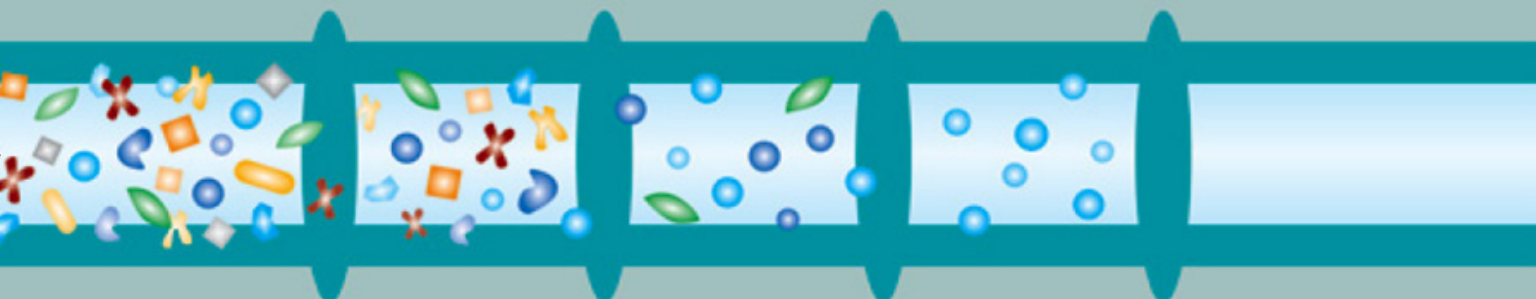


Microfiltration

Ultrafiltration

Nanofiltration

Reverse osmosis



Oil emulsions

Macromolecules

Viruses

Proteins

Singly charged ions

Suspended particles

Colloidal turbidity

Bacteria Cells

Low-molecular-weight organic compounds

Multiply charged ions

بررسی انواع روش های فیلتراسیون و کاربرد آن ها با استفاده از فناوری های غشایه نوین و پیشرفته در صنایع لبنی

شایان محمددینی^۱

علی جعفری^۲



۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی ماشین های صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲- استاد گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



1-sh.mohammaddini@ut.ac.ir

2-jafarya@ut.ac.ir





چکیده

محصولات لبنی به‌ویژه شیر به‌عنوان محور اصلی رژیم غذایی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به شمار می‌روند که فرآورده‌های مختلفی برای فرآوری و تبدیل آن به فرم مطلوب صورت می‌گیرد که یکی از این فرآورده‌های مهم، فرآیند فیلتراسیون با استفاده از فناوری‌های غشایی نوین و پیشرفته امروزه است.

برخی از فناوری‌ها مانند فیلتراسیون به‌وسیله غشاء، از سال‌ها پیش کاربرد داشته‌اند که هدف اصلی تغلیظ شیر و همچنین جداکردن برخی از مواد (مانند پروتئین و باکتری) از شیر است که در افزایش کیفیت و حفظ مواد مغذی بیشتر در فرآورده‌های لبنی اهمیت به‌سزایی دارد.

در این مقاله به نقد محاسن و معایب انواع فرآورده‌های غشایی نوین و پیشرفته مورد استفاده در فیلتراسیون محصولات لبنی و تأثیرات آن بر کیفیت و حفظ مواد مغذی و معرفی کاربرد هر یک از آن‌ها بر روی محصولات لبنی و تشریح برخی از مهم‌ترین کاربردهای آن‌ها خواهیم پرداخت. چهار مورد از این فناوری‌های غشایی نوین و پیشرفته عبارت‌اند از:

۱- میکروفیلتراسیون یا زیرپالایش

۲- اولترافیلتراسیون یا فراپالایش

۳- نانوفیلتراسیون

۴- اسمز معکوس

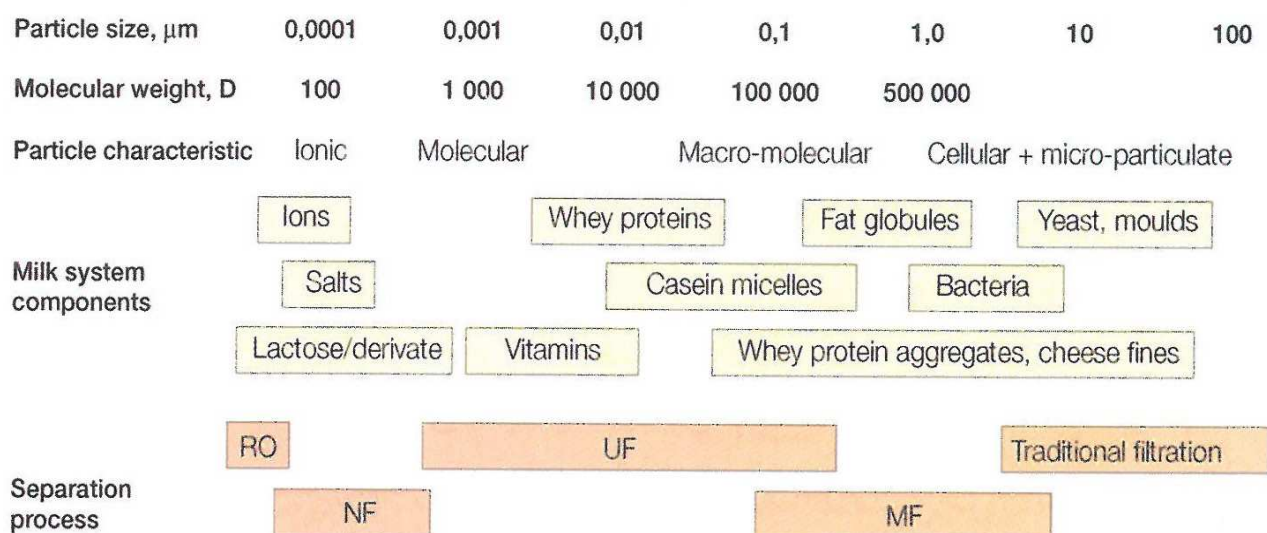
شناخت محاسن و معایب و همچنین محدودیت‌ها و قابلیت‌های روش‌های مختلف فیلتراسیون با استفاده از فناوری‌های غشایی مورد استفاده در صنایع لبنی برای فعالان حوزه‌ی صنایع لبنی دارای اهمیت ویژه‌ای بوده که نتایج تحقیق حاضر به نقد و بررسی موارد ذکر شده و کاربرد آن‌ها در فرآوری محصولات لبنی می‌پردازد. انتظار می‌رود نتایج بررسی‌های به عمل آمده برای محققان حوزه لبنیات و همچنین کارخانه‌های تولیدکننده محصولات لبنی مفید فایده باشد.

کاربرد فناوری‌های غشایی در صنایع غذایی به‌خصوص در صنایع لبنی به‌طور روزافزون رو به رشد و توسعه است. به‌طور کلی به‌کارگیری فناوری‌های غشایی نوین در صنایع لبنی بنا به اهمیت اجزای تشکیل‌دهنده شیر چه از لحاظ حفظ آن‌ها در درون محصولات لبنی و چه از لحاظ جداسازی اجزاء درون آن، امروزه مورد توجه واحدهای تولیدی قرار گرفته است.

اصطلاح «فناوری غشایی» به جمعی از فرآیندهای جداسازی گفته می‌شود که در آن از فیلترهای غشایی نیمه‌تراوا برای تغلیظ یا تجزیه یک مایع به دو مایع با ترکیبات متفاوت، استفاده شده باشد. نفوذپذیری انتخابی غشاء اجازه عبور به برخی از ترکیبات را می‌دهد که به آنان «فاز عبوری»^۱ گفته می‌شود؛ درحالی‌که از نفوذ برخی دیگر جلوگیری می‌کند که به آنان «فاز برگشتی»^۲ گفته می‌شود. از این فرآیند می‌توان به عنوان جایگزین مناسبی

برای فرآیندهای سنتی مانند تقطیر، تبخیر یا استخراج استفاده کرد.

فناوری غشایی یک روش نوین و پیشرفته برای جداسازی مواد در حد مولکولی و یونی است. این روش جداسازی از ابتدا دهه ۱۹۷۰ میلادی در صنایع لبنی به کار می‌رود. در ابتدا فیلتراسیون به وسیله صافی‌های معمولی انجام می‌شده که به‌طور شاخص برای جداسازی ذرات معلق بزرگتر از ۱۰ میکرون قابل استفاده بوده است. درحالی‌که صافی‌های غشایی امروزه قادرند موادی با اندازه مولکولی کمتر از ۱۰ میکرون را جدا کنند و همچنین هر کدام از فرآیندهای غشایی میکروفیلتراسیون^۳ (MF)، اولترافیلتراسیون^۴ (UF)، نانوفیلتراسیون^۵ (NF) و اسمز معکوس^۶ (RO) قابلیت جداسازی مواد با ابعاد مشخصی را دارند که در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: گستره کاربرد فرآیندهای جداسازی غشایی در صنایع لبنی [۳]

1. Permeate
2. Retentate
3. Microfiltration
4. Ultrafiltration
5. Nanofiltration
6. Reverse osmosis



فیلتراسیون

فیلتراسیون به معنای جداسازی برخی از اجزای یک ماده می‌باشد که امروزه با استفاده از فناوری‌های غشایی نوین و پیشرفته انجام می‌گیرد به گونه‌ای که این غشاءها غالباً دارای منافذ ریزی بوده و تحت یک عملیات فشاری این فرآیند جداسازی و تفکیک صورت می‌گیرد. انواع فناوری‌های غشایی مورد استفاده در صنایع لبنی و برخی از شرایط کاری و کاربردهای آن‌ها را در جدول (۱) مشاهده می‌کنید.

انواع روش‌های فیلتراسیون با استفاده از فناوری‌های غشایی براساس عبور مواد از میان غشاء طبقه‌بندی شده‌اند که در ادامه این مقاله به معرفی و بررسی هر یک از روش‌های مورد استفاده و معرفی کاربردهای هر یک و تشریح برخی از مهم‌ترین کاربردهای آن در فرآوری محصولات لبنی خواهیم پرداخت.

جدول ۱: انواع فناوری‌های غشایی و مورد استفاده در صنایع لبنی [۱۷]

Type	Pore size	Molecular weight cut off	Pressure and Principle	Compounds in retentate	Use
Microfiltration	10101-1- μm	>200kDa	Low pressure (below 1 bar) driven membrane process	Low retentate, separation of protein, bacteria and other particulates	- Skim milk and cheese
Ultrafiltration	101-10-2- μm	1200-kDa	Medium pressure (1- 10 bar) pressure driven process to overcome the viscosity	Large retentate with casein micelles, fat globules, colloidal minerals, bacteria and somatic cells	- Standardization of milk, reduction of calcium and lactose
Nanofiltration	102-10-3- μm	3001000-Da	Medium to high pressure (2040- bar), mass transfer phenomena by size exclusion and electrostatic interactions,	Low productivity, separate monovalents salt and water	Desalting of whey, lactose free milk, volume reduction.
Ultrafiltration	101-10-2- μm	1200-kDa	Medium pressure (1- 10 bar) pressure driven process to overcome the viscosity	Large retentate with casein micelles, fat globules, colloidal minerals, bacteria and somatic cells	- Standardization of milk, reduction of calcium and lactose.
Reverse osmosis or Hyperfiltration	103-10-4- μm	100 Da	High pressure, (3060- bar)	Based on the principle solubility, productivity	Volume reduction, recovery of total solids and water



۱-۱- تولید شیر با قابلیت ماندگاری طولانی (Esl)

یکی از کاربردهای میکروفیلتراسیون در کارخانه‌های لبنی، جداسازی باکتری‌ها و اسپورها است. استفاده از روش میکروفیلتراسیون به جای روش‌های معمول مانند فراپاستوریزاسیون^۱ باعث حفظ کیفیت شیر و کاهش تغییرات در خواص شیمیایی شیر مانند دناتوراسیون^۲ پروتئین‌های شیر می‌شود.

در این روش باتوجه به اینکه گلبول‌های چربی از قطر منافذ غشاهای میکروفیلتراسیون بزرگتر هستند از این غشاها عبور نکرده و به صورت یک لایه پشت غشاء باقی می‌مانند که باعث کاهش دبی شیر عبوری از غشاء شده و نیاز به عملیات تمیزسازی غشاء را بالا می‌برد. برای رفع این مشکل از سامانه‌ای به نام "باکتوکچ" استفاده می‌کنند. در این سامانه ابتدا چربی شیر را گرفته و شیر بدون چربی را از غشاء میکروفیلتراسیون عبور داده، سپس چربی استخراج‌شده را با آن بخشی از شیر بدون چربی که پشت غشاء میکروفیلتراسیون مانده و عبور نکرده^۳ و تقریباً تمام باکتری‌ها و اسپورها در آن باقی مانده است مخلوط می‌کنند و سپس این مخلوط را تحت عملیات حرارتی با دمای ۱۱۵ تا ۱۳۶ درجه سانتی‌گراد و به مدت چهار تا شش ثانیه قرار می‌دهند، در ادامه آن را با شیر عبوری^۴ از غشاء میکروفیلتراسیون مخلوط کرده و تحت عملیات پاستوریزاسیون قرار داده و در انتها آن را به صورت اسپتیک^۵ بسته‌بندی می‌نمایند.

در نتیجه تنها کمتر از ۱۰ درصد شیر تحت عملیات حرارتی با دمای بسیار بالا قرار گرفته که باعث افزایش قابل توجه کیفیت حسی شیر می‌گردد. مراحل این فرآیند را در شکل (۲) مشاهده می‌کنید و همچنین شکل (۳) نماهای مختلف این دستگاه را نشان می‌دهد.

در ادامه این مقاله، انواع فناوری‌های غشایی را نام برده و سپس به معرفی و تشریح نحوه کار و کاربرد هر یک پرداخته می‌شود، که عبارت‌اند از:

۱- میکروفیلتراسیون یا زیرپالایش (MF)

۲- اولترافیلتراسیون یا فراپالایش (UF)

۳- نانوفیلتراسیون (NF)

۴- اسمز معکوس (Ro)

اکنون به معرفی و تشریح نحوه کار و کاربرد هر یک از موارد نام برده شده در بالا می‌پردازیم.

۱- میکروفیلتراسیون یا زیر پالایش (MF)

یک فرآیند جداسازی غشایی است که قطر منافذ غشاء آن بین ۰/۱ تا ۱۰ میکرون بوده و نیاز به فشار عملیاتی کمتر از یک بار (Bar) دارد و اجازه عبور به باکتری و چربی و برخی از پروتئین‌ها را از منافذ غشاء خود نمی‌دهد بنابراین برای جداسازی این ذرات از ماده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از مهم‌ترین کاربردهای آن در صنایع لبنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تولید شیر با قابلیت ماندگاری طولانی (Esl)

۲- تولید پروتئین آب پنیر خالص

۳- کاهش جمعیت میکروبی در شیر پس‌چرخ و آب پنیر

۴- پیش‌فرآوری شیر مورد استفاده در پنیرسازی

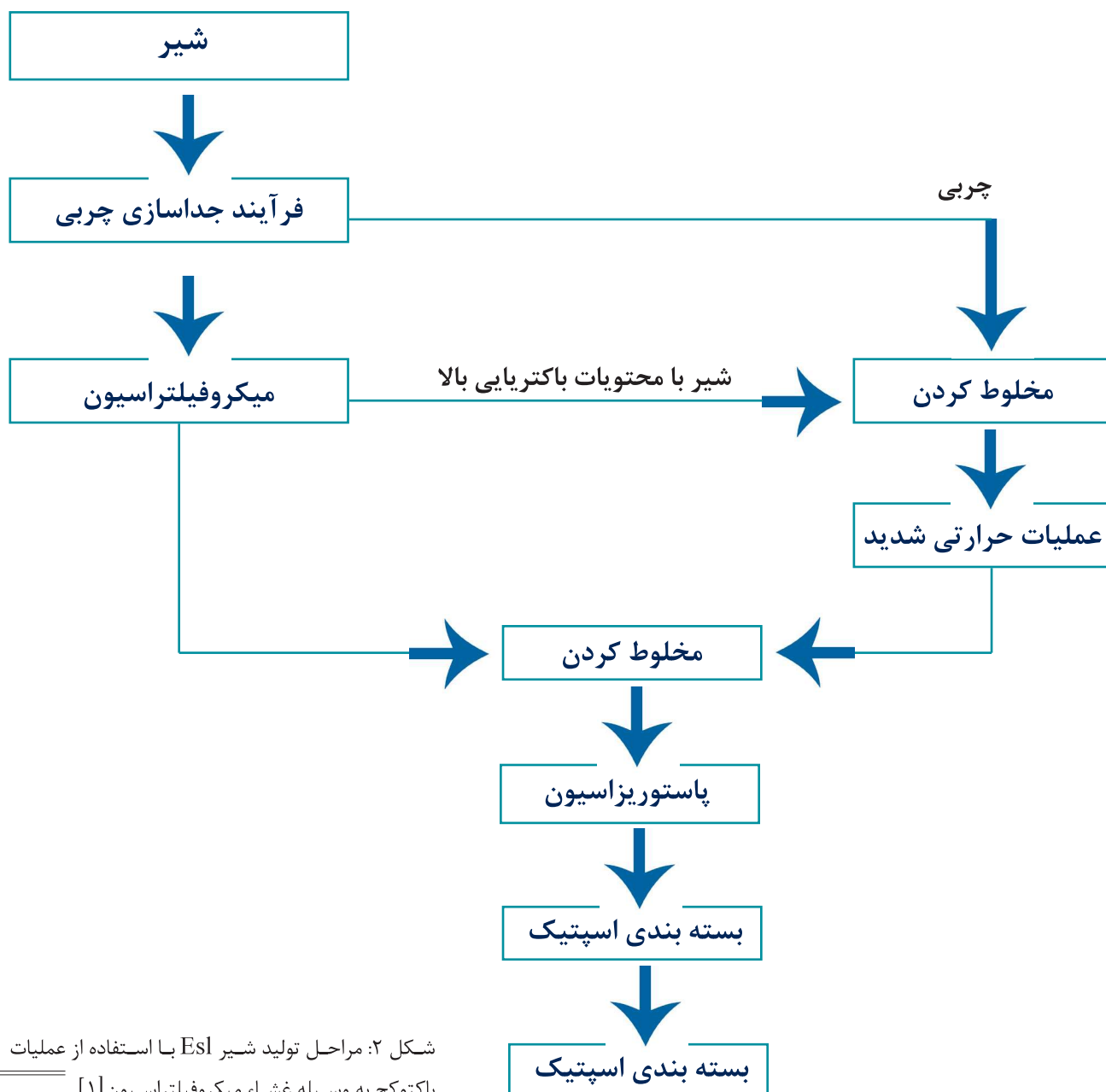
۵- حذف چربی از آب پنیر

۶- جداسازی پروتئین‌ها

تشریح برخی از مهم‌ترین کاربردهای میکروفیلتراسیون در صنایع لبنی :

1. Ultra pasteurization
2. Denaturation
3. Retentate
4. Permeate
5. Aseptic





شکل ۲: مراحل تولید شیر Esl با استفاده از عملیات باکترکچ به وسیله غشاء میکروفیلتراسیون [۱]



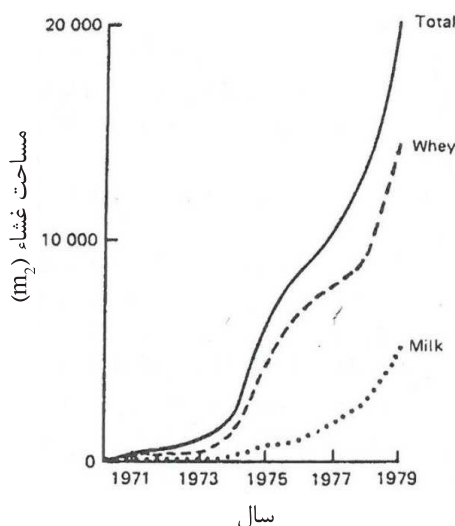
شکل ۳: نماهای مختلف از دستگاه باکترکچ در ابعاد کوچک [۲۲]





شکل ۴: دستگاه اولترافیلتراسیون صنعتی [۲۱]

در صنایع لبنیات فرآورده‌های غشایی اولترافیلتراسیون اولین بار در سال ۱۹۷۱ به کار برده شد و سپس با توجه به کارایی خوب آن هر ساله میزان استفاده افزایش یافت. به طور مثال همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌کنید از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ مساحت استفاده از این غشاء به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده است.



شکل ۵: مساحت غشای اولترافیلتراسیون در صنایع لبنیات-رشد در مدت ۱۰ سال ۱۹۷۰-۱۹۸۰؛ (داده‌ها از پنج کارخانه-ابکور، دی.دی.اس، پی.سی.آی، رون-پولنک و رومیکون بدست آمده است).

از مزایای استفاده از غشاء میکروفیلتراسیون در تولید شیر با ماندگاری بالا (Esl) می‌توان به بهبود کیفیت میکروبی شیر، افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه عملیات و کیفیت بالاتر در مقایسه با روش‌های معمول حرارتی اشاره کرد.

۱-۲- تولید پروتئین آب پنیر خالص

تولید پروتئین آب پنیر خالص یکی از دلایل عمده استفاده از غشاء میکروفیلتراسیون در صنایع لبنی جهت تغلیظ میسل‌های کازئین در شیر پنیرسازی است. پروتئین آب پنیر به دست آمده، به نام پروتئین آب پنیر خالص نامیده می‌شود. پروتئین آب پنیر خالص یکی از اجزای با ارزش شیر بوده که به وسیله میکروفیلتراسیون با جریان متقاطع^۱ و فشار بین غشایی یکنواخت (UTP)^۲ می‌توان آن را به صورت مداوم جدا کرد. پروتئین آب پنیر خالص در تهیه مواد غذایی با کیفیت تغذیه‌ای بالا مورد استفاده می‌باشد.

۲- اولترافیلتراسیون یا فراپالایش (UF)

یک فرآیند جداسازی غشایی است که قطر منافذ غشاء آن بین ۰/۱ تا ۰/۱ میکرون و نیاز به فشار عملیاتی یک تا ده بار (Bar) دارد و اجازه عبور به باکتری و چربی و پروتئین را از منافذ غشاء خود نمی‌دهد بنابراین برای جداسازی این ذرات از ماده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که در شکل (۴) نمونه‌ای از این دستگاه را مشاهده می‌کنید. اصول اولترافیلتراسیون به دو شکل فیلتراسیون با جریان مورب، جایی که مواد تغذیه به طور موازی با سطح غشاء جریان می‌یابد و فیلتراسیون با انتهای بسته، جایی که امتداد جریان عمود بر سطح غشاء می‌باشد، رایج است.

1. low microfiltration
2. Uniform transmembrane



۳- نانوفیلتراسیون (NF)

یک فرآیند جداسازی غشایی است که قطر منافذ غشاء آن بین ۰/۰۱ تا ۰/۱ میکرون و نیاز به فشار عملیاتی ۲۰-۴۰ بار (Bar) دارد و اجازه عبور به باکتری، چربی، پروتئین، لاکتوز و برخی از مواد معدنی را نمی‌دهد. بنابراین برای جداسازی این ذرات از ماده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نانوفیلتراسیون یکی از فناوری‌های غشایی نوین و پیشرفته بوده که باتوجه به فشار عملیاتی نسبتاً پایین و هزینه‌های عملیاتی مناسب، جایگاه ویژه‌ای را در زمینه جداسازی غشایی پیدا کرده است. همچنین یکی از زمینه‌های کاربرد نانوتکنولوژی می‌باشد.

از مهم‌ترین کاربردهای آن در صنایع لبنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- حذف مواد معدنی از آب پنیر

۲- جداسازی اسیدلاکتیک از آب پنیر

۳- تغلیظ جزء به جزء آب پنیر

تشریح برخی از مهم‌ترین کاربردهای نانوفیلتراسیون در صنایع لبنی:

۳-۱- حذف مواد معدنی از آب پنیر

جداسازی مواد معدنی از آب پنیر سبب افزایش ارزش آن‌ها می‌گردد. آب پنیر غنی از نمک و اسید است، در نتیجه جداسازی مواد معدنی از آن‌ها قبل از مصرف ضروری است. غشاءهای نانوفیلتراسیون، بهترین راه برای حذف مواد معدنی از آب پنیر می‌باشند زیرا نسبت به نمک و یون‌های تک‌ظرفیتی تراوا و نسبت به دیگر ترکیبات آلی ناتراوا هستند.

گروه کربوکسیل از ترکیبات آلی را در شرایط اسیدی و به وسیله غشاء نانوفیلتراسیون می‌توان جداسازی کرد. با استفاده از نانوفیلتراسیون، مواد معدنی موجود در آب پنیر به میزان ۳۵ درصد کاهش یافته و آن را برای افراد دارای بیماری قلبی و عروقی مناسب می‌سازد.

از مهم‌ترین کاربردهای آن در صنایع لبنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تولید پنیرهای نرم و نیمه سخت

۲- تغلیظ و استاندارد کردن پروتئین شیر و آب پنیر

۳- حذف چربی از آب پنیر

تشریح یکی از مهم‌ترین کاربردهای اولترافیلتراسیون در صنایع لبنی:

تولید پنیرهای نرم و نیمه سخت

اغلب استفاده مستقیم از اولترافیلتراسیون در صنعت لبنیات جهت تولید پنیرهای نرم و نیمه سخت می‌باشد؛ به طوری که انتظار می‌رود وسیع‌ترین کاربرد آن نیز باشد. در این حالت، شیر اولترافیلترشده، به‌طور مؤثری جایگزین اولترافیلتراسیون آب پنیر می‌شود زیرا الحاق پروتئین‌های آب پنیر به درون پنیر هدف می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد اساس ساخت پنیر به کمک شیر اولترافیلترشده الحاق پروتئین‌های آب پنیر در پنیر و جذب آن‌ها به جهت ایجاد افزایش در بازده تولید می‌باشد. در این روش پروتئین‌هایی که در روش‌های معمول قبلی به داخل آب پنیر وارد می‌شدند (تقریباً ۲۰ درصد پروتئین‌های شیر)، در پنیر باقی مانده و از این اتلاف جلوگیری به عمل می‌آید.

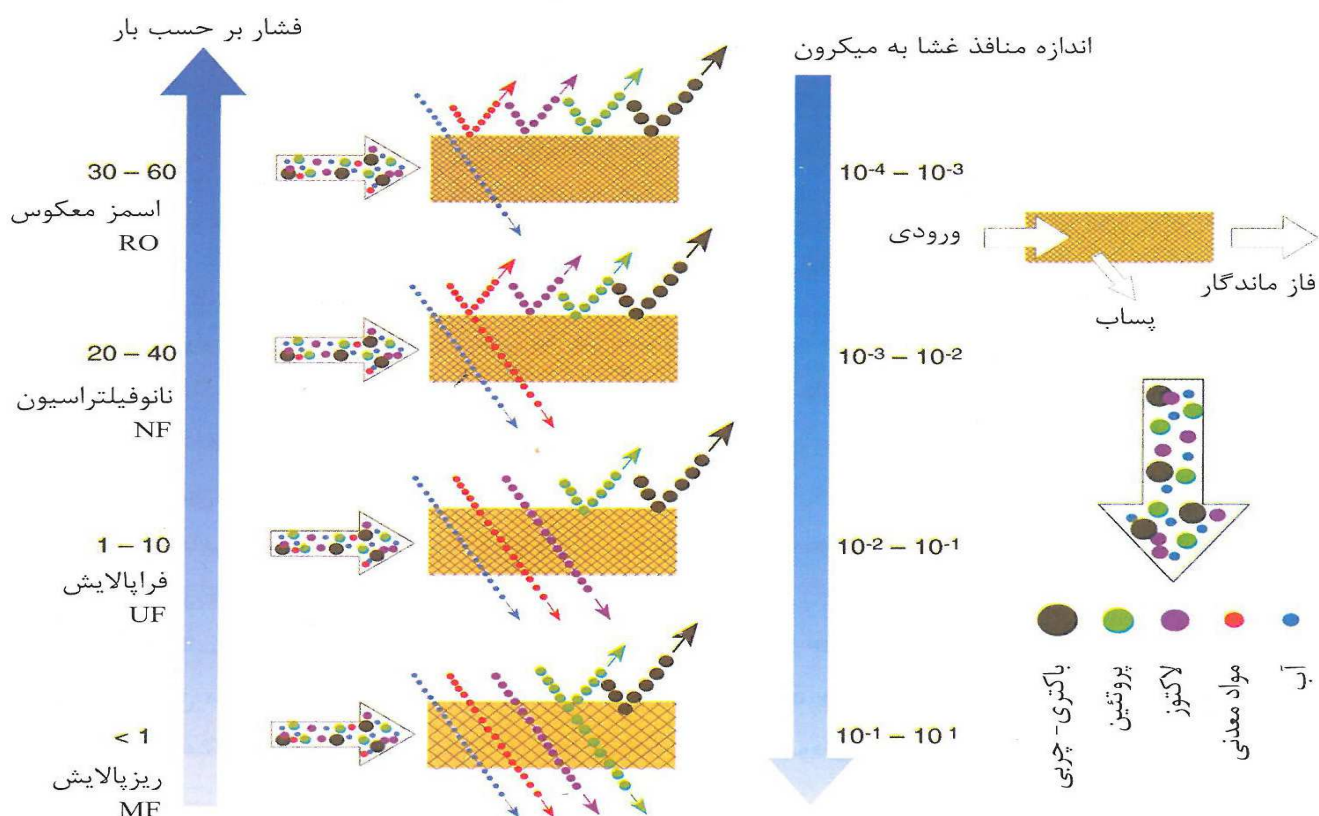
در این روش شیر به وسیله غشاء اولترافیلتراسیون تغلیظ شده و بنابراین آب کمتری موقع پنیرسازی از دست می‌دهد، در نتیجه پروتئین‌های بسیار کمتری وارد آب پنیر شده و باعث افزایش حفظ پروتئین به عنوان یک ماده مغذی در پنیر شده و بازده تولید افزایش پیدا می‌کند.

استفاده از این روش در تولید پنیر یک مشکل داشته که آن افزایش ظرفیت بافتری است که در این صورت از فعالیت کشت‌های میکروبی (استارتر و آغازگر) کاسته یا قطع می‌شود. برای رفع این مشکل می‌بایست شیر را قبل از اولترافیلتراسیون اسیدی کرده تا فعالیت کشت‌های میکروبی به مشکل برنخورد.



میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون مواد معدنی را از خود عبور می‌دهند و اسمز معکوس نیز اجازه عبور به هیچ‌یک از مواد معدنی را نمی‌دهد.

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌کنید در نانوفیلتراسیون بخشی از مواد معدنی عبور و بخشی باقی می‌ماند که برای حذف مواد معدنی معینی از آب پنیر مناسب می‌باشد درحالی‌که دو غشاء



شکل ۶: اصول جداسازی و تفکیک ذرات به وسیله غشاهای نوین [۳]

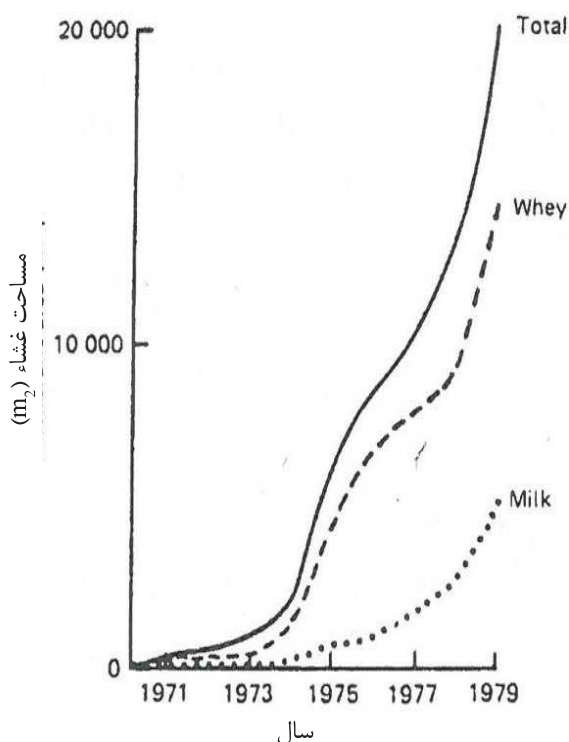
۳-۲- جداسازی اسیدلاکتیک از آب پنیر

هم قابل انجام می‌باشد اما باتوجه به نفوذ بیشتر آب و یون‌های تک‌ظرفیتی در غشاهای نانوفیلتراسیون نسبت به غشاهای اسمز معکوس، روش نانوفیلتراسیون قابلیت و کاربرد بیشتری داشته و محصول اسیدلاکتیک حاصله دارای کیفیت و تخلیص بالاتری می‌باشد.

اسیدلاکتیک به عنوان عامل اسیدی‌کننده و نگهدارنده در محصولات غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌عنوان مثال در فرآورده‌های گوشتی - پروتئینی به‌عنوان یک عامل نگهدارنده (ضدمیکروب) استفاده می‌شود. این فرآیند توسط اسمز معکوس



۴- اسمز معکوس (Ro)



شکل ۷: مساحت غشای اسمز معکوس در صنایع لبنیات، نرخ رشد در مدت ۱۰ سال ۱۹۷۰-۱۹۸۰؛
(داده‌ها از دو کارخانه دی.دی.اس و پی.سی.آی به دست آمده است.)

جمع‌بندی

هدف از انجام عملیات فیلتراسیون به‌وسیله فناوری‌های غشایی نوین و پیشرفته جداسازی مواد در حد مولکولی و یونی می‌باشد. استفاده از این فناوری‌های غشایی باتوجه به بهبود ویژگی‌های کیفی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی افزایش بازده تولید، جلوگیری از اتلاف مواد مغذی، کاهش مصرف انرژی و ایجاد فرآورده‌های اشتقاقی متنوع، باعث مهیا شدن شرایط رشد و تکوین این فناوری در واحدهای تولیدی شده است. دسته‌بندی‌های صورت‌گرفته برای غشاءهای موجود براساس قابلیت عبور دادن مواد براساس اندازه و وزن مولکولی از منافذ

یک فرآیند جداسازی غشایی است که قطر منافذ غشاء آن بین 0.001 تا 0.0001 میکرون و نیاز به فشار عملیاتی $30-60$ بار (Bar) دارد و فقط اجازه عبور به آب را می‌دهد بنابراین برای جداسازی آب محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در اسمز طبیعی، حلال از طرف رقیق غشاء عبور کرده و وارد قسمت تغلیظ یافته می‌شود؛ بنابراین محلول رقیق شده و در همان زمان یک نوع فشار برقرار می‌گردد. در این حالت اگر یک فشار داخلی بزرگتر از فشار اسمزی در قسمت تغلیظ یافته به کار برده شود؛ آنگاه فرآیند معکوس خواهد شد و حلال از سوی مواد تغلیظ یافته به‌درون قسمت رقیق برخواهد گشت؛ این فرآیند مبنای اسمز معکوس می‌باشد.

استفاده از غشاءهای اولترافیلتراسیون نیز همانند بقیه مواد باتوجه به کارایی خوب آن، هر ساله میزان زیادی افزایش یافته است. همانطور که در شکل (۷) مشاهده می‌کنید از سال ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ میلادی مساحت استفاده از این غشاء به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده است.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای اسمز معکوس در صنایع لبنیات، تغلیظ و آب‌گیری از آب پنیر می‌باشد که در ادامه به تشریح آن می‌پردازیم.

تغلیظ و آب‌گیری از آب پنیر

بیشترین کاربرد اسمز معکوس در صنایع لبنی، تغلیظ آب پنیر جهت تسهیل کنترل، انتقال، نگهداری و به‌کارگیری به‌عنوان یک مرحله آغازین در خشک‌کنی می‌باشد. در مراحل آغازین تغلیظ آب پنیر، روش استفاده از غشاء اسمز معکوس انرژی خیلی کمتری نسبت به عمل تبخیر مصرف می‌کند، پس استفاده از این روش به‌صرفه‌تر می‌باشد.

منابع و مآخذ



- ۱- آغباشلو، مرتضی، ۱۳۹۷، ماشین‌های صنایع غذایی ۱، جزوه درسی دانشگاه تهران
- ۲- اسمیت، گریت، ۱۳۸۶، فرآوری شیر بهبود کیفیت فرآورده‌های لبنی، مترجم: رضوان پوراحمد و وجیهه فدائی، انتشارات مرز دانش
- ۳- بولوند، یوستا، ۱۳۹۲، صنعت شیر، مترجم: فرهاد فرهنودی، انتشارات شباهنگ
- ۴- پ. ف. فاکس - پ. ل. مک سوئینی، ۱۳۸۹، شیمی و بیوشیمی شیر و محصولات لبنی، مترجم: علی اصغر میرزا آقاتبار، انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی
- ۵- پی - والسترا، ۱۳۸۸، تکنولوژی شیر و فرآورده‌های لبنی، مترجم: دکتر سیدعلی مرتضوی و همکاران، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد
- ۶- تیموری یانسری، اسدا...، ۱۳۸۵، تولید شیر و فرآوری آن، انتشارات آوای مسیح
- ۷- دزفولی زاده، فرح و لیلا وفاجو، ۱۳۸۴، مطالعه نانوفیلتراسیون برای تغلیظ و املاح زدایی در صنعت لبنیات: مدلی برای انتقال جرم، دهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- ۸- سردابی، فاطمه و عزیز همایونی‌راد، ۱۳۹۰، مروری بر کاربردهای میکروفیلتراسیون در صنعت لبنیات،

موجود در غشاءها است که به ترتیب میکروفیلتراسیون یا ریزپالایش، اولترافیلتراسیون یا فراپالایش، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس، بزرگ‌ترین وزن مولکولی را از خود عبور می‌دهند بنابراین دارای بزرگ‌ترین منافذ می‌باشند؛ بدین معنا که اسمز معکوس دارای کوچک‌ترین منافذ غشایی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به مطالب بیان شده در این مقاله، غشاءهای میکروفیلتراسیون یا ریزپالایش برای جداسازی ذرات درشت مانند باکتری و چربی و برخی از پروتئین‌ها مناسب بوده و دارای پایین‌ترین فشار عملیاتی موردنیاز می‌باشند. غشاءهای اولترافیلتراسیون یا فراپالایش علاوه بر جداسازی باکتری و چربی، قابلیت جداسازی ذرات ریزتری مانند تمام پروتئین‌های موجود در شیر و آب پنیر را دارند و باتوجه به محدوده جداسازی تقریباً یکسان این دو مورد برخی از کاربردهای آن‌ها یکسان بوده و بعضاً به صورت ترکیبی انجام می‌شود؛ مانند حذف چربی از آب پنیر که جزو کاربرد هر دو هست. غشاءهای نانوفیلتراسیون منافذ ریزتری نسبت به دو مورد قبلی داشته و علاوه بر ذراتی که دو غشاء قبلی می‌توانند جداسازی کنند قابلیت جداسازی لاکتوز و برخی از موادمعدنی را هم دارند و همچنین فشار عملیاتی بالاتری را نیاز دارند. اسمز معکوس نیز که ریزترین منافذ غشایی را برای عبور مواد دارد فقط اجازه عبور آب را از منافذ خود می‌دهد و بالاترین فشار عملیاتی را باتوجه به ریزترین منافذ دارد و عمدتاً جهت تغلیظ و آب‌گیری به کار می‌رود.

در نهایت از مطالب این مقاله نتیجه می‌شود که یکی از مهم‌ترین مزایای این فناوری‌های غشایی این است که این فرآیندها، فرآیندهایی غیرحرارتی بوده و اثرات نامطلوب قبلی همچون افزایش حرارت، دناتوراسیون پروتئین‌ها و تغییر در خواص حسی محصول را به حداقل می‌رساند و از سوی دیگر باعث حذف اجزای ناخواسته نیز می‌گردد.



بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، تهران، دانشگاه صنعتی شریف،
 ۹- صادقی شبستری، سهند و فرشید پژوم شریعتی، ۱۳۹۵، کاربرد فیلتراسیون در صنعت لبنیات دومین
 کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی، تهران، کنفدراسیون
 بین‌المللی مخترعان جهان (IFIA)، دانشگاه جامع علمی کاربردی
 ۱۰- فرشادفر، شهلا، ۱۳۸۵، فرآوری شیر و تکنولوژی تولید محصولات شیری، انتشارات کارور
 ۱۱- گل‌اور، ۱۳۸۵، اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس در صنایع لبنیات، مترجمان: ناصر شفقتیان و صابر
 کاظمی، انتشارات دانشگاه زنجان
 ۱۲- میرنظامی ضیابری، سیدحسن و همکاران، ۱۳۷۸، از شیر چه می‌دانید (شیمی و تکنولوژی شیر)،
 انتشارات علوم کشاورزی

13- Balannec, B., Vourch, M., Rabiller- Baudry, M. and Chaufer, B. 2005. Comparative study of different nanofiltration and reverse osmosis membranes for dairy effluent treatment by dead-end filtration. *Sep. Purif. Technol.* 42:195200-.

14- Greiter, M., Novalin, S., Wendland, M., Kulbe, K. D. and Fischer, J. 2002. Desalination of whey by electrodialysis and ion exchange resins: analysis of both processes with regard to sustainability by calculating their cumulative energy demand. *J. Memb. Sci.* 210: 91102-.

15- Holdich, R. G., Cumming, I. W., Kosvintsev, S., Bromley, A. J., and Stefanini, G. 2003, Clarification by slotted surface microfilters. *Minerals Engineering*, 16, pp. 121128-.

16- Kelly, P. M., Horton, B. S. and Burling, H. 1991. Partial demineralization of whey by nanofiltration. In: *New applications of membrane processes. IDF Bulletin 9201 Brussels, Belgium.* Pp. 130140-.

17- Kumar, p., sharma, N., Ranjan, R., Kumar, S., Bhat, Z.F. and Jeong, D.K. 2013. Perspective of membrane Technology in Dairy Industry. *Asian Australas. J. Anim.Sci.* 26, 9: 13471358-.

18- Lipnizki, F. 2010. Cross-flow membrane applications in the food industry. In: *Membrane Technology, Vol.3: Membranes for Food Applications* (Ed. Klaus-Viktor Peinemann, Suzana Pereira Nunes, and Lidietta Giorno). WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim.

19- Prudencio, E., Debon, J., Petrus, J. C. C. 2010, Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered dermented milk. *Journal of Food Engineering* 99, pp. 128135-.

20. Vourch, M., Bakanec, B., Chaufer, B. and Dorange, G. 2005. Nanofiltration and reverse osmosis of model process waters from the dairy industry to produce water for reuse. *Desalination* 172:245265-.

21- www.redaspa.com

22- www.useddairyequipment.com