بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی شیمی، گرایش ترموسنتیک و کاتالیست

عنوان:

تصفیه پساب‌های لبنی با استفاده از غشا الیاف توخالی نانوساختار پلی‌اترسولفون

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا باکری

دانشجو:

شبنم لطفی

دی ۱۳۹۳

باسمه تعالی

دانشگاه صنعتی نوشیروانی

بابل

معاونت اموزتسی

تحصیلات تکمیلی تدع

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: شبنم لطفی

شماره دانشجوئی : ۹۱٤۲۵۰۰۱٤

رشته تحصیلی:مهندسی شیمی

مقطع : کارشناسی ارشد

سال تحصیلی :اول ۹٤-۹۳

عنوان پایان نامه :

" تصفیه پساب های لبنی با استفاده از غشا الیاف تو خالی نانوساختار پلی اتر سولفون "

تاریخ دفاع :

نمره پایان نامه (به عدد) : ۱۹/۸

نمره پایان نامه (به حروف): نوزده و هشتم

هیات داوران :

استاد راهنما : دکتر غلامرضا باکری امضاء

استاد مشاور: :---- امضاء

استاد مدعو : دکتر تقی زاده

استاد مدعو : دکتر مصطفی رحیم نژاد امضاء

نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر مائده محمدی امضاء

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج و مالکیت مادی ومعنوی

باسمه تعالی

اینجانب شبنم لطفی به شماره دانشجویی ۹۱۴۲۵۰۰۱۴ دانشجوی رشته‌ی مهندسی شیمی/ترموسینتسک کاتالیست مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه‌ی ارشد تحت عنوان ***تصفیه پساب‌های لبنی با استفاده از غشا الیاف توخالی نانوساختار پلی‌اترسولفون*** به استاد راهنمایی آقای دکتر غلامرضا باکری حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. درصورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت. در ضمن تمام دستاوردهای مادی و معنوی حاصله از پایان نامه ارشد/ رساله دکتری متعلق به دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل می باشد و اینجانب هیچ گونه ادعایی در قبال آن ندارم.

نام و نام خانوادگی: شبنم لطفی

امضا و تاریخ:

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

تشکر و قدردانی:

از تمامی کسانی که مستقیم یا غیرمستقیم مرا در نگارش این پایان‌نامه یاری نمودند به خصوص جناب آقای دکتر غلامرضا باکری استاد راهنمای اینجانب نهایت قدردانی را به عمل می‌آورم. ناگفته نماند از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمودند تا با حمایت‌های همه جانبه آن‌ها در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم سپاسگزاری می‌نمایم. از سرکار خانم فلاح نژاد و سرکار خانم نعیمی فرد که دوست و همراه من در طول پایان نامه بوده‌اند، سپاس‌گزارم و از خداوند منان سلامت و سعادت ایشان را خواستارم.

با توجه به مشکلاتی که پساب‌های حاصل از صنایع لبنی برای محیط زیست به وجود می‌آورند و با در نظر گرفتن ارزش بالای تغذیه‌ای مواد موجود در آب پنیر از جمله پروتئین‌ها، مبحث تصفیه پساب و جداسازی این مواد ارزشمند مطرح می‌شود. فرآیند اولترافیلتراسیون به دلیل کاربردهای وسیع آن در صنایع لبنی از توجه ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از تکنولوژی غشایی سبب می‌شود علاوه بر بازیابی محتوای ارزشمند آب پنیر، از آلودگی محیط زیست و خطرات احتمالی آن برای گیاهان و جانوران در صورت دفع شدن به محیط زیست، جلوگیری شود.

در این پژوهش پنج غشا الیاف توخالی نانوساختار پلی‌اتر سولفون با اندازه حفرات و خصوصیات مختلف در شرایط عملیاتی متفاوت مورد بررسی قرار گرفتند. در آزمایشات انجام شده در این پژوهش، اثر پارامترهای عملیاتی دما (سه دمای ۲۷ °C، ۳۵ °C، ۴۳ °C)، فشار (سه فشار ۱ bar و ۲ bar، ۳ bar) و سرعت جریان عرضی خوراک بر شار جریان عبوری، پس دهی پروتئین، عبور لاکتوز و مقاومت گرفتگی بررسی و تحلیل شد. با افزایش فشار، شار افزایش پیدا کرد ولی این افزایش در فشارهای پایین‌تر محسوس‌تر بود. علاوه بر این با توجه به افزایش گرفتگی و کاهش بازیابی شار، فشارهای بالا مناسب تشخیص داده نشد. افزایش دما تأثیر مثبتی بر شار داشت اگرچه با توجه به بازه تحمل دمایی تجهیزات و دناتوره شدن پروتئین‌های آب پنیر در دماهای بالاتر، آزمایشات در دمای پایین‌تر از ۴۳ °C انجام شد. افزایش سرعت جریان عرضی خوراک با افزایش تلاطم و کاهش گرفتگی بر روی سطح غشا، باعث افزایش شار شد. تأثیر این پارامترها بر درصد پس دهی پروتئین و عبور لاکتوز ناچیز بود. به طور تقریبی در تمامی آزمایشات لاکتوز به طور کامل عبور کرده و بیشینه درصد پس دهی برای پنج غشا M_1، M_2، M_3، M_4 و M_5 به ترتیب برابر با ۸۹/۸۱٪، ۹۱/۱۰٪، ۹۰/۸۸٪، ۹۰/۹۸٪ و ۸۹/۲۶٪ بوده است. دو غشا M_4 و M_5 با نانوذرات TiO_2 و Zeolite 4A اصلاح سطح شده بودند. تأثیر افزودن این نانو ذرات مثبت و قابل توجه بود. بهترین نتایج مربوط به این دو غشا بود به طوری که این دو غشا شار بالاتر، مقاومت گرفتگی کمتر و درصد بازیابی شار مطلوبتری داشتند.

در حالت کلی می‌توان گفت که عملکرد غشا نانوساختار پی‌اترسولفون برای تصفیه و تغلیظ آب پنیر رضایت بخش و امیدوار کننده بوده است.

کلمات کلیدی: فرآیند اولترافیلتراسیون، غشا الیاف توخالی، غشا نانوساختار پلی‌اترسولفون، آب پنیر، پروتئین

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱ کلیات

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ آب پنیر ۲

۱-۲-۱ پروتئین های آب پنیر ۵

۱-۲-۱-۱ لاکتوفرین ۷

۱-۲-۱-۲ ایمونوگلوبولین ها ۷

۱-۲-۱-۳ بتالاکتوگلوبولین ۸

۱-۲-۱-۴ آلفالاکتالبومین ۹

۱-۲-۱-۵ گلیکوماکروپپتید ۱۱

۱-۳ تغلیظ آب پنیر- تلاش های اولیه ۱۲

۱-۳-۱ خشک کردن آب پنیر ۱۳

۱-۴ تغلیظ و تصفیه آب پنیر – روش های نوین: فیلتراسیون غشایی ۱۳

۱-۵ اهداف پژوهش ۱۵

۱-۶ چگونگی تنظیم و روند نگارش ۱۶

فصل ۲ مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱ فیلتراسیون غشایی ۱۷

۲-۲ پارامترهای فیزیکی فرآیندهای غشایی ۱۹

۲-۲-۱ پارامترهای مؤثر بر شار و پس دهی ۲۰

۲-۳ میکروفیلتراسیون (MF) ۲۶

۲-۴ اولترافیلتراسیون (UF) ۲۸

۲-۴-۱ استفاده از جریان عبوری اولترافیلتراسیون ۲۹

۲-۴-۲ دیافیلتراسیون ۳۰
۲-۵ نانوفیلتراسیون (NF) ۳۲
۲-۶ اسمزمعکوس (RO) ۳۳
۲-۷ الکترودیالیز ۳۴
۲-۸ گرفتگی غشا ۳۵
۲-۹ پلاریزاسیون غلظتی ۳۷
۲-۱۰ بهداشت و تمیزکردن غشا ۳۹
۲-۱۱ مواد تشکیل دهنده غشا ۴۳
۲-۱۱-۱ سلولز استات ۴۵
۲-۱۱-۲ پلی سولفون و پلی اتر سولفون ۴۷
۲-۱۱-۳ پلی آمید ۴۸
۲-۱۱-۴ پلی اترایمید ۴۸
۲-۱۱-۵ پلی وینیلیدین فلوراید ۴۸
۲-۱۱-۶ پلی تترافلورواتیلن ۵۰
۲-۱۱-۷ پلی اکریلونیتریل ۵۰
۲-۱۱-۸ پلی پروپیلن ۵۰
۲-۱۱-۹ سلولز احیاشده ۵۰
۲-۱۱-۱۰ کامپوزیت ۵۰
۲-۱۱-۱۱ مواد معدنی ۵۱
۲-۱۲ اندازه گیری حفرات غشا ۵۱
۲-۱۳ مدول های فرآیندهای فیلتراسیون غشایی ۵۱
۲-۱۳-۱ مدول لوله ای ۵۲
۲-۱۳-۲ مدول قاب و صفحه ۵۲
۲-۱۳-۳ مدول پیچشی ۵۳
۲-۱۳-۴ مدول الیاف توخالی ۵۵

۲-۱۴ مروری بر مطالعات انجام شده پیشین..... ۵۶
۲-۱۵ استفاده از عملیات چندمرحله ای..... ۶۴
۲-۱۶ غشا الیاف توخالی پلی اترسولفون..... ۷۷
۲-۱۶-۱ غشا الیاف توخالی..... ۷۷
۲-۱۶-۲ اصلاح غشا..... ۷۹
۲-۱۶-۲-۱ اصلاح سطح با افزودن نانوذره..... ۷۹

فصل ۳ مواد و روش ها

۳-۱ مقدمه..... ۸۴
۳-۲ مواد، لوازم و دستگاه‌ها..... ۸۴
۳-۳ مواد..... ۸۴
۳-۳-۱ خوراک..... ۸۴
۳-۳-۲ غشا..... ۸۵
۳-۳-۳ محلول شوینده برای شستشوی شیمیایی غشا..... ۸۶
۳-۳-۴ مواد لازم برای آنالیز پروتئین..... ۸۶
۳-۳-۵ مواد لازم برای آنالیز لاکتوز..... ۸۶
۳-۴ مشخصات ماژول غشایی..... ۸۶
۳-۵ مشخصات set up فیلتراسیون..... ۸۷
۳-۶ روش های انجام آزمایش..... ۸۹
۳-۶-۱ اندازه گیری اندازه حفره و تخلخل غشاهای الیاف توخالی..... ۸۹
۳-۶-۲ تخلخل غشا..... ۸۹
۳-۶-۳ شعاع متوسط حفره..... ۸۹
۳-۶-۳-۱ مشخصات غشاها..... ۹۰
۳-۶-۴ آنالیز پروتئین..... ۹۱
۳-۶-۴-۱ رسم منحنی کالیبراسیون..... ۹۲
۳-۶-۵ آنالیز لاکتوز..... ۹۴

۳-۶-۵-۱ رسم منحنی کالیبراسیون ۹۴
۳-۶-۶ آزمایش های انجام شده در این پژوهش ۹۶
۳-۶-۶-۱ آزمایش های تعیین اندازه حفرات ۹۷
۳-۶-۷ شستشوی غشاها ۹۸
۳-۶-۸ بازیابی شار ۱۰۰
۳-۶-۹ اندازه گیری مقاومت ذاتی و مقاومت ناشی از گرفتگی غشا ۱۰۰

فصل ۴ نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه ۱۰۲
۴-۲ بررسی اثر تغییرات فشار بر شار جریان عبوری آب پنیر ۱۰۲
۴-۳ تغییرات شار بر حسب سرعت جریان خوراک ۱۰۵
۴-۴ تغییرات شار با زمان ۱۰۶
۴-۵ بررسی اثر دما بر شار جریان عبوری آب پنیر ۱۰۶
۴-۶ بررسی اثر تغییر اندازه حفره غشا بر شار جریان عبوری ۱۰۹
۴-۷ بررسی اثر اصلاح سطح با افزودن نانوذره بر شار جریان عبوری ۱۱۰
۴-۸ تأثیر تغییرات پارامترهای عملیاتی بر پسدهی پروتئین و عبور لاکتوز ۱۱۵
۴-۹ بازیابی شار جریان عبوری از غشا پس از شست و شوی غشا ۱۲۰
۴-۱۰ مقاومت ذاتی غشا و مقاومت ناشی از گرفتگی ۱۲۱
۴-۱۰-۱ مقاومت ذاتی غشا ۱۲۱
۴-۱۰-۲ مقاومت ناشی از گرفتگی ۱۲۲
۴-۱۱ مقایسه نتایج در زمینه تصفیه آب پنیر با نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر ۱۲۳

فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه گیری ۱۲۸
۵-۲ پیشنهادات ۱۳۰

پیوست الف **۱۳۲**

مراجع **۱۶۱**

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: گستره فرآیندهای جداسازی غشایی در صنایع لبنیات ۲

شکل ۱-۲: محصولات فرآوری آب پنیر مایع ۵

شکل ۱-۳: لاکتوفرین ۷

شکل ۱-۴: ایمونوگلوبولین‌ها ۸

شکل ۱- ۵: بتالاکتوگلوبولین ۸

شکل ۱- ۶: آلفالاکتالبومین ۱۰

شکل ۲-۱: سیستم های فیلتراسیون غشایی استفاده شده در صنایع لبنی ۱۸

شکل ۲-۲: شار آب خالص و آب پنیر بر حسب TMP ۲۵

شکل ۲-۳: فرآیند تغلیظ آب پنیر با استفاده از اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس ۲۹

شکل ۲-۴: نمایی از فرآیند دیافیلتراسیون ۳۰

شکل ۲-۵: شار جریان عبوری بر حسب VCF ۳۲

شکل۲-۶: کاهش شار بر حسب زمان به دلیل ترکیب تأثیر گرفتگی و پلاریزاسیون غلظتی ۳۵

شکل ۲-۷: نمایی از فرآیندهای مختلف منجر به گرفتگی غشا ۳۶

شکل ۲-۸: بخش های مختلف فرآیند فیلتراسیون غشایی با نیرو محرکه فشار ۳۸

شکل ۲-۹: موارد مهم در شستشوی غشا ۴۲

شکل ۲-۱۰: مقاومت دمایی مواد مختلف ۴۹

شکل ۲-۱۱: مقاومت در برابر کلر برای مواد مختلف ۴۹

شکل ۲-۱۲: مقاومت در برابر pH برای مواد مختلف ۴۹

شکل ۲-۱۳: نمایی از مدول لوله ای ۵۲

شکل ۲-۱۴: نمایی از مدول قاب و صفحه ۵۳

شکل ۲-۱۵: نمایی از مدول مارپیچی ۵۴

شکل ۲-۱۶: نمایی از مدول الیاف توخالی ۵۵
شکل ۲-۱۷: شماتیکی از سیستم اولترافیلتراسیون ۵۶
شکل ۲-۱۸: شماتیکی از فرآیند جداسازی غشایی ۵۹
شکل ۲-۱۹: تغییرات شار جریان عبوری کلی بر حسب TMP ۶۰
شکل ۲-۲۰: شار جریان عبوری برای غشاهای مختلف در فیلتراسیون با آب پنیر ۶۳
شکل ۲-۲۱: موازنه جرم فرآیند ترکیبی پیشنهاد شده ۶۵
شکل ۲-۲۲: روش های جایگزین چرخه آب پنیر ۶۸
شکل ۲-۲۳: مقادیر حذف COD و COD٪ برای هر مدول و مدول های پشت سر هم ۷۱
شکل ۲-۲۴: تولید لاکتوز از آب پنیر با استفاده از فرآیندهای سری مختلف ۷۲
شکل ۲-۲۵: شماتیکی از دو راهکار آزمایش شده به منظور جداسازی ۷۶
شکل ۲-۲۶: دستگاه رشته ساز الیاف توخالی ۷۷
شکل ۲-۲۷: تصویر SEM غشا PES و غشا اصلاح شده $PES–TiO_2$ ۸۱
شکل ۲-۲۸: تصویر SEM مقطع عرضی غشا الیاف توخالی ۸۳
شکل ۳-۱: شماتیکی از جریان ورود و خروج به ماژول ۸۷
شکل ۳-۲: تصویری از ماژول الیاف توخالی به کار برده شده در این پژوهش ۸۷
شکل ۳-۳: شماتیکی از فرآیند اولترافیلتراسیون جریان متقاطع ۸۸
شکل ۳-۴: نمایی از setup تهیه شده برای انجام آزمایشات اولترافیلتراسیون آب پنیر ۸۸
شکل ۳-۵: (الف) معرف بردفورد، (ب) معرف پس از اضافه کردن محلول پروتئینی ۹۲
شکل ۳-۶: منحنی کالیبراسیون آنالیز پروتئین ۹۴
شکل ۳-۷: منحنی کالیبراسیون آنالیز لاکتوز ۹۶
شکل ۳-۸: آزمایش های انجام شده در این پژوهش بر روی آب پنیر ۹۷
شکل ۳-۹: (الف) شستشوی مستقیم (ب) معکوس برای یک الیاف ۹۹
شکل ۴-۱: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در فشارهای مختلف و دمای ۴۳ $^{\circ}C$ (الف) M_1 (ب) M_2 (پ) M_3 (ج) M_4 (چ) M_5 ..... ۱۰۵

شکل ۴-۲: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در دمای ۴۳ °C و فشار ۱ bar ۱۰۶
شکل ۴-۳: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در دماهای ۲۷ °C، ۳۵ °C و ۴۳ °C و فشار ۱ bar (الف) M_1 (ب) M_2 (پ) M_3 (ج) M_4 (چ) M_5 ..... ۱۰۹
شکل ۴-۴ :تغییرات شار غشاهای مختلف با تغییرات سرعت جریان عرضی خوراک ۱۱۵
شکل ۴-۵: تغییرات پس دهی پروتئین و عبوردهی لاکتوز با تغییرات سرعت جریان عرضی خوراک ۱۱۸
شکل ۴-۶: (الف) نمونه ای از خوراک آب پنیر ورودی، (ب) جریان عبوری از غشا ۱۲۰
شکل ۴-۷: درصد بازیابی شار برای هر غشا پس از انجام فرآیند شستشو ۱۲۱
شکل ۴-۸: مقاومت ذاتی غشاهای مختلف در فشارهای ۱ bar، ۲ bar، ۳ bar ۱۲۲
شکل ۴-۹: مقاومت گرفتگی ایجاد شده بر روی سطح غشاها پس از انجام هر آزمایش ۱۲۳
شکل الف-۱: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در فشارهای متفاوت برای غشا M1 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۳۵ °C و (ج) ۴۳ °C ۱۳۳
شکل الف-۲: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در فشارهای متفاوت برای غشا M2 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۳۵ °C و (ج) ۴۳ °C ۱۳۵
شکل الف-۳: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در فشارهای متفاوت برای غشا M3 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۳۵ °C و (ج) ۴۳ °C ۱۳۶
شکل الف-۴: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در فشارهای متفاوت برای غشا M4 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۴۳ °C ۱۳۷
شکل الف-۵: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در فشارهای متفاوت برای غشا M5 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۴۳ °C ۱۳۸
شکل الف- ۶: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در فشارهای متفاوت برای غشا M1 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۳۵ °C و (ج) ۴۳ °C ۱۴۰
شکل الف- ۷: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در فشارهای متفاوت برای غشا M2 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۳۵ °C و (ج) ۴۳ °C ۱۴۱

شکل الف-۸: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در فشارهای متفاوت برای غشا M3 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۳۵ °C و (ج) ۴۳ °C ۱۴۳
شکل الف-۹: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در فشارهای متفاوت برای غشا M4 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۴۳ °C ۱۴۴
شکل الف-۱۰: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در فشارهای متفاوت برای غشا M5 در دمای (الف) ۲۷ °C، (ب) ۴۳ °C ۱۴۵
شکل الف-۱۱: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در دماهای متفاوت برای غشا M1 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar (ج) ۳ bar ۱۴۶
شکل الف-۱۲: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در دماهای متفاوت برای غشا M2 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar (ج) ۳ bar ۱۴۸
شکل الف-۱۳: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در دماهای متفاوت برای غشا M3 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar (ج)۳ bar ۱۴۹
شکل الف-۱۴: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در دماهای متفاوت برای غشا M4 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar (ج) ۳ bar ۱۵۱
شکل الف-۱۵: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از زمان در دماهای متفاوت برای غشا M5 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar (ج) ۳ bar ۱۵۲
شکل الف-۱۶: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در دماهای متفاوت برای غشا M1 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar و (ج) ۳ bar ۱۵۴
شکل الف-۱۷: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در دماهای متفاوت برای غشا M2 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar و (ج) ۳ bar ۱۵۵
شکل الف-۱۸: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در دماهای متفاوت برای غشا M3 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar و (ج) ۳ bar ۱۵۷
شکل الف-۱۹: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در دماهای متفاوت برای غشا M4 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar و (ج) ۳ bar ۱۵۸

شکل الف-۲۰: تغییرات شار جریان عبوری به عنوان تابعی از سرعت جریان عرضی خوراک در دماهای متفاوت برای غشا M4 در فشار (الف) ۱ bar، (ب) ۲ bar و (ج) ۳ bar..... ۱۶۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: ترکیب معمول آب پنیر مایع و خشک ۴

جدول ۱-۲: پروتئین های آب پنیر شیرین: ترکیب معمول و خواص فیزیکی ۶

جدول ۱-۳: عمده پروتئین های آب پنیر به همراه فواید و مقادیر آن ها ۱۲

جدول ۱-۴: مراحل برجسته در توسعه تکنولوژی غشایی و کاربردهای آن در فرآیندهای لبنی ۱۴

جدول ۲-۱: مقایسه بین روش های فیلتراسیون آب پنیر ۱۸

جدول ۲-۲: داده های شار و ضریب گرفتگی در حین UF شیر و آب پنیر در حالت برگشتی کامل ۲۳

جدول ۲-۳: خصوصیات رسوب بر روی غشا و مواد شستشودهنده پیشنهادشده برای حذف آنها ۴۳

جدول ۲-۴: مشخصات غشاهای مورد آزمایش مطابق بر اطلاعات سازنده ۶۲

جدول ۲-۵: خصوصیات مدول های استفاده شده در فرآیند [۲۹] ۷۰

جدول ۲-۶: خصوصیات مدول های استفاده شده در فرآیند [۲۵] ۷۳

جدول ۲-۷: عملکرد UF1 برای جداسازی لاکتوز از پروتئین ۷۳

جدول ۲-۸: عملکرد UF2 برای جداسازی لاکتوز از پروتئین در حالت نرمال و دیافیلتر در P2 ۷۳

جدول ۲-۹: عملکرد UF3 برای جداسازی لاکتوز از پروتئین در حالت نرمال و دیافیلتر در P3 ۷۴

جدول ۲-۱۰: عملکرد UF3 برای جداسازی لاکتوز از پروتئین در حالت نرمال و دیافیلتر در P4 ۷۵

جدول ۳-۱: درصد ترکیبات پودر آب پنیر ۸۵

جدول ۳-۲: مشخصات غشاهای الیاف توخالی مورد بررسی در این پژوهش ۹۰

جدول ۴-۱: میانگین برای پس دهی پروتئین در آزمایشات ۱۱۹

جدول ۴-۲: میانگین برای عبوردهی لاکتوز در آزمایشات ۱۱۹

جدول ۴-۳: مقایسه نتایج این پژوهش با سایر پژوهش های انجام شده در زمینه تصفیه آب پنیر ۱۲۶

فصل ۱

کلیات

۱-۱ مقدمه

صنعت لبنیات یکی از اصلی‌ترین منابع تولید فاضلاب است. این صنعت بر پایه فرآوری و ساخت از شیر خام به محصولاتی همچون ماست، بستنی، کره، پنیر و انواع مختلفی از دسرها توسط فرآیندهای مختلف از جمله پاستوریزاسیون، انعقاد، فیلتراسیون، سانتریفوژ، سردسازی و غیره است. خصوصیات پساب‌های لبنی می‌تواند بسته به محصول نهایی، نوع سیستم و روش تولید مورد استفاده در کارخانه به طور قابل توجهی متفاوت باشد. این پساب‌ها عمدتاً از رقت‌های مختلف شیر (یا محصولات تغییر شکل یافته)، آب شستشو حاوی مواد شیمیایی اسیدی و قلیایی بعد از شستشوی بطری‌ها، مخازن، تجهیزات فرآیندی (ابزارها، پمپ‌ها) تشکیل می‌شوند [۱]. از نقطه نظر زیست محیطی، در بین پارامترهای اصلی پساب‌های لبنی، میزان بالای بار آلی باید برجسته شود. پساب‌های لبنی به غیر از پساب پنیر، با بار ماده آلی کمتر از ۱۵ g/L برای نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD) و ۵ g/L برای نیاز بیولوژیکی به اکسیژن (BOD) مشخص می‌شوند. در حالی که آب‌پنیر یک آلاینده قوی با BOD بین ۳۰-۴۵ gO_2/L و COD در حدود ۶۰ g/L است [۲]؛ ۴۰۰۰ لیتر از آب‌پنیر، خروجی یک کارخانه لبنی کوچک، قدرت آلایندگی به اندازه فاضلاب ۱۹۰۰ انسان را دارد [۳]. از اینرو توجه به آب‌پنیر در میان سایر پساب‌های لبنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و مطالعات بیشتری را مطالبه می‌کند.

جداسازی و تصفیه در صنایع به دلیل کاربرد وسیع آن در زیست‌پزشکی و صنایع غذایی یک فرآیند تعیین‌کننده است. روش‌هایی مثل الکتروفورز و کروماتوگرافی (تبادل یونی، ژل کروماتوگرافی و کروماتوگرافی تمایلی و غیره) که اخیراً برای تولید مقادیر اندک پروتئین در تحقیقات آزمایشگاهی استفاده شده‌اند، برای جداسازی و تصفیه پروتئین استفاده می‌شوند. گرچه این روش‌ها به سختی به مقیاس بزرگ‌تر تعمیم داده می‌شوند، که این مسأله تولید را محدود می‌سازد. علاوه بر این، روش‌هایی مثل کروماتوگرافی و الکتروفورز به پشتیبانی تجهیزات پیچیده‌تر برای آزمایشات پربازده احتیاج دارند و به طور معمول با توجه به هزینه بسیار بالای این فرآیندها بازده محصول کمی دارند. در نتیجه، روش‌های جداسازی که بازده عملیاتی محصول با هزینه کمتر دارند در صنعت مطلوب‌ترند [۴].

در بین این روش‌ها، فرآیندهای غشایی مثل میکروفیلتراسیون (MF)، اولترافیلتراسیون (UF)، نانوفیلتراسیون (NF)، اسمزمعکوس (RO) الکترودیالیز (ED) و استفاده از ترکیب این روش‌ها توجه بسیاری را در سال‌های اخیر برای جداسازی و تصفیه پروتئین آب پنیر به دلیل تناسب آن‌ها با پروتئین نسبت به فرآیندهای دیگر، نیاز به انرژی