

تأثیر مواد شوینده شیمیایی - بیوشیمیایی روی بازیافت شار تراوه در غشاهای پلی سولفون مورد استفاده در اولترافیلتراسیون شیر

علیرضا صادقیان^{۱*} و رضا مسگریان^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۱۲

چکیده

امکان استفاده از مواد شیمیایی و بیوشیمیایی جهت شستشوی غشاهای پلی سولفون مورد استفاده در اولترافیلتراسیون شیر، نیاز به بررسی همه جانبه مواد شیمیایی و بیوشیمیایی دارد. با توجه به استفاده روز افزون از این غشاهای در فرآوری محصولات غذایی، شستشو و بازیافت شار تراوه اهمیت ویژه‌ای دارد. برای استفاده طولانی مدت از این فن آوری، اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق، اثر مواد شوینده شیمیایی شامل اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)، سدیم دو سولفات (SDS) و هیدروکسید سدیم - بیوشیمیایی شامل آنزیم‌های پروتئاز و لیپاز روی بازیافت شار تراوه اولترافیلتراسیون از جنس پلی سولفون آمید و اندازه حفرات ۲۰ کیلوالتون به عنوان تابعی از دما، فشار و زمان مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر بهینه فعالیت آنزیم‌های پروتئاز و لیپاز در دما، pH و اثر زمان انکوباسیون اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد آنزیم لیپاز قادر به بازیابی شار تراوه نمی باشد و سودمندی این آنزیم در مقایسه با آنزیم پروتئاز غیر قابل مقایسه است. با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص غلظت بهینه آنزیم‌ها در بازیافت شار تراوه، غلظت بهینه مواد شیمیایی در جهت شستشوی غشای پلی سولفون شامل اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)، سدیم دوسولفات (SDS) و هیدروکسید سدیم اندازه گیری شد. در ادامه، کارایی مقادیر بهینه بدست آمده جهت مخلوط آنزیم، SDS و EDTA برای بازیابی شار و مواد شیمیایی مورد استفاده در صنعت، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد مواد بیوشیمیایی (آنزیم‌ها) قادر به بازیافت حداقل ۶۰ درصد شار اولیه غشاهای نو هستند. این مقدار برای مواد شیمیایی و در حالی که عملیات پیوسته و جریان آشفته باشد، بیشتر از ۹۵ درصد گزارش می شود.

واژه‌های کلیدی: اولترافیلتراسیون، شار تراوه، غشاهای پلی سولفون، مواد شوینده شیمیایی و بیوشیمیایی

مقدمه

جداسازی ذرات، بویژه پروتئینها قابلیت‌های فراوانی دارد. غشاهای مورد استفاده در این فرآیند از نوع غشاهای متخلخل بوده و عمدتاً پلیمری می‌باشند. نیروی محرکه لازم برای انتقال جرم، اختلاف فشار بوده که در محدوده بین ۲ تا ۱۰ بار اعمال میشود. در مصارف صنعتی، غشاهای بسته‌های خاصی که مدول نامیده می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرند. در استفاده از این غشاهای یک سری محدودیت‌هایی وجود دارد که مهمترین آنها پدیده گرفتگی است. بروز این پدیده

تکنولوژی جداسازی توسط غشاء، با بهره‌گیری از توانایی‌های خاص خود جایگاه ویژه‌ای در فرآیندهای جداسازی پیدا کرده است. اولترافیلتراسیون یکی از مهمترین فرآیندهای این تکنولوژی است که در زمینه

۱- عضو هیأت علمی گروه کشاورزی و صنایع غذایی پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی

۲- کارشناس ارشد مهندسی شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران

(Email: alisadeghian@yahoo.com)

* - نویسنده مسئول:

هیدروکسید سدیم و دودسیل سولفات سدیم بهترین نتیجه را داده است. ولی کارکرد مواد بیوشیمیایی به پارامترهای عملیاتی نظیر دما، فشار و... وابستگی زیادی دارد و آنزیم پروتئاز کارآیی بیشتری نسبت به آنزیم لپاز دارد (۴). هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده آنزیم‌ها (پروتئاز و لپاز) بصورت مستقل و یا در ترکیب با مواد شیمیایی (EDTA, SDS, NaOH) در تمیزکاری غشاهای پلی سولفون می‌باشد.

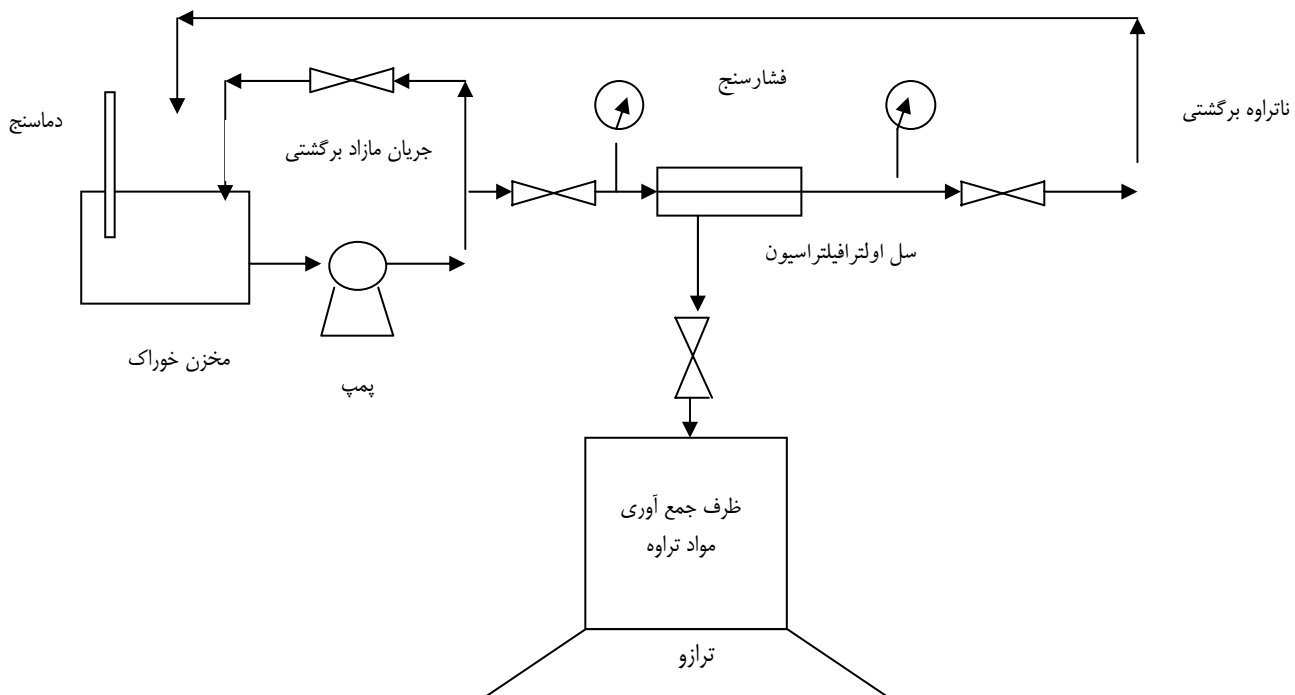
مواد و روش‌ها

پیکره اصلی سیستمی که مورد استفاده قرار گرفت از مخزن خوراک، پمپ، دو عدد فشارسنج، سل اولترا فیلتراسیون و اتصالات و شیرهای لازم مطابق شکل ۱ می‌باشد.

در تمامی آزمایشات از مدول صفحه و قاب با غشاء پلی سولفون صفحه ای استفاده شد، این غشاء از نمونه اصلی ماریچ حلزونی که در کارخانه های تولید پنیر با روش اولترافیلتراسیون استفاده می شود، تهیه شده است. خوراک مصرفی که به عنوان عامل گرفتگی بکار گرفته شده است، شیر پاستوریزه کارخانه شیر با مشخصات تقریبی ۸۷/۷ درصد آب، ۳/۴ درصد پروتئین، ۳ درصد چربی، ۴/۹ درصد لاکتوز و ۰/۹ درصد سایر مواد انتخاب شد.

مواد شیمیایی مورد استفاده شامل EDTA، اسید نیتریک، اسید فسفریک، کربنات سدیم، هیدروکسید سدیم و SDS از شرکت Merck تهیه و مواد صنعتی با نام های تجاری Ro-DANPLUS و DANACID-Ro که هم اینک بطور عمده در کارخانه های شیر جهت شستشوی شیمیایی غشاهای اولترافیلتراسیون استفاده می شود از شرکت APV-DOW تهیه شد. آنزیم پروتئاز و لپاز از شرکت Rohm خریداری و از گونه *Bacillus Spp* تهیه شده بود.

موجب کاهش راندمان و عمر مفید غشاء می‌گردد. از اولترافیلتراسیون برای جداسازی ماکرومولکول‌ها، کلونیدها و مواد جامد سوسپانسیونی با اندازه ۱۰۰۰-۱۰ آنگستروم استفاده می‌گردد. در دهه های اخیر، این غشاها در صنایع لبنی، تصفیه پسابها، صنایع چسب و کاغذ سازی، صنایع تخمیری، شفاف سازی و تغلیظ آب میوه کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند (۳). اساس کار غشاهای اولترافیلتراسیون تحت فشار، بر طبق اندازه مولکولی استوار است. معمولاً مواد کوچکتر از غشاء عبور نموده در حالیکه قطعات بزرگتر محلول باقی می‌مانند و تغلیظ می‌شوند. در تولید پنیر به روش اولترافیلتراسیون، غشاهای مورد استفاده از پلی سولفون ساخته می‌شوند که مقاومت حرارتی و شیمیایی مناسبی از خود نشان داده‌اند (۶). با عبور شیر از این غشاها، مقدار قابل توجهی از آب شیر حذف شده و سپس از شیر تغلیظ شده برای تولید پنیر استفاده می‌شود. مهمترین عامل محدودیت استفاده از غشاهای اولترافیلتراسیون پدیده گرفتگی است، بطوریکه این پدیده بیشترین حجم تحقیقات را به خود اختصاص داده است (۶). پدیده گرفتگی غشاء ناشی از تجمع رسوب برگشت پذیر مواد از جمله کلونیدها، ماکرومولکولها و نمک بر روی سطح غشاء و یا درون ساختار آن است، این پدیده تابع خواص شیمی - فیزیکی خود غشاء و اجزای موجود در سیال است. نتایج حاصل از وقوع گرفتگی عبارتند از: کاهش عمر غشاء، افزایش فشار لازم برای فرآیند، تغییر قدرت نگهدارندگی غشاء برای اجزاء و در نهایت کاهش شار تراوه فرآیند جداسازی. بنابراین دستیابی به مواد شیمیایی و بیوشیمیایی که توانایی بازیافت شار تراوه غشاء را داشته باشند همواره مورد توجه محققین بوده است (۷). مطالعات انجام شده مربوط به شستشوی غشاها نشان می‌دهد. در استفاده از مواد شیمیایی مختلف جهت بازیافت شار اولیه تا کنون مخلوط ۰/۵ درصد



شکل ۱. نمایی از سیستم اولترافیلتراسیون مورد استفاده در این تحقیق

$$\%FR = \left(\frac{J_{we}}{J_{wn}} \right) \times 100$$

J_{we} = شار آب مقطر غشاء پس از شستشو با مواد

شیمیایی - بیوشیمیایی

J_{wn} = شار آب مقطر غشای نو (قبل از گرفتگی)

در ابتدا غشاء در محل مخصوص خود قرار گرفت و در مدت زمان ۱۰ دقیقه شار تراوه آب مقطر در دمایی حدود ۳۰ درجه سانتی گراد و اختلاف فشار ۳ بار اندازه گیری شد، پس از این مرحله، شیر جایگزین آب مقطر گشته و آزمایش مرحله گرفتگی آغاز گردید.

دمای خوراک ورودی روی غشاء حدود ۵۰ درجه سانتی گراد و فشار عملیاتی ۳ بار بود. عملیات اولترافیلتراسیون برای همه نمونه‌ها در مدت زمان ۲ دقیقه صورت گرفت تا شرایط گرفتگی و رسوب ذرات بر روی غشاء در همه نمونه‌ها یکسان باشد.

تیمارهای این تحقیق عبارتند از: مواد بیوشیمیایی شامل آنزیم‌های لپاز و پروتئاز به ترتیب در محدوده غلظتی ۱ تا ۱۰ و ۲۰ میلی گرم بر میلی لیتر و همچنین مخلوط مواد شیمیایی و بیوشیمیایی شامل SDS در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۱۵ درصد به همراه غلظت بهینه آنزیم، EDTA در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۲ درصد با غلظت بهینه آنزیم و مخلوط NaOH در محدوده ۰/۰۱ تا ۰/۳ درصد با غلظت بهینه آنزیم مورد بررسی و آزمون قرار گرفت.

تمامی آزمایشات اولترافیلتراسیون در یک سل بصورت سیستم جریان متقاطع بر روی غشاهایی با سطح ۷۲ سانتی متر مربع انجام گرفت و هر مرحله با غشای نو آزمایشات انجام شد.

در این تحقیق از درصد شار بازیافتی بعنوان پارامتری که میزان سودمندی مواد شیمیایی، بیوشیمیایی مخلوط این دو را نشان می‌دهد. مطابق فرمول زیر استفاده شد.

شار بازیابی شده را بهبود نمی بخشد و سودمندی آنزیم پروتئاز در مقایسه با آنزیم لیپاز غیر قابل مقایسه است، در غلظت ۱۰ میلی لیتر در آنزیم پروتئاز ۵۰ درصد شار بازیابی می شود، در حالی که در همین غلظت از آنزیم لیپاز تنها ۵ درصد شار بازیابی می گردد. در مطالعات گذشته نیز این موضوع که آنزیم پروتئاز اثر بخشی زیادی برای بازیافت شار غشاهای اولترافیلتراسیون داشته و از آن بعنوان یک ماده موثر استفاده می گردد، ذکر شده است (۲).

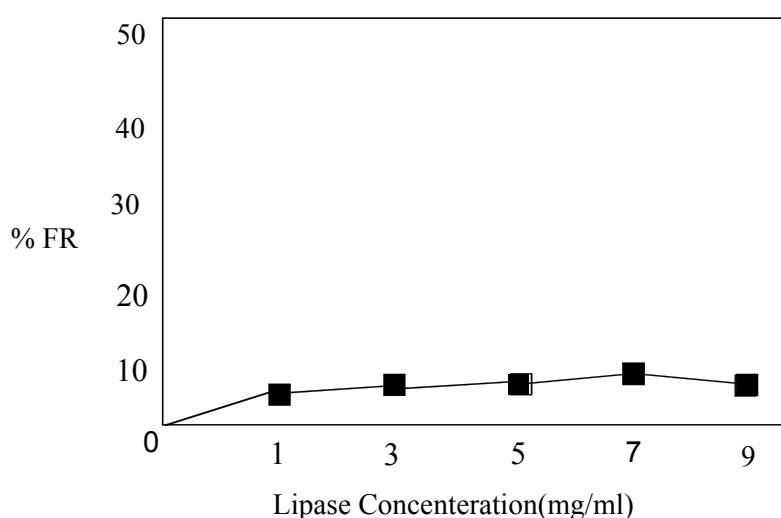
در مطالعه اثر غلظت آنزیم پروتئاز بر روی بازیابی شار، نتایج نشان داد، ابتدا با افزایش غلظت آنزیم درصد بازیابی شار افزایش می یابد، یعنی غلظت آنزیم محدود کننده می باشد، اما در مقادیر بیشتر از ۱۲ میلی گرم در میلی لیتر افزایش شار بدست نمی آید شکل ۳، این بدان معنی است که محدود کنندگی مقدار آنزیم برطرف می گردد، البته براحتی می توان دریافت که آنزیم بکار گرفته شده از خلوص بالایی برخوردار نیست و حتی می توان بازدارندگی مواد مزاحم موجود را نیز در محدود کردن اثر بازیابی شار مورد نظر داشت.

مرحله آبکشی غشاء توسط آب مقطر در دمای حدود ۳۰ درجه سانتی گراد بدون فشار به مدت ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد. پس از این مرحله نوبت به اندازه گیری شار تراوه آب مقطر در غشاء گرفته است که اندازه گیری در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد با فشار ۳ بار مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام پذیرفت.

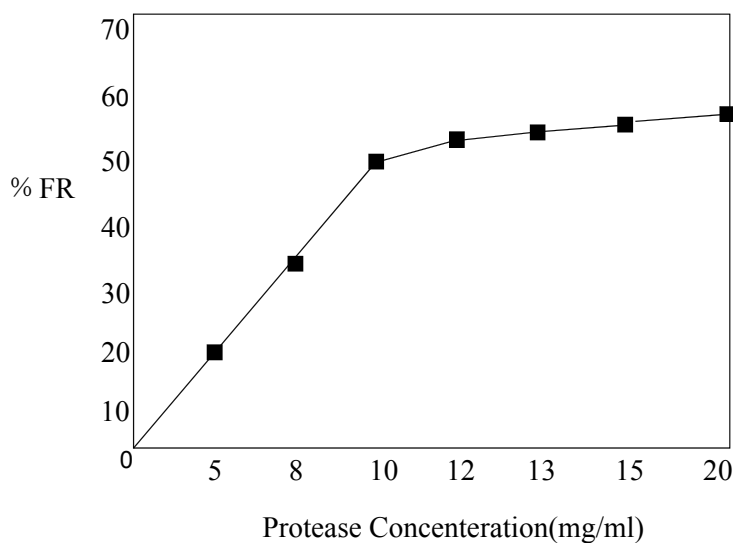
مرحله شستشوی بیولوژیکی بدنبال آبکشی صورت می پذیرد که شامل انکوباسیون غشاها در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه در محلول آنزیمی است. در انتهای این مرحله، سیستم توسط آب مقطر به خوبی شسته شده تا عاری از هر گونه ناخالصی و ماده بیوشیمیایی باشد. مرحله نهایی اندازه گیری شار آب مقطر در دمای ۳۰ درجه، فشار ۳ بار و بمدت ۱۰ دقیقه است.

نتایج و بحث

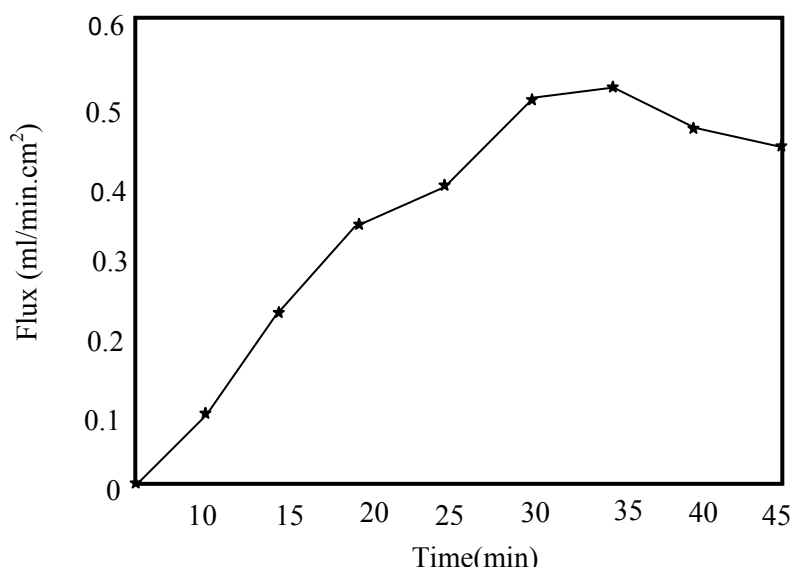
تأثیر غلظت آنزیم لیپاز و پروتئاز بر درصد بازیافت شار تراوه شیر در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در مطالعه، اثر غلظت آنزیم لیپاز بر روی درصد بازیافت شار (%FR)، شکل (۲) نشان می دهد: افزایش غلظت لیپاز



شکل ۲. اثر غلظت آنزیم لیپاز بر روی بازیافت شار تراوه شیر



شکل ۳. نمودار اثر غلظت آنزیم پروتئاز بر روی بازیافت شار تراوه شیر



شکل ۴. نمودار اثر زمان انکوباسیون بر روی تمیز کاری غشاء

اصلی این افزایش و کاهش در توانایی کاتالیز سوپسترا توسط آنزیم می‌باشد. یعنی پس از گذشت مدتی، آنزیم فعالیت خود را از دست می‌دهد، لیز شدن پروتئین‌های آنزیم در دمای بالا اتفاق می‌افتد البته به نظر می‌رسد که آنچه در اثر شکستن مولکولهای پروتئین به سبب فعالیت آنزیم پروتئاز حاصل می‌گردد می‌تواند اثر بازدارندگی بر

یکی دیگر از موارد مهم در تمیز کاری غشاهای پلی سولفون با مواد آنزیمی اثر زمان می‌باشد، منحنی اثر زمان انکوباسیون بر روی تمیز کاری غشاء در شکل ۴ نشان می‌دهد با گذشت زمان، میزان شار افزایش می‌یابد. اما در محدوده ۳۰ تا ۳۵ ثانیه دقیقه شار تغییر چندانی نمی‌نماید و پس از این مدت شار بدست آمده کاهش می‌یابد، علت

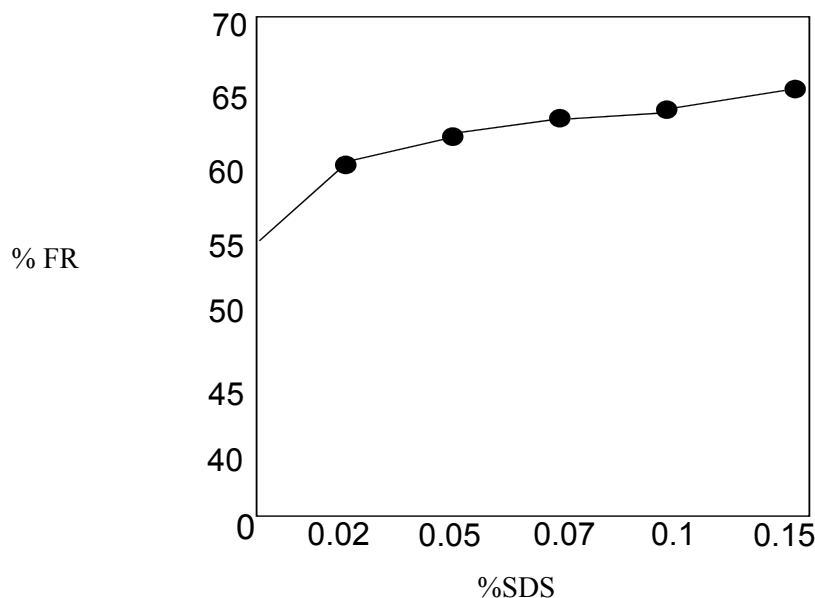
خود دارای شش موضع برای ایجاد پیوند می باشد و یا به عبارتی یک لیگاند شش دنداندهی است، بنابراین انتظار می رود که این ترکیب بتواند با برخی از ذرات رسوب کرده کمپلکس تشکیل داده و آنها را از سطح غشاء جدا نماید که البته نتایج آزمایشگاهی ذکر شده در منابع این مطلب را تأیید نمی کند یعنی استفاده از این ماده در حذف مقاومت به وجود آمده روی غشاء تأثیر مثبتی نداشته است (۲ و ۸).

به نظر می رسد علت اصلی این کاهش شکل ۶، تغییر در pH محیط در اثر اضافه کردن EDTA باشد، شیفته شدن pH به سمت مقادیر اسیدی تأثیر شگرفی بر روی فعالیت آنزیم و در نتیجه بازیابی شار دارد. البته می توان انتظار داشت که در ترکیب با SDS این اثر تغییر pH، خنثی گردد.

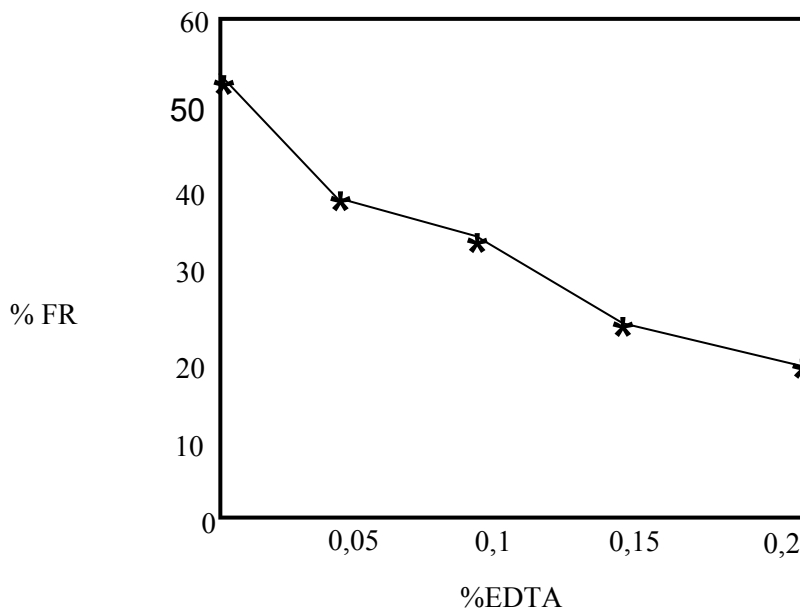
روی فعالیت آنزیم داشته باشد که اثبات این مطلب نیاز به تحقیقات بیشتری دارد (۴).

اثر غلظت مخلوط سدیم دودسیل سولفات و آنزیم پروتئاز در شکل ۵ دیده می شود، گاهی اوقات از کاتالیزورهای بیولوژیکی به همراه مقدار معینی از سرفکتانت ها نظیر سدیم دودسیل سولفات استفاده می شود. این ماده به عنوان فعال کننده سطحی اثر مطلوبی بر روی بازیابی شار دارد، افزایش غلظت این ماده با بازیافت شار بیشتر همراه است، این ماده کاهش سطحی مولکولهای در تماس با خود را کاهش می دهد و قدرت آب دوستی غشاهای پلی سولفون را افزایش می دهد، در نتیجه انتظار می رود استفاده از این ماده به عنوان یک ماده شوینده مناسب نتایج قابل قبولی ارائه می دهد که شکل ۵ این مطلب را تأیید می کند.

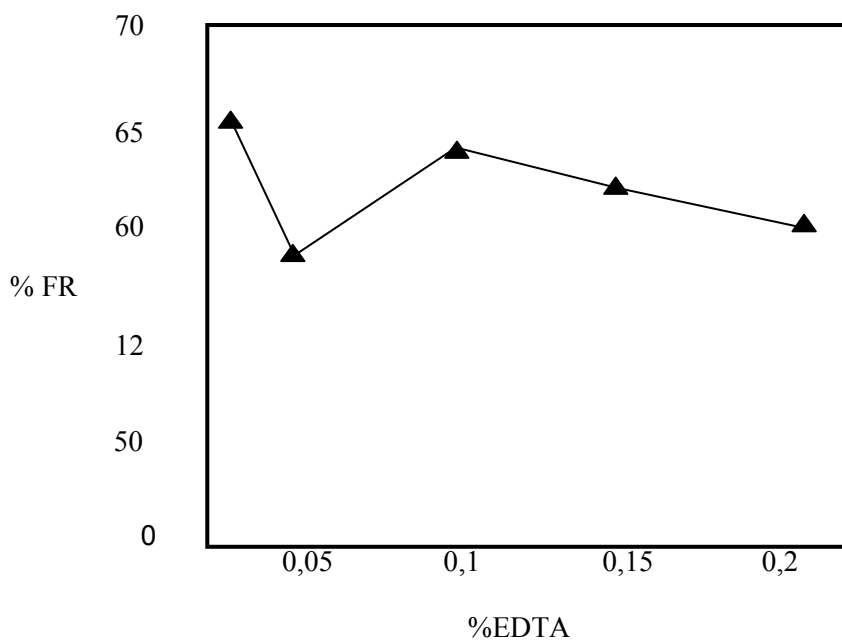
اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) در ساختمان



شکل ۵. اثر غلظت مخلوط سدیم دودسیل سولفات (SDS) و آنزیم پروتئاز با غلظت بهینه ۱۲ mg/ml بر درصد بازیافت شار تراوه شیر



شکل ۶. اثر غلظت مخلوط EDTA و آنزیم پروتئاز با غلظت بهینه ۱۲ mg/ml بر درصد بازیافت شار تراوه شیر



شکل ۷. تعیین غلظت بهینه مخلوط SDS (۰/۰۷٪) و EDTA و آنزیم ۱۲ mg/ml

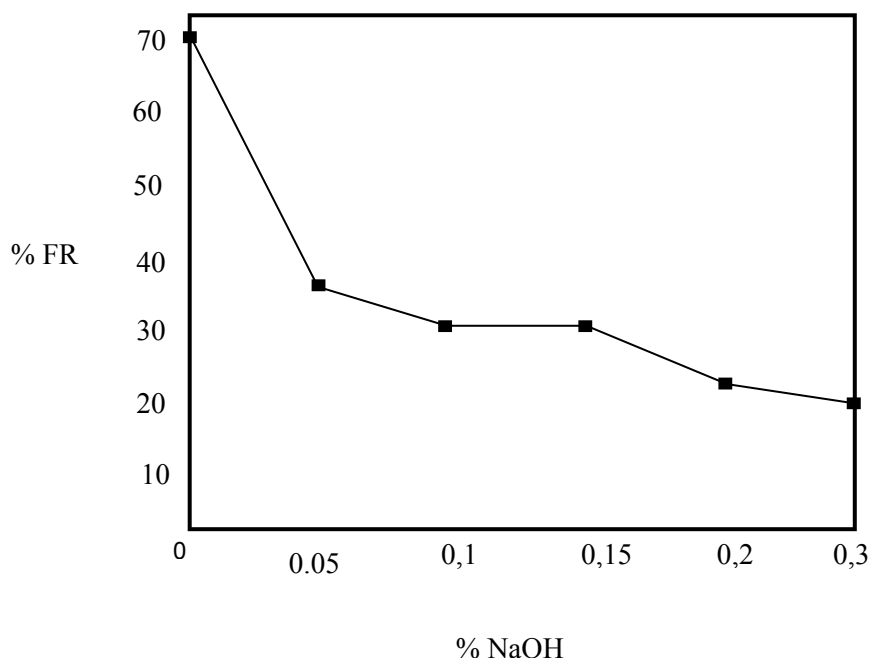
نسبت به استفاده توامان آنزیم و SDS بازیابی شار را کاهش می‌دهد، اما افزایش غلظت این ماده به ۰/۱ درصد شار را حدود ۲ درصد افزایش می‌دهد اما این افزایش شار با بیشتر

منحنی بدست آمده در تعیین غلظت بهینه مخلوط SDS و EDTA و آنزیم پروتئاز در شکل ۷ نشان می‌دهد که افزایش ۰/۰۵ درصد از EDTA شار را کاهش می‌دهد یعنی

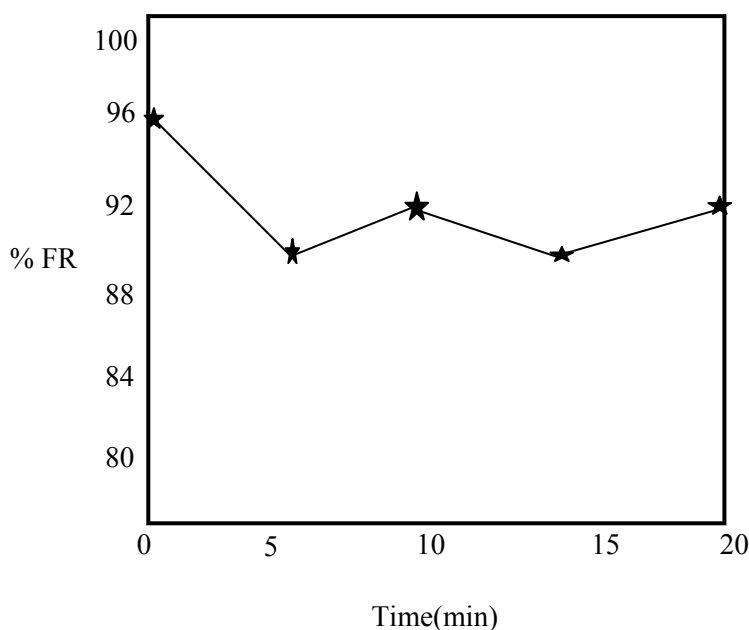
نماید، نتایج این آزمایش این مطلب را تأیید نمی کند البته کاهش بازیافت شار بعلت ناکارآمدی هیدروکسید سدیم نیست بلکه بنظر می رسد بخاطر تغییرات محسوس در pH باشد یعنی افزایش ۰/۰۵ درصد از این ماده مقدار pH را به بیشتر از ۱۲ درصد افزایش می دهد که مطمئناً فعالیت آنزیم محدود می گردد البته این آزمایش در شرایط ناپیوسته اتفاق می افتد، حال آنکه در صورت استفاده از هیدروکسید سدیم در شرایط پیوسته و عملیاتی مطمئناً بازیابی شار افزایش خواهد داشت که آزمایشات این مطلب را ثابت نمود (نتایج نشان داده نشده است)، یعنی در غلظت یک درصد از هیدروکسید سدیم در شرایط ناپیوسته حدود ۲۵ درصد شار بازیابی می شود در حالی که در شرایط مداوم این مقدار به حدود هشتاد درصد افزایش می یابد. بطور خلاصه بر اساس نتایج این تحقیق می توان گفت استفاده همزمان مخلوط هیدروکسید سدیم و آنزیم توصیه نمی گردد.

نمودن غلظت EDTA ادامه نمی یابد، در این آزمایش نیز به نظر می رسد تغییرات pH در اثر اضافه کردن EDTA مؤثر باشد، یعنی در غلظت بهینه EDTA، مقدار بهینه pH فعالیت آنزیم نیز اتفاق می افتد، بطور خلاصه می توان گفت که EDTA و SDS علاوه بر اینکه اثرات تغییر pH ناشی از هر کدام را خنثی می نمایند تأثیری حدود افزایش ۱۰ درصد در بازیابی شار دارند.

شکل ۸ تغییرات غلظت هیدروکسید سدیم با راندمان تمیز کردن را نشان می دهد، همان گونه که در این شکل ملاحظه می گردد با افزایش غلظت، این ماده نه تنها تأثیری در افزایش میزان بازیافت شار ندارد بلکه میزان بازیافت شار با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم کاهش می یابد و در غلظت ۰/۱ تا ۰/۱۵ درصد در حذف مقاومت تفاوت محسوسی وجود ندارد. بر خلاف آنچه انتظار می رود که هیدروکسید سدیم بتواند مولکولهای پروتئین، چربیها و دیگر مواد رسوبی را بخوبی حل کرده و از سطح غشاء دور



شکل ۸. بررسی اثر غلظت بهینه مخلوط هیدروکسید سدیم و آنزیم پروتئاز ۱۲ mg/ml بر درصد بازیافت شار تراوه



شکل ۹. تعیین اثر زمان شستشوی شیمیایی (RO-DAN ACID) با غلظت ۰/۳٪ بر روی بازیافت شار

استفاده از اسید رودان (Ro-DAN ACID) پس از شستشوی غشاها با آب مقطر صورت گیرد. نتایج غلظت ۰/۳ درصد از این ماده تجاری در شکل ۹ نشان می‌دهد که با گذشت زمان شستشو، مقدار بازیابی شده در ۵ دقیقه اول کاهش می‌یابد. این تغییرات نشان از جمع شدن منافذ غشاء مورد استفاده دارد یعنی در غشاهایی که به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد با محلول قلیایی شسته شده اند، منافذ به مقدار کمی تغییر شکل داده می‌شوند که برگشت به حالت اول باعث کاهش شار می‌گردد، این امر با خنثی شدن اثرات محلول قلیایی به وسیله مواد اسیدی اتفاق می‌افتد، در هر حال استفاده از مواد اسیدی باعث حذف رسوبات معدنی می‌شود که گذشت زمان به رسیدن شار اولیه کمک خواهد نمود.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج تحقیق می‌توان گفت که میزان کارآمدی آنزیم‌های مورد استفاده در بازیابی شار با گذشت زمان به کندی صورت می‌گیرد یعنی با گذشت نیم ساعت از زمان انکوباسیون تنها ۵۵ درصد بازیابی شار بدست می‌آید

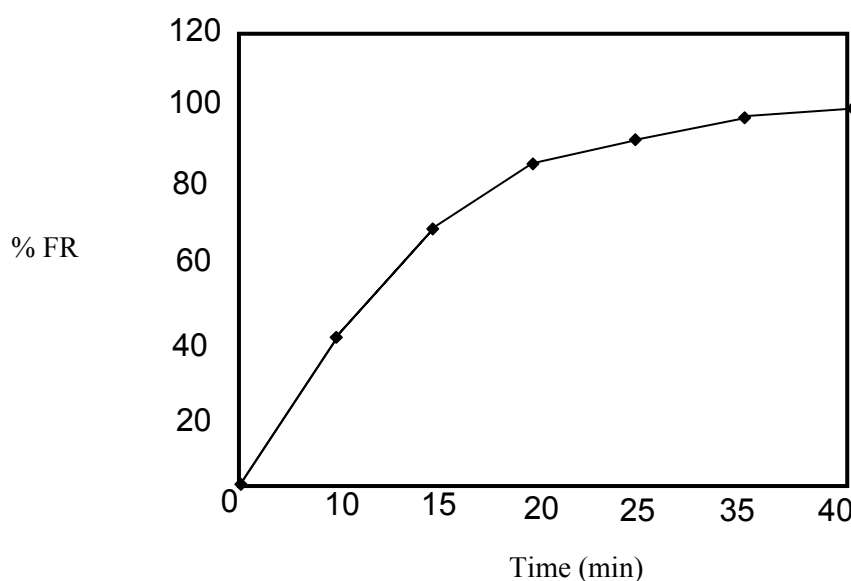
اول کاهش می‌یابد. این تغییرات نشان از جمع شدن منافذ غشاء مورد استفاده دارد یعنی در غشاهایی که به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد با محلول قلیایی شسته شده اند، منافذ به مقدار کمی تغییر شکل داده می‌شوند که برگشت به حالت اول باعث کاهش شار می‌گردد، این امر با خنثی شدن اثرات محلول قلیایی به وسیله مواد اسیدی اتفاق می‌افتد، در هر حال استفاده از مواد اسیدی باعث حذف رسوبات معدنی می‌شود که گذشت زمان به رسیدن شار اولیه کمک خواهد نمود.

برای مقایسه کارآیی روش شستشوی بیوشیمیایی در شکل ۱۰ نتایج شستشوی شیمیایی ماده تجاری (Ro-DAN

شکل ۱۰ نتایج شستشوی شیمیایی ماده تجاری (Ro-DAN

نظر می‌رسد با ترکیب این دو روش نیازی به شستشوی بلند مدت با مواد شیمیایی و متعاقباً اثرات تخریب کننده آن نباشد و همین امر موجب افزایش عمر مفید غشاء خواهد شد، البته بررسی همه جانبه این امر نیاز به بررسی های دقیق تری دارد.

حالی که در شستشوی شیمیایی بعد از گذشت بیست دقیقه ۹۰ درصد شار بازیابی می‌شود. افزایش میزان شار بازیابی شده با گذشت زمان شستشوی بیوشیمیایی به کندی صورت می‌گیرد در حالی که در بیست دقیقه دوم شستشوی شیمیایی تنها ۵ درصد به میزان شار بازیابی شده اضافه می‌گردد، بنابراین ترکیب این دو روش باید مورد توجه قرار گیرد. به



شکل ۱۰. تعیین زمان شستشوی شیمیایی (Ro-DAN PLUS) با غلظت ۰/۳٪ بر روی بازیافت شار

منابع

- 1) APV Anhydro As membrane Filtration Denmark . 1996 .
- 2) Bird, M. R., and Bartlett M. 2002. Measuring and modeling flux recovery during the chemical cleaning of MF membranes for the processing of whey protein concentrate. Elsevier Science Ltd.
- 3) Johnson, A. S. 1990. Ultrafiltration Application Desalination. 77. pp. 15-74.
- 4) Maria, A., Argüello Silvia. A., Francisco A. Riera., and Ricardo. A. 2002. Enzymatic Cleaning of Inorganic Ultrafiltration Membranes Fouled by Whey Proteins. J. Agric. Food Chem. 50 (7). pp. 1951–1958.
- 5) Ostergaard, B. Application of membrane processing in the dairy industry pasilac A/S. DK 8600 Sikeborg, Denmark.
- 6) Staub, R. K., M. R. Altier, and P. F. Schachat. 2007. Methods for treating CIP equipment and equipment for treating CIP equipment. United States Patent. 7247210.
- 7) Scott, K. 1995. Handbook of industrial membranes. Elsevier Science Ltd.
- 8) Velicangil, O., and J. A. Howell. 2004. Self-cleaning membranes for ultrafiltration, Biotechnology and bioengineering. J. Agric. V. 23. pp. 843 – 854.