ۵۰۰، طول مدت پالس ۱۰۰ میکروثانیه میزان خلوص شربت به دست آمده در دمای ۳۰ و ۵۰ و ۶۰ درجه سلسیوس از شربت به دست آمده به روش متداول در دمای ۷۰ درجه سلسیوس کمتر نبود. در شکل‌های (۲۰) و (۲۱) نما و نمونه‌ای از مدل آزمایشگاهی دستگاه استخراج با استفاده از PEF آورده شده‌است.



شکل (۲۰): نمای مدل آزمایشگاهی دستگاه استخراج با استفاده از PEF [۳۵].



شکل (۲۱): نمونه‌ای از مدل آزمایشگاهی دستگاه استخراج با استفاده از PEF [۳۵].

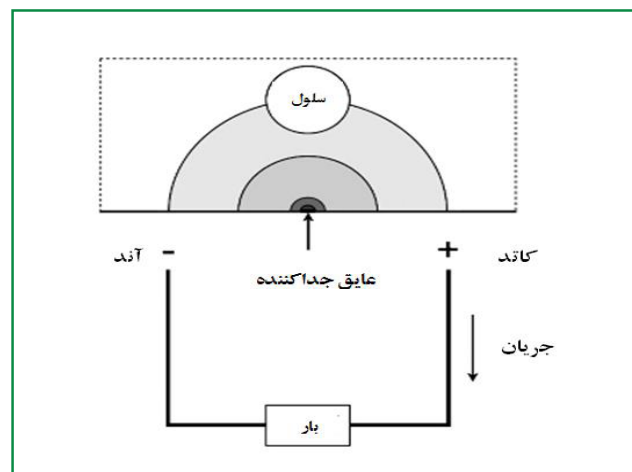
فرآوری در استخراج مواد با ارزش سلولی نظیر آنزیم‌ها، قندها و دیگر ترکیبات موجود در فرآیندهای تولید آنزیم و آب میوه استفاده نمود. همچنین در تولید خشکبار اعمال این پیش‌فرآیند سبب سهولت خروج آب و در نتیجه افزایش سرعت خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌های تازه می‌شود [۳۳].

مهم‌ترین ویژگی‌های این روش نسبت به فرآیندهای حرارتی دیگر عبارتند از:

■ به دلیل اینکه تخریب دیواره و غشای سلولی در اثر میدان‌های الکتریکی بدون کمترین آسیب وارده به قسمت‌های دیگر انجام می‌شود و برخلاف روش حرارتی که تخریب کامل سلولی را به دنبال دارد، قوام و ساختمان سلول حفظ می‌شود.

■ تغییر در ویژگی بافتی به ویژه در غشای دیواره سلول به گونه‌ای است که موارد درون سلول با سرعت و سهولت از سلول خارج می‌شوند و لذا نابودی میکروارگانیسم‌ها و نیز استخراج و یا خشک کردن مواد غذایی در حداقل زمان صورت می‌گیرد.

■ انرژی مورد نیاز برای این گونه فرآیندها بسیار کمتر از فرآیندهای حرارتی است [۳۳].



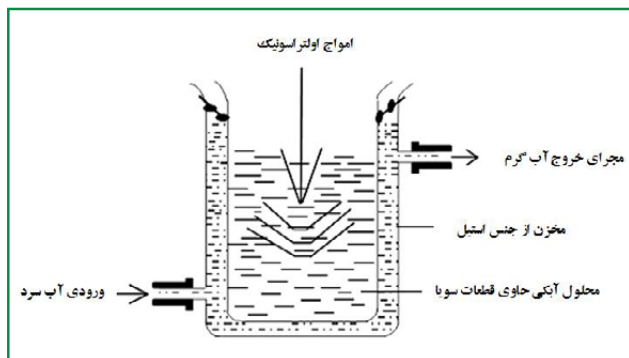
شکل (۱۹): نمای از دستگاه الکتروپوریش [۳۴].

■ اثر شرایط مختلف میدان‌های الکتریکی پالسی قوی بر استخراج قند از چغندر قند

به‌طور کلی استفاده از قدرت میدان (۰/۵ تا ۶ کیلوولت بر سانتیمتر)، بر تخریب سلول‌های گیاهی تاثیر قابل توجهی نمی‌گذارد. لاجی نووا و همکارانش [۳۵]، تاثیر استفاده از روش استخراج سرد به همراه میدان‌های الکتریکی پالسی را روی شربت چغندر قند مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از سیستم فیلتراسیون انتها بسته ۳۵ استفاده نمودند. غشاهای مورد استفاده از جنس هیدروفیلک پلی‌اتر-سولفان با اندازه اسمی منافذ ۱۰، ۳۰ و ۱۰۰ کیلودالتون بود. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که با استفاده از فشار ۰/۵ تا ۳/۷ بار، دمای ۳۰ درجه سلسیوس، قدرت میدان ۶۰۰ ولت بر سانتی‌متر، تعداد پالس ۵۰۰، طول مدت پالس ۱۰۰ میکروثانیه و میزان تکرار پالس ۲۰۰ هرتز، میزان تشکیل کلئوئیدها در شربت استخراجی کمتر

دو فناوری پیشرفته اولتراسوند و میکرو فیلتراسیون و یکی از موضوعاتی است که در کمتر از یک دهه توجه محققان را به خود جلب نموده است.

کارکی و همکارانش [۳۸] تاثیر استفاده از امواج اولتراسوند را بر میزان آزادسازی قندها از سویای چربی گرفته شده را بررسی کردند. نتایج تحقیق این محققان نشان داد که میزان استخراج قندها با استفاده از اولتراسوند در مقایسه با گروه کنترل ۵۰ درصد افزایش داشت.



شکل (۲۲): مدل آزمایشگاهی سیستم تعدیل شده دمایی به همراه اولتراسونیک [۳۸].

همه روش‌های شرح داده شده دارای فواید و مضراتی هستند. در همه این روش‌ها، مقدار حلال مصرفی کم یا استفاده نمی‌شود، سریع‌تر هستند، سمیت کم و حساسیت بالایی دارند و نسبت به روش‌های کلاسیک استخراج راحت‌تر است. با این حال، با توجه به نمونه‌های مختلف و ملکول‌هایی که باید استخراج شوند متغیرند. نمونه‌های جامد و نیمه جامد بیشتر با SFE، PLE، PHWE یا MAE فرآیند می‌شوند. نوع ملکول قابل استخراج نیز مهم است. به‌طور معمول برای استخراج ترکیبات غیرقطبی یا قطبیت متوسط از روش SFE استفاده می‌شود. در حالی که PLE و MAE می‌توانند برای ترکیباتی با قطبیت مختلف به کار روند. به‌طور کلی با توجه به ماهیت قند و یا ماده شیرین کننده مورد استخراج، تعیین بهترین روش استخراج که بازده بالایی از ماده را بتواند جداسازی کند، بسیار حائز اهمیت است و این در حالی است که نباید فراموش کنیم که همیشه دستیابی به میزان بازده بالای استخراج مد نظر نیست و در بسیاری از موارد توجه به درصد خلوص استخراج شونده از اهمیت بیشتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

مסקوکی و همکارانش در سال ۱۳۸۸ [۳۷]، اثر میدان‌های الکتریکی پالسی قوی را بر میزان تخریب سلول‌های چغندر قند مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق اثر شرایط مختلف میدان که شامل: قدرت میدان (۵/۰ تا ۶ کیلوولت بر سانتیمتر)، تعداد پالس (۱ تا ۱۰۰ پالس) و ظرفیت خازن (۵/۰ تا ۳۲ میکروفاراد) بر درجه تخریب سلول و انرژی مصرفی چغندر بررسی شد. نتایج اولیه نشان داد که میدان‌های با قدرت ۲ و ۳ کیلوولت بر سانتیمتر، ۸ میکروفاراد به ترتیب با ۲۰ و ۱۰ پالس قادرند در کمتر از ۱ دقیقه سبب تخریب سلول شوند. مهم‌ترین عوامل موثر بر قابل نفوذ نمودن سلول‌های چغندر قند به ترتیب عبارت بودند از: انرژی اعمال شده و قدرت میدان الکتریکی. در مقادیر انرژی مساوی و یا بیشتر از ۳/۲ کیلوژول بر کیلوگرم با افزایش قدرت میدان، میزان تخریب سلولی نیز افزایش یافت. همچنین در این بررسی میزان انتقال جرم پس از تخریب سلولی به وسیله میدان الکتریکی پالسی با اندازه‌گیری انتقال و نشت یون‌ها و قند از داخل سلول در درجه حرارت معمول، حرارت متوسط و بالا (۷۰، ۵۰ و ۸۰ درجه سلسیوس) در مدت ۱۵ دقیقه مورد ارزیابی قرار گرفت و با روش‌های معمول و سنتی استخراج قند از چغندر (متوسط ۷۵ درجه سلسیوس) و نیز شرایط حرارت معتدل ۵۰ درجه سلسیوس مقایسه شدند. نتایج بیانگر خروج مقادیر قابل ملاحظه‌ای مواد قندی از سلول پس از اعمال میدان ۲ کیلوولت و ۸ میکروفاراد در حرارت معمولی بود. در حالی که برای حصول همین مقدار قند، اعمال حرارت ۷۵ درجه سلسیوس و زمان طولانی نیاز است. علاوه بر این، میزان انرژی مصرفی در فرآیند حرارتی تقریباً ۲۰ برابر انرژی مورد نیاز برای میدان الکتریکی پالسی است. با افزایش قدرت میدان، میزان بریکس و هدایت الکتریکی در شربت افزایش یافت که این مساله در افزایش بازدهی و بهره‌وری در تولید قند از چغندر قند در سطح اقتصادی اهمیت زیادی دارد. همچنین نتایج مطالعه نشان دادند که تنظیم شرایط میدان قدرت میدان، ظرفیت خازن‌ها، تعداد پالس و تنظیم شرایط محفظه تیمار در صرفه‌جویی انرژی و افزایش بهره‌وری نقش اساسی دارند.

استفاده از امواج فراصوت قوی یا اولتراسوند به منظور افزایش میزان استخراج قندها

یکی از بزرگترین مشکلات فناوری از پیشرفته اولترا-میکروفیلتراسیون^{۳۶} مورد استفاده در صنایع، گرفتگی زود هنگام غشاهای پلیمری^{۳۷} با رسوب مواد و ترکیبات آلی و معدنی موجود در خوراک بر سطوح و منافذ آن‌ها است. پدیده گرفتگی^{۳۸} سبب کندی جریان، توقف خط تولید برای شستشو و تمیز کردن، تخریب غشاهای و دستگاه‌ها توسط شوینده‌های شیمیایی، تهدید سلامت مصرف کنندگان ناشی از باقیمانده مواد شوینده در محصول، آسیب‌های زیست محیطی و بالاخره کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. به کارگیری امواج فراصوت قوی یا اولتراسوند برای رفع گرفتگی غشاهای اولترا فیلتراسیون و میکرو فیلتراسیون در حقیقت ادغام

۱. دکتری تخصصی مهندسی صنایع غذایی

۲. سازمان ملی استاندارد - پژوهشگاه استاندارد - پژوهشکده صنایع غذایی و کشاورزی - گروه پژوهشی مواد غذایی

3. permeate
4. retentate
5. Membrane fouling
6. Microfiltration (MF)
7. Ultrafiltration (UF)
8. Nanofiltration (NF)
9. Reverse Osmosis (RO)
10. Micro filtration
11. Ultra and microfiltration method MF/UF
12. Sugar beet press water RO/NF clarification
13. permeate
14. retantate
15. Feed
16. Supported Liquid Membranes (SLM)
17. flat sheet supported liquid membrane (FSSLM)
18. hollow fiber supported liquid membrane (HFSLM)
19. flat sheet SLM (FSSLM)
20. Accurel
21. strip solution
22. Pressurized Liquid Extraction (PLE)
23. S. rebaudiana
24. Pressurized Hot Water Extraction (PHWE)
25. Superheated water
26. Subcritical water
27. Glycyrrhiza glabra
28. Microwave-Assisted Extraction (MAE)
29. Super Critical Fluid Extraction (SCFE)
30. Azeotropic Solution
31. green chemistry
32. critical point
33. Loading
34. Pulsed Electric Fields (PEF)
35. Electroporation
36. Batch dead-end
37. Ultra- Microfiltration
38. Polymeric Membrane
39. Fouling

- [1] C. Turner, Modern extraction techniques food and agriculture, (2006) 4-20.
- [۲] عسکری، ن. مطالعه‌ای بر فرآیندهای غشایی. پلاگ، نشریه الکترونیکی انجمن علوم مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند، سال ۱۳۸۷.
- [3] A. Hinkova, Z. Bubnika, P. Kadleca, V. Pour, H. Starhova, Membrane filtration in the sugar industry, (2000).
- [۴] معتمدزادگان، ع. قربانی حسن سرایی، آ. شهیدی یاساقی، س. ا. تکنولوژی تولید قند. چاپ اول، فصل نهم و چهاردهم، سال ۱۳۸۶.
- [5] A. Hinkova, Z. Bubnika, P. Kadleca, J. Pridalb, Potential of separation membranes in the sugar industry. Separation and Purification Technology, 26 (2002) 101-110.
- [6] M. Shahidi, S.M.A. Razavi, Improving thin sugar beet juice quality through ultrafiltration. Desalination, 200 (2006) 518-519.
- [7] M. Hamachia, B.B. Gupta, R. Ben Aima, Ultrafiltration: a means for decolorization of cane sugar solution. Separation and Purification Technology, 30(3) (2003) 229-239
- [8] V. Hakimzadeh, S.M.A. Razavi, M. Kh. Piroozifard, M. Shahidi, The potential of microfiltration and ultrafiltration process in purification of raw sugar beet juice, Desalination 200 (2006) 520-522.
- [9] B.H. Farmani, M.H. Addadekhodaparast, J. Hesari, S. Aharizad, Determining Optimum Conditions for Sugar-cane Juice Refinement by Pilot Plant Dead-end Ceramic Micro-filtration. Journal of Agriculture Science and Technology, 10 (2008) 351-357.
- [10] S.S. Madaeni, S. Zereshki, Energy consumption for sugar manufacturing. Part 1: Evaporation versus reverse osmosis, Energy Conversion and Management, 51 (2010) 1270-1276.
- [۱۱] اسماعیل‌زاده کناری، ر. تکنولوژی قند. چاپ دوم، صفحه ۱۰۰-۱۰۳، سال ۱۳۸۷.
- [12] E. Sjöman, M. Mänttari, M. Nyström, H. Koivikko, H. Heikkilä, Separation of xylose from glucose by nanofiltration from concentrated monosaccharide solutions. Journal of Membrane Science, 292 (2007) 106-115.
- [13] M. Di Luccio, B.D. Smith, T. Kida, C.P. Borges, T.L.M. Alves, Separation of fructose from a mixture of sugars using supported liquid membranes, Journal of Membrane Science, 174 (2000) 217-224.
- [14] M. Puri, D. Sharma A., Tiwari, K. Tiwari, Downstream processing of stevioside and its potential applications, Biotechnology Advances, 29(6) (2011) 781-791.
- [15] http://www.fmsenvironmental.com/PowerPle/PLE_Plumbing.html
- [16] www.slidefinder.net/3/3/25943636
- [17] M. Mamata, P. Panja, Recovery of phytochemicals from kokum (*Garcinia indica choisy*) using pressurized Hot Water, International Journal of Food Engineering, (2008) 4-8.
- [18] C.C. Teo, S.N. Tan, J.V.H. Yong, C.S. Hew, E.S. Ong, Pressurized hot water extraction (PHWE), Journal of Chromatography A, 1217(16) (2010) 2484-2494.
- [19] M. Mukhopadhyay, P. Panja, A novel process for extraction of natural sweetener from licorice (*Glycyrrhiza glabra*) roots, Separation and Purification Technology, 63(3) (2008), Pages 539-545.
- [20] C.C. Teo, S.N. Tan, J.V.H. Yong, C.S. Hew, E.S. Ong, Validation of green- solvent extraction combined with

chromatographic chemical fingerprint to evaluate quality of Stevia rebaudiana Bertoni. *Journal of Separation Science*, 32 (2009) 612–22.

[21] S. Hemwimon, P. Pavasant, A. Shotipruk, Microwave-assisted extraction of antioxidative anthraquinones from roots of *Morinda citrifolia*. *Separation and Purification Technology*, 54 (2007) 44-50.

[22] Z. Huma, M. Abert-Vian, M. Elmaataoui, F. Chemat, A novel idea in food extraction field: Study of vacuum microwave hydrodiffusion technique for by-products extraction, *Journal of Food Engineering*, 105(2) (2011) 351-360.

[23] bpdanesh.ir/detailnews.asp?id=9201

[24] V. Jaitak, B. Bandana Singh V.K., Kaul, An efficient microwave-assisted extraction process of stevioside and rebaudioside-A from *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Phytochemical analysis*, 20 (2009) 240–5.

[25] <http://qcm-mazand.com/modules/smartsection/item.php?itemid=777>

[26] <http://www.forum.lianportal.com/thread11622.html>

[27] <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Phase-diag2.svg>

[28] www.irexpert.ir/.../216654_20110307163409853i

[29] A. Erkucuk, I.H. Akgun, O. Yesil-Celiktas, Supercritical CO₂ extraction of glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves: Identification and optimization. *Journal of Supercritical Fluids*, 51 (2009) 29–35.

[30] H. Hülshager, E.G. Nieman, Lethal effect of high-voltage pulses on *E. coli* K12, *Radiation and Environmental Biophysics*, 18(4) (1980) 281-8.

[31] D. Knorr, A. Angersbach, M. Eshtiaghi, V. Heinz, D.U. Lee, Processing concept based on high intensity electric field pulses. *Trends in Food Science and Technology*, 12 (2001) 129-135.

[32] W.H. Sek, Effect of pulse length and strength on electroporation efficiency. *Method in molecular biology*, 55 (1993) 29-41.

[33] H. Bouzrara, E. Vorobiev, Beet juice extraction by pressing and pulsed electric fields. *International Sugar Journal*, 102(1216) (2000) 194–200.

[34] G.D. Troszak, B. Rubinsky, Self-powered electroporation using a singularity-induced nano-electroporation configuration, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 414 (2011) 419-424.

[35] K. Loginova, M. Loginov, E. Vorobiev, N.I. Lebovka, Quality and filtration characteristics of sugar beet juice obtained by “cold” extraction assisted by pulsed electric field, *Journal of Food Engineering*, 106(2) (2011) 144-151.

[36] N. López, E. Puértolas, S. Condón, J. Raso, I. Álvarez, Enhancement of the solid-liquid extraction of sucrose from sugar beet (*Beta vulgaris*) by pulsed electric fields, *LWT - Food Science and Technology*, 42(10) (2009) 1674-1680.

[۳۷] مسکوکى، ع، اشتیاقى، م.ن. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، نیمه دوم ۱۳۸۸، ۵(۲): ۱۶۲-۱۵۱.

[38] B. Karki, B.P. Lamsal, S. Jung, J. (Hans)van Leeuwen, A.L. Pometto III, D. Grewell, S.K. Khanal, Enhancing protein and sugar release from defatted soy flakes using ultrasound technology, *Journal of Food Engineering*, 96(2) (2010) 270-278.