

مروری بر جنبه های مختلف شست و شو در صنعت شیر

فرنوش لواف پور¹، فرزانه شجاعی¹، هنگامه صادقی¹، سمیه سیاهوشی¹،

حمید عزت پناه^{2*}

1- بخش توسعه و تحقیقات، شرکت پاکروپارت، تهران، ایران

2- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: 98/07/14 تاریخ پذیرش: 99/02/21)

چکیده

ایمنی مواد غذایی از مهم ترین اهداف صنعت شیر است. پاکیزه سازی تجهیزات نه تنها به منظور مطابقت با استانداردهای شیر و فرآورده های شیری، بلکه از منظر زیست محیطی نیز اهمیت ویژه ای دارد. چالش های پاکیزه سازی مبدل های حرارتی و غشاهای از سایر معضلات مربوطه در مراحل فرآوری شیر مهم ترند و از آن جایی که به ندرت با روش های متداول تأثیر می پذیرند، در این مقاله کاربرد روش های نوظهوری چون استفاده از آنزیم ها و امواج فراصوت مرور شده اند. خصوصیات مواد ورودی، به ویژه ترکیب آن (آلی یا معدنی)، غلظت و دما به عنوان تاثیرگذارترین عوامل بر ترسیب ترکیبات شیر بر سطوح حرارت دیده و ایجاد گرفتگی غشاء محسوب می شوند. اگرچه ویژگی های عوامل پاک کننده همچون غلظت، سرعت جریان، زمان، تنش برشی و دما حائز اهمیت هستند، اما انتخاب شوینده های مناسب و ترتیب استفاده از آنها در برنامه شست و شو، مهم ترین عوامل پاکیزه سازی به شمار می آیند. این مقاله همچنین به روند پیشرفت روش های کنترل و پایش برنامه های پاکیزه سازی، از به کارگیری شاخص اکسیژن شیمیایی مورد نیاز، سنجش کلسیم و تعیین کدورت تا استفاده از حسگرهایی بر پایه هدایت الکتریکی و امواج فراصوت می پردازد. در نهایت به طور خلاصه راه حل هایی جهت کاهش معضلات زیست محیطی حاصل از به کار بردن پاک کننده های شیمیایی در این صنعت مورد بحث قرار گرفته اند.

کلید واژگان: شست و شو درجا، مبدل حرارتی، غشاء، کنترل و پایش، پاکیزه سازی آنزیمی

* مسئول مکاتبات: hamid.ezzatpanah@globalharmonization.net

1- مقدمه

اهمیت مواد غذایی از نظر تامین نیازهای تغذیه ای بر کسی پوشیده نیست اما تولید آن مستلزم توجه به الزاماتی است که بتواند علاوه بر کیفیت مورد نظر، ایمنی ماده غذایی و سلامت مصرف کننده را نیز تضمین کند. از ارکان سیستم های ایمنی مواد غذایی می توان به روش های صحیح تولید¹ و روش های صحیح بهداشتی² اشاره نمود و رویه پاکیزه سازی سطوح، دستگاه ها و محیط تولید کار با ماده غذایی³ از اساسی ترین بخش های این سیستم ها محسوب می شوند. زنجیره تامین شیر و فرآورده های آن از نظر تغذیه ای، فساد پذیری و ایمنی مواد غذایی از بزرگترین چالش ها محسوب می شود. فرآورده های این بخش را می توان به محصولات مایع، تغلیظ شده و خشک شده دسته بندی نمود و از سوی دیگر این امکان نیز هست که محصولات جزء جزء شده⁴ را بر پایه پروتئین⁵ و چربی⁶ تقسیم بندی کرد. دسته بندی معمول دیگر تقسیم بندی محصولات به انواع پنیر، فرآورده های تخمیری، بستنی و محصولات مشابه آن است. آنچه در مورد تمام مراحل فرآوری شیر و فرآورده های شیری مشترک است، ضرورت پاکیزه سازی و ضد عفونی محیط و مهمتر از آن سطوح در تماس با ماده غذایی است. به دلیل استفاده از تجهیزات و خطوط کاملاً بسته⁷ و روند خودکار شدن⁸ و مکانیزه شدن⁹ مراحل تولید این محصولات، شیوه شست و شوی سطوح، از پاکیزه سازی تجهیزات در خارج از محل نصب¹⁰ به سوی شست و شوی درجا¹¹ در حال تکامل است.

طی عملیات حرارتی، چسبندگی رسوبات به سطوح افزایش می یابد و کارایی عملیات پاکیزه سازی کاهش می یابد. به علاوه بسط فناوری هایی مانند استفاده از انواع غشا، زمینه ساز بروز مشکلاتی چون گرفتگی این تجهیزات است که بایستی به روش مناسبی رفع شوند. علاوه بر ترکیبات آلی مانند پروتئین ها، چربی ها و در برخی موارد قندها، مواد معدنی و نمک ها از مهمترین عوامل آلوده کننده ی واحدهای عملیاتی

1. Good Manufacturing Practice(GMP)
2. Good Hygienic Practice(GHP)
3. Food Handling
4. Fractionated Product
5. Protein Based
6. Fat Based
7. Hermetic
8. Automation
9. Mechanisation
10. Cleaning Out Place(COP)
11. Cleaning in Place(CIP)

12. Ultra sound
13. Classic
14. Denaturation
15. Destabilization
16. Heat exchanger

صنعت شیره حساب می آیند. ارزیابی اثربخشی عملیات پاکیزه سازی به پارامترهای متعددی وابسته است که از میان آن ها می توان به نوع ترکیب شوینده، غلظت، زمان و دمای آن اشاره نمود. بازرسی چشمی تجهیزات قبل و پس از شست و شو و همچنین تنظیم شیرآلات از جمله روش های متداول کنترل این عملیات محسوب می شوند. اخیراً روش های جدیدتری مانند استفاده از حسگرهای نوری، تجهیزات حساس به کدورت، هدایت الکتریکی و بر پایه فراصوت¹² صنعت شیر رواج یافته اند. اگرچه با هدف بهینه سازی این عملیات، اقداماتی همچون به کارگیری آنزیم ها و استفاده از امواج فراصوت انجام شده است، اما همچنان مواردی مانند مسائل زیست محیطی باید مد نظر قرار گیرند. برحسب تعریف، روش مرسوم¹³ شست و شوی در جا شامل پنج مرحله است که به ترتیب عبارتند از: آبکشی مقدماتی، شست و شو با شوینده قلیایی (مانند سود سوزآور)، آبکشی میانی، شست و شو با شوینده اسیدی (مانند اسید نیتریک) و آبکشی نهایی.

بدیهی است ضد عفونی مطلوب زمانی ممکن می شود که فرایند پاکیزه سازی به صورت رضایت بخش انجام شده باشد. هدف این مقاله مرور آخرین یافته ها و به روز رسانی اطلاعات کاربردی در حوزه های یاد شده در صنعت شیر است.

2- پاکیزه سازی تجهیزات حرارتی

اعمال فرایند حرارتی موجب غیرطبیعی¹⁴ شدن پروتئین ها و ناپایدار شدن¹⁵ مواد معدنی می شود. چنین شرایطی به چسبندگی فزاینده ی این ترکیبات به سطوح حرارتی منجر می شود، لذا پاکیزه سازی این سطوح در مبدل های حرارتی¹⁶، یکی از چالش های مهم در صنعت شیره حساب می آید. رسوبات ته نشین شده بر سطوح حرارت دیده، علاوه بر کاهش کارایی انتقال حرارت، ایمنی محصولات را نیز از نظر میکروبی به مخاطره می اندازد. پژوهشگران اعلام نمودند که در دمای کمتر از 100 درجه سانتی گراد، مهمترین ترکیبات ته نشین شده عبارتند از 60-50% پروتئین و 35-30% مواد معدنی [1]، اما در مورد مقدار چربی اتفاق نظر وجود ندارد و در برخی گزارش های قدیمی مقدار آن 4-8% و در مطالعات جدیدتر 15-10% عنوان شده است [2و1]. با افزایش دما به بیش از

3- شست و شوی شیمیایی

3-1- مبدل حرارتی

پژوهشگران عملیات حرارتی شیر در مبدل حرارتی لوله‌ای را در دمای 90 درجه سانتی‌گراد و زمان 315 ثانیه با سرعت جریان 2300 لیتر بر ساعت انجام دادند. درحالی‌که به منظور پاستوریزاسیون آب پنیر با ماده خشک 5/7% از دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 50 ثانیه و سرعت جریان 2700 لیتر بر ساعت و برای پاستوریزاسیون آب پنیر تغلیظ شده با 28% ماده خشک از دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 90 ثانیه و سرعت جریان 1600 لیتر بر ساعت استفاده نمودند. عملیات مرسوم پاکیزه‌سازی صورت گرفت و دمای هر دو مرحله شست و شوی قلیایی و اسیدی 70 درجه سانتی‌گراد، در حالی که مدت زمان مرحله‌ی قلیاشویی 20 دقیقه و مدت زمان اسیدشویی 10 دقیقه در نظر گرفته شد. شکل 1 مراحل زدودن ترکیبات آلی و معدنی را پس از فرآوری شیر نشان می‌دهد [2].

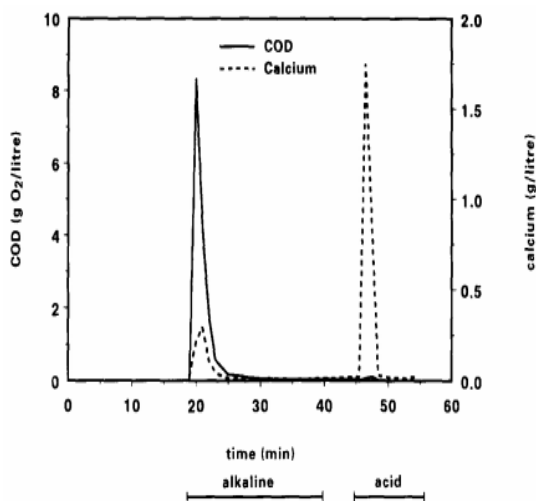


Fig 1 Milk deposit removal in the heat exchanger after operating for 20 h at 90 °C. Cleaning temperature: 70 °C, cleaning solutions: NaOH (1%) and HNO₃ (1%).

براساس این نمودار بلافاصله پس از تماس ترکیبات رسوبی با محلول هیدروکسید سدیم 1% (حدود زمان 20 دقیقه) قله‌ی بلندی بر حسب اکسیژن شیمیایی مورد نیاز در نمودار ظاهر می‌شود که نشانگر جدا شدن بخش قابل توجهی از ترکیبات آلی است و پیک کوچکتری از خروج کلسیم دیده می‌شود که بیانگر اثر نسبی هیدروکسید سدیم بر مواد معدنی است. در

100 درجه سانتی‌گراد، سهم مواد معدنی به 75-70% وزنی و سهم پروتئین به حدود 30% وزنی تغییر می‌کند. بخش عمده رسوبات معدنی را فسفات کلسیم تشکیل می‌دهد. کاهش pH موجب افزایش حلالیت فسفات کلسیم می‌شود، اما تنها حلالیت بر زدایش این ترکیب موثر نیست و افزایش سرعت جریان از طریق افزایش تنش برشی موجب خروج هر چه بیشتر این ترکیب می‌شود [1].

تجمع مواد معدنی-پروتئینی بر سطح صفحه‌های مبدل حرارتی، زمان اجرای فرآیند شست و شو را افزایش و کارآمدی آن را کاهش می‌دهد، ضمن آنکه امکان خطر آلودگی میکروبی بالا می‌رود. شدت تجمع و چسبندگی ترسیب کننده‌ها بسته به خواص فیزیکوشیمیایی محصولات غذایی متفاوت است [3]. پاکیزه سازی و ضدعفونی کردن تجهیزاتی که برای انتقال و نگهداری شیر و تولید فرآورده‌های لبنی استفاده می‌شوند، از منظر کسب اطمینان از بالا بودن استانداردهای بهداشتی غذایی حائز اهمیت هستند [4]. عامل موثر بر چسبیدن اجتناب ناپذیر ترکیبات رسوب کننده به سطوح انتقال حرارت، کنش بین این سطوح و ترکیبات ماده غذایی است و از این رواج اجرای فرایندهای شست و شوی منظم و متمرکز به منظور زدایش رسوبات، حفظ عملکرد تولید و حصول استانداردهای بهداشتی لازم است [5].

یکی از چالش برانگیزترین نگرانی‌ها، عدم اطمینان از پاکیزه سازی درون تجهیزات حرارتی کاملاً بسته است، زیرا عملکرد فرآیند پاکیزه‌سازی به راحتی قابل پایش² نیست. لازم به ذکر است، زمانی که رسوبات شکل گرفتند، اثر بخشی انتقال حرارت متناسب با ضخامت لایه رسوبی کاهش می‌یابد و به اشتباه به منظور حفظ موثر انتقال حرارت، دمای مبدل‌های حرارتی افزایش پیدا می‌کند، که خود علاوه برافزایش هزینه، به سبب باقی ماندن شیر و مصرف بی رویه‌ی ترکیبات شیمیایی، اثرات نامطلوب زیست محیطی از خود به جای می‌گذارد. از آنجا که سیستمی کارآمد جهت بررسی به هنگام³ میزان ترسیب در دسترس نیست، امروزه فرآیند شست و شو برپایه‌ی مصرف آب زیاد و چرخه‌های متعدد پاکیزه سازی انجام می‌شود [6].

1. Flow rate
2. Monitoring
3. Real-time

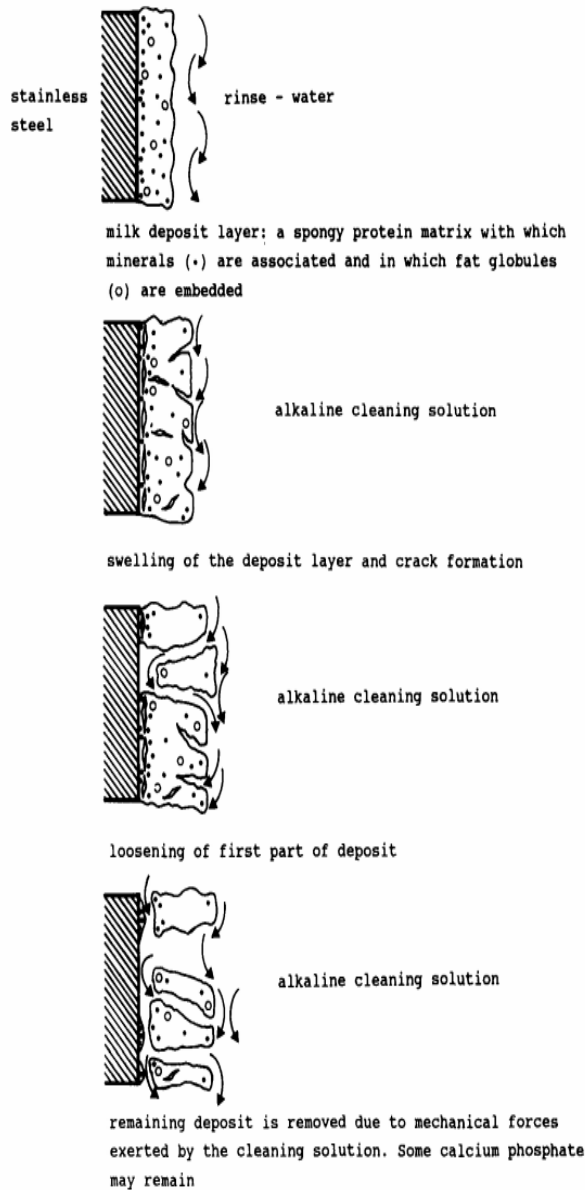


Fig 2 Schematic representation of the milk deposit removal during alkaline cleaning

پاک کردن لایه اسفنجی مورد نظر به همراه بخش هایی از رسوبات معدنی به وسیله برخی محققین تایید شده است، اما از آنجایی که در برخی نقاط همچنان رسوبات معدنی به ویژه رسوب فسفات کلسیم به صورت لایه ای مترامک پس از قلیاشویی باقی می ماند، استفاده از شوینده های اسیدی یا تبدیری مشابه ضروری است [7].

2-3- تبخیرکننده

با هدف بررسی مکانیسم پاکیزه شدن دستگاه های تبخیرکننده، پژوهشگران با طراحی و ساخت مدلی از تبخیرکننده لوله ای

همین نمودار تاثیر عمده ای محلول اسید نیتریک 1% بر ترکیبات معدنی را در زمان 45 دقیقه پس از آغاز شست و شو می توان مشاهده نمود. براساس این نمودار، اسید نیتریک تنها موجب پاکسازی مواد معدنی می شود و تاثیر ناقص هیدروکسید سدیم بر آنها را کامل می کند [7].

به دنبال بررسی چگونگی پاکیزه سازی شیر از سطح دستگاه پاستوریزاتور مشخص شد که لایه ای رسوبی تشکیل شده، شبکه ای پروتئینی اسفنجی است که با لایه ای از مواد معدنی نزدیک به فولاد زنگ نزن در ارتباط است و گویچه های چربی نیز در آن گرفتار شده اند [8]. در مرحله شست و شوی قلیایی علاوه بر متورم شدن این رسوب، عامل تعیین کننده دیگر، تاثیر مکانیکی حاصل از تنش برشی جریان شوینده است. آبکشی مقدماتی تنها موجب خروج بخش عمده ای از شیر درون سیستم می شود و تاثیری بر رسوبات ندارد و به محض تماس محلول قلیایی با این رسوبات، پاک شدن آنها آغاز می شود. پس از انتشار آهسته ماده ی شوینده قلیایی در لایه رسوبی با ضخامت 10 میلی متر و ثابت انتشار 10^{-8} مترمربع بر ثانیه، تورم آن شروع می شود. بدین ترتیب به منظور انتشار این ماده تا سطح فولاد زنگ نزن حداقل به یک ساعت زمان نیاز است، در حالی که در عمل، شست و شوی قلیایی تا این حد طول نمی کشد. مراحل آبکشی و نفوذ شوینده قلیایی در لایه ای اسفنجی بیرونی تر در شکل 2 نشان داده شده است.

براساس این شکل با نفوذ شوینده، ضمن تورم این لایه، ترک هایی مشاهده می شود. این ترک ها تا نزدیکی فولاد زنگ نزن گسترش می یابند، در حالی که لایه معدنی چسبیده به فولاد زنگ نزن متورم نمی شود. ایجاد ترک و شکست در لایه ای اسفنجی که به نفوذ هرچه بیشتر شوینده قلیایی کمک می کند، موجب بادکردگی و تورم این لایه شده و همچنین به گسسته شدن برخی پیوستگی های درونی لایه ای اسفنجی، لایه ای اسفنجی با لایه ای معدنی و تا حدودی لایه ای معدنی با سطح فولاد زنگ نزن منجر می شود.

عامل مهم دیگر در این میان تاثیر pH بالای شوینده قلیایی و افزایش دفعه ای الکترواستاتیکی¹ است. تخریب و جدا شدن بخش های ترک خورده به دو علت عمده صورت می گیرد که عبارتند از تنش برشی و نوسان فشار به علت جریان سریع و تلاطمی سیال.

1. Electrostatic Repulsion

محلول اسید نیتریک مقدار بیشتری (42%) از رسوبات معدنی و بخش باقی مانده (حدود 2%) مواد آلی نیز پاک شد. در مقایسه با شست‌وشوی پاستوریزاتور، عملیات شست‌وشوی تبخیر کننده به مراتب طولانی‌تر است. ترکیب و مقدار اجزاء تشکیل دهنده‌ی رسوب شیر کامل در پاستوریزاتور و تبخیر کننده در جدول 1 نشان داده شده است.

بازرسی‌های چشمی نشان داد که در بخش با دمای زیر 40 درجه سانتی‌گراد ترکیب اصلی رسوب، عمدتاً چربی و در بخش بالای 40 درجه سانتی‌گراد عمدتاً پروتئین و مواد معدنی است. رسوب مواد معدنی احتمالاً به دلیل زمان طولانی مرحله‌ی فرآوری (315 ثانیه) در دمای 90 درجه سانتی‌گراد پدید می‌آید.

برخلاف بخش پیش گرم‌کن که دارای دمای بالاتری از بخش تبخیر کننده است و موجب غیر طبیعی شدن پروتئین‌های سرمی² می‌شود، دمای بخش تبخیر کننده (به علت استفاده از خلاء) به مراتب کمتر است. براساس این شرایط دمایی و نتایج اکسیژن شیمیایی مورد نیاز (جدول 1) که نشان دهنده‌ی ترکیبات آلی در رسوب است، به نظر می‌رسد علاوه بر پروتئین‌های سرمی غیر طبیعی شده، که عامل اصلی بروز گرفتگی در تبخیر کننده محسوب می‌شوند، ترکیباتی مانند لاکتوز و اسید سیتریک نیز در ایجاد رسوب نقش دارند. زیرا هر میکروگرم بر گرم پروتئین و چربی که به ترتیب معادل 1/27 و 2/96 میکروگرم بر گرم اکسیژن شیمیایی مصرف می‌کند، به تنهایی نمی‌توانند این شاخص را به این میزان افزایش دهند.

برخی پژوهشگران اظهار نمودند که فسفات کلسیم در رسوبات معدنی سطوح مبدل حرارتی براساس نسبت مولی کلسیم به فسفر (1/5) تشکیل می‌گردد. اما نکته اینجاست که فسفر کل شامل فسفر آلی نیز هست. برای اثبات وجود فسفات کلسیم معدنی در رسوب به شکل برآشیت³ می‌توان به حضور نمک‌های فسفات کلسیم در اولین مرحله رسوب‌گذاری به صورت فسفات کلسیم دو آبه⁴ و وجود آن در اتصال با میسل-های کازئینی (فسفات کلسیم میسلی) با ساختاری مشابه برآشیت اشاره نمود.

تمامی شرایط تبخیر کننده صنعتی 4 بدنه‌ای را فراهم کردند. از این تبخیر کننده به منظور تغلیظ 3 ماده ورودی پاستوریزه شده اعم از شیر، آب پنیر با ماده خشک 5/7% و آب پنیر تغلیظ شده با ماده خشک 28% استفاده شد. عملیات تغلیظ شیر در این تبخیر کننده به ترتیب از بدنه‌ی اول تا چهارم در دمای 74 تا 70، 67 تا 63، 60 تا 53 و 52 تا 45 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به ماده خشک 48% صورت پذیرفت. تغلیظ آب پنیر از ماده خشک 5/7% به 28% به ترتیب در دماهای 70 تا 66، 66 تا 61، 55 تا 48 و 48 تا 40 درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. عملیات تغلیظ مجدد آب پنیر غلیظ با ماده خشک 28% تا رسیدن به 55% ماده خشک به ترتیب در دماهای 59 تا 56، 71 تا 68، 65 تا 62 و 60 تا 56 درجه سانتی‌گراد صورت پذیرفت [2].

عملیات پاکیزه‌سازی تبخیر کننده از نظر دما، سرعت جریان و غلظت هیدروکسید سدیم و اسید نیتریک مشابه شست‌وشوی پاستوریزاتور صورت گرفت، با این تفاوت که محلول قلیایی به مدت 30 دقیقه و محلول اسیدی به مدت 15 دقیقه در تبخیر کننده به گردش درآمدند. براساس شکل 3 مرحله جریان سریع قلیاشویی¹ علاوه بر زدودن بخش بسیار زیادی (96%) از ترکیبات آلی (عمدتاً پروتئین‌ها و چربی‌ها) بخش قابل توجهی (52%) از مواد معدنی را نیز پاک نمود.

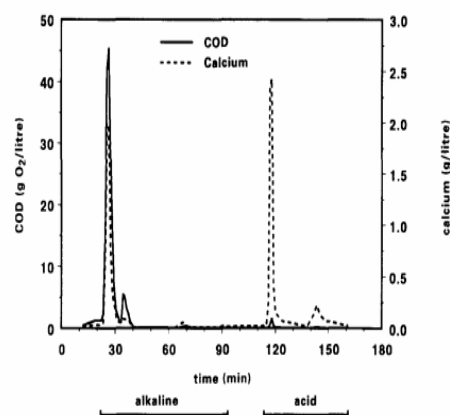


Fig 3 Milk deposit removal in the evaporator after operating for 20 h. Cleaning temperature: 70 °C, cleaning solutions: NaOH (1%) and HNO₃ (1%) در عمل، اولین گردش محلول هیدروکسید سدیم با آلودگی شدید همراه شد و ضرورتاً این ماده از سیستم تخلیه و محلول تازه جایگزین آن گردید. اما استفاده از شوینده تازه، تنها به زدودن 2% از مواد آلی منجر شد. پس از آبکشی، با استفاده از

2. Whey Proteins
3. Brushite
4. Di-Calcium Phosphate Dihydrate (DCPD: CaHPO₄.2H₂O)

1. First Alkaline Flush

Table 1 Composition of the deposit from whole milk in the heat exchanger and in the evaporator after operating for 20 h

	COD (g O ₂)	Protein (g)	Fat (g)	Ca (g)	PO ₄ (g)
Heat exchanger (Total)	1217	274	297	100	156
Evaporator					
Alkaline flush	8453 (96)	2265 (96)	1369 (96)	229 (52)	487 (84)
Alkaline circulation	167 (2)	38 (1.6)	31 (2)	26 (6)	3 (1)
Acid cleaning	208 (2)	57 (2.4)	34 (2)	185 (42)	86 (15)
Total	8828	2360	1434	440	576

Within parentheses: the percentage of the deposit removed by the various stages of cleaning.

پاکیزه سازی به طور قابل توجهی افت می کند، به گونه ای که حتی بازرسی ظاهری درون تبخیرکننده، نشان از عدم پاک شدن کامل آن دارد [9-12].

نکته جالب آن است که با افزایش غلظت شوینده قلیایی به 4/5% حتی در شرایط مطلوب سرعت جریان (3000 لیتر بر ساعت)، میزان پاکیزه سازی افت می کند و نمی تواند تبخیرکننده را به طور کامل پاک نماید. به عبارت دیگر بر خلاف تصورات معمول در صنعت، پاکیزه کردن تبخیرکننده ها و مبدل های حرارتی با افزایش غلظت شوینده قلیایی نتیجه بخش نیست. بدیهی است که افزایش غلظت شوینده قلیایی از 1 به 2% با سرعت جریان 800 لیتر بر ساعت نیز در پاکیزه سازی این تجهیزات ناموفق است [9 و 10]. به بیانی دیگر، تنها در سرعت جریان مناسب (3000 لیتر بر ساعت) و غلظت مطلوب شوینده قلیایی (1%) در مدت زمان کوتاهی می توان دستگاه تبخیرکننده را پاکیزه نمود و در صورت استفاده از سرعت جریان کم، استفاده از شوینده قلیایی بیش از غلظت مورد نیاز و یا وقوع هم زمان هر دو مورد (مثلاً هنگامی که محلول شوینده در تبخیر کننده تغلیظ می شود)، ضمن کاهش شدت پاکیزه سازی، زدایش رسوبات به طور کامل انجام نمی گیرد. به منظور برطرف کردن مشکل سرعت جریان اندک در این دستگاه می توان از قدرت یک پمپ مازاد با ظرفیت بهینه بهره جست. مطالعات متعددی نشان داده اند که مقدار رسوبات آلی زدوده شده، علی رغم ثابت نگه داشتن شرایط فرآوری، به صورت روزانه فرق می کند. بررسی نسبت پروتئین به چربی در آخرین بدنه تبخیرکننده نشان می دهد که در این قسمت از دستگاه، احتمالاً به دلیل سرعت جریان ناکافی یا توزیع غیر یکنواخت شیر، صرفاً خشک شدن شیر غلیظ صورت می گیرد، زیرا این نسبت با آن چه در شیر تغلیظ شده (مساوی 1) وجود دارد، برابر است.

نسبت مولی کلسیم به فسفر در محلول های شوینده ی خروجی تبخیرکننده بیش از 1/5 و در حدود 1/8 است. این مطلب خود نشان دهنده ی ترسیب نمک هایی به جز فسفات کلسیم (مانند سیترات کلسیم) و همچنین حضور میسل های کازئینی در رسوب است. به دلایل متعددی چون مشخص نبودن ثابت تفکیک نمک های در تعادل، انحلال پذیری نامعلوم نمک های کلسیم در شیر با دمای بالا و تاثیر ضریب غلظت بر قدرت یونی و ثابت فعالیت یونی، تعیین نمک های واقعی کلسیم در تبخیرکننده دشوار است. پاکیزه شدن رسوبات شیر در تبخیرکننده ها مشابه پاک شدن پاستوریزاتور است، با این تفاوت که به دلیل استفاده از خلاء و دمای کمتر در تبخیرکننده، حالت اسفنجی رسوب بیشتر از پاستوریزاتور است که خود سبب نفوذ هرچه سریع تر شوینده قلیایی در لایه ی اسفنجی و شست و شوی سریع تر آن می شود. نکته بسیار مهم آن است که، در صورت استفاده از دماهای بالاتر، رسوبات به مراتب سخت تری شکل می گیرند که مکانیسم زدایش آن ها می تواند متفاوت باشد.

نتایج بررسی های صورت گرفته حاکی از آن است که بیشترین گرفتگی در آخرین بدنه تبخیرکننده ها صورت می پذیرد و با توجه به طراحی و عملکرد این دستگاه ها (تبخیرکننده لایه نازک پایین ریزنده¹) نباید انتظار داشت که پاکیزه سازی به کمک سرعت جریان صورت پذیرد و تنها می توان قابلیت مرطوب کنندگی شوینده را در این امر موثر دانست. همانند مبدل های حرارتی، روند شست و شو در تبخیر کننده ها نیز حکایت از رابطه مستقیم سرعت جریان و میزان پاکیزه سازی دارد، به عنوان مثال اگر سرعت جریان از 3000 به 800 لیتر بر ساعت کاهش یابد، میزان مرطوب کنندگی از 3100 به 800 لیتر بر ساعت در هر متر، کاسته می شود. به عبارت دیگر میزان

1. Falling-film evaporator

رنگ شبه لاستیکی تشکیل نمی‌شود. فرض بر آن است که پاکیزه‌سازی مطلوب هنگامی حاصل می‌شود که لایه رسوبی پیش از آن که پلیمریزاسیون به حدی برسد که مانع از نفوذ محلول شوینده و ایجاد ترک در لایه رسوبی شود، در شرایط مناسبی از سطح فولاد زنگ نزن جدا گردد (شکل 2).

4- پاکیزه‌سازی رسوبات آب پنیر یا آب پنیر تغلیظ شده در کارخانه‌ی تولید پنیر، به منظور کاهش هزینه‌ی حمل و نقل، ماده خشک آب پنیر تازه از 5/6% به 28% افزایش می‌یابد، در حالی که در واحد فرآوری آب پنیر، ماده خشک آب پنیر ورودی از 28% به 55% می‌رسد. در این صنایع، پاکیزه‌سازی تجهیزات به سبب ایجاد رسوبات آب پنیر و پدیده گرفتگی از اهمیت بسیاری برخوردار است. در پژوهشی که در کشور هلند و با هدف پاکیزه‌سازی این تجهیزات انجام شد، شست‌وشو و پاکیزه‌سازی تجهیزات آب پنیر در واحد پنیرسازی به دو صورت مورد بررسی قرار گرفت: در روش اول ابتدا شست‌وشوی اسیدی و سپس شست‌وشوی قلیایی اعمال شد، در حالی که در روشی دیگر ترتیب این دو مرحله معکوس بود. جدول 2 میزان رسوبات زدوده شده از تبخیرکننده را پس از به کارگیری دو روش پاکیزه‌سازی فوق نشان می‌دهد.

در صورت شروع فرایند پاکیزه‌سازی با شوینده‌ی اسیدی، بخش عمده‌ی ترکیبات آلی نیز به همراه اسید خارج می‌شود که این مطلب چندان تعجب‌آور نیست، زیرا به عنوان نمونه سترات کلسیم که بخش عمده‌ی ترکیبات رسوبی را دربر می‌گیرد، از جمله ترکیبات مهم آلی نیز محسوب می‌شود. نکته مهم دیگر آن که اولین مرحله‌ی شست‌وشوی اسیدی در زدودن پروتئین‌ها بسیار موثر بوده و برخلاف انتظار مقدار بیشتری از این ترکیب را نسبت به اولین مرحله‌ی قلیاشویی خارج نموده است.

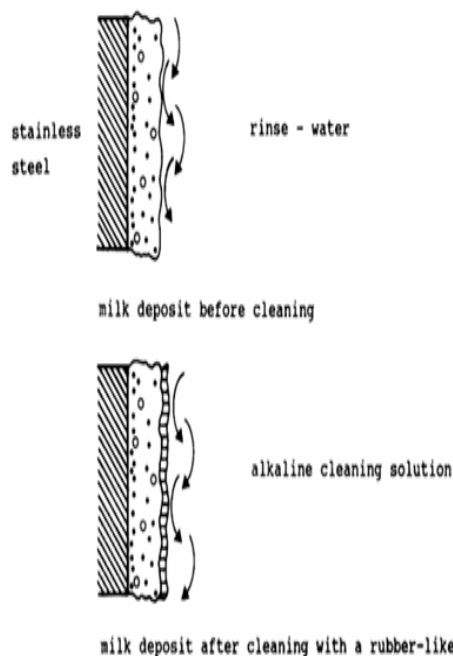


Fig 4 Schematic representation of the formation of a rubber-like layer at the outside of the milk deposit during alkaline cleaning.

مشاهدات چشمی رسوبات درون تبخیرکننده پس از شست‌وشوی نامناسب مبین آن است که بر سطح بیرونی این رسوبات، لایه‌ای به رنگ قهوه‌ای سوخته و مشابه لاستیک وجود دارد که تحت تاثیر شرایط پاکیزه‌سازی اعمال شده، متورم شده است.

احتمالاً واکنش‌هایی مانند تشکیل ژل یا پلیمریزه شدن، این ساختار لاستیک مانند را پدید آورده است (شکل 4)، که با کاهش نفوذ شوینده قلیایی، موجب افت چشم‌گیر میزان شست‌وشو می‌شود. پژوهشگران دیگری نیز تشکیل ژل حاوی پروتئین بر اثر واکنش قلیا (با غلظت 2%) و لایه رسوبی را گزارش دادند.

مطالعات نشان می‌دهد که در صورت کاهش دمای عملیات شست‌وشو از 70 به 50 درجه سانتی‌گراد، لایه اسفنجی قهوه‌ای

Table 2 Percentage of the Compounds of deposit of whey (5.7% TS) or Concentrated whey (28% TS) removed in an evaporator for two different cleaning procedures; 1: HNO₃ followed by NaOH, 2: NaOH followed by HNO₃

	1 st procedure		2 nd procedure		HNO ₃
	HNO ₃	NaOH	NaOH	HNO ₃	
	First flush	Circulation	First flush	Circulation	
COD	95 (99)	2 (0)	79 (96)	20 (3)	1 (1)
Protein	91 (99)	7(>1)	73 (97)	23 (1)	4 (2)
Citrate	100 (100)	0 (0)	91 (92)	9 (9)	0 (0)
Ca	97 (100)	1 (0)	33 (84)	37 (13)	30 (4)
PO ₄	99 (100)	0 (0)	51 (67)	27 (17)	22 (17)

Within parentheses: the percentage of the deposit removed by the different stages of cleaning.

ترکیبات آلی نیازمند صرف زمان قابل توجهی است، در حالی که اگر اسیدشویی بر قلیاشویی مقدم باشد (شکل 5 ب) به سرعت و عمدتاً در اولین مرحله بخش عمده ای از ترکیبات آلی و معدنی را پاک می کند.

5- پاکیزه سازی آنزیمی

در فرایند پاکیزه سازی به منظور دستیابی به روش های سازگار با محیط زیست، از آنزیم ها به جای ترکیبات شیمیایی استفاده می شود. با هدف پاکیزه سازی پاستوریزاتور، شست و شوی اسیدی با اسیدنیتریک 0/5 % در دمای 60 درجه سانتی گراد به مدت 15 دقیقه، آبکشی با آب و شست و شوی آنزیمی به مدت 45 دقیقه صورت گرفت. محققین ضمن تنظیم دما و pH بهینه از آنزیم های متفاوتی استفاده نمودند.

نتایج این تحقیق نشان داد که روش مبتنی بر آنزیم برای شست و شوی مبدل های حرارتی مناسب است، اما ضمن دارا بودن مزایای زیست محیطی قابل ملاحظه، محدودیت هایی چون تنظیم دوز آنزیم مصرفی، کنترل فرایند آنزیمی و افزایش هزینه را نیز در پی دارد [13].

یکی از سوالات مهم، انتخاب آنزیم مناسب برای شست و شو و پاکیزه سازی در صنعت شیر است. محققین در مقایسه 10 نوع پروتئاز و لیپاز تجاری مورد استفاده در این صنعت، دریافتند که در دمای 40 درجه سانتی گراد، تنها سه نوع از آنها عملکرد قابل مقایسه ای با سود سوزآور 1% در دمای 60 درجه سانتی-گراد دارند. پژوهشگران عملکرد پروتئاز های مختلف را در دماها و pH های مختلف بررسی نمودند و اعلام داشتند که دمای 40 درجه سلسیوس در اغلب آنها و pH حدود 10 در برخی از آنها شرایط بهینه است. این مقایسه بر اساس مقدار ترکیبات آلی و پروتئین های باقی مانده بر سطح فولاد زنگ نزن صورت پذیرفت. نتایج این تحقیقات نشان دهنده پاکیزه سازی رضایت بخش با روش آنزیمی در مقیاس صنعتی است. از دیدگاه اقتصادی استفاده از آنزیم در دمای پایین، با روش پاکیزه سازی قلیایی در دمای بالا قابل رقابت است. به علاوه، استفاده از روش آنزیمی مزایایی چون کاهش مصرف انرژی و آب، بهبود ایمنی شغلی، کاهش مقدار پساب تولیدی، قابلیت بیشتر تصفیه پساب و کاهش تاثیر مخرب زیست محیطی فرایند شست و شو را نیز در پی داشت [14]. (شکل 6)

خروج ترکیبات معدنی در اولین مرحله ی شست و شوی اسیدی تقریباً کامل صورت می گیرد، در حالی که اولین مرحله ی شست و شوی قلیایی بیشترین تاثیر را در زدودن سیترات نشان داده است و بر زدودن کلسیم و فسفات تاثیر نسبتاً کمتری دارد. در مجموع می توان گفت شروع فرایند شست و شو با اسید مرحله کار آمدی در پاکیزه سازی ترکیبات آلی و معدنی محسوب می شود.

آبکشی مقدماتی تا حدودی بر پاک نمودن ترکیبات آلی موثر است (شکل 5) و پاکیزه سازی رسوبات آب پنیر نشان می دهد

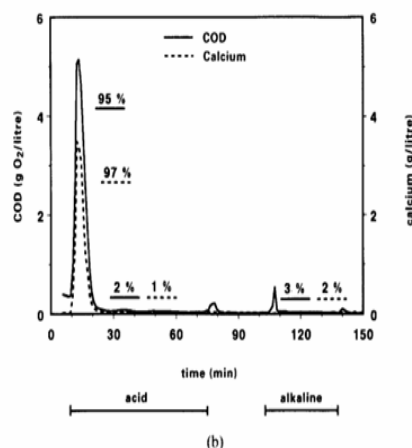
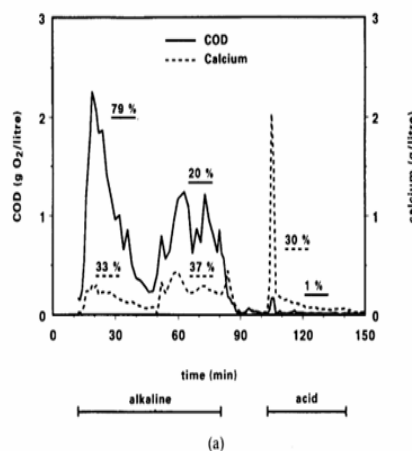


Fig 5 Whey deposit removal in an evaporator after operating for 20 h using (a) an alkaline-acid procedure and (b) an acid-alkaline procedure. Cleaning temperature :70 °C; cleaning solutions: NaOH (1%) and HNO₃ (1%).

که عملیات سودشویی تاثیر محدودی بر پاکیزه سازی مواد معدنی به ویژه کلسیم داشته و ضرورت اسیدشویی همچنان پابرجا است (شکل 5 الف). همچنین قلیاشویی در زدودن

محققین بر خلاف گزارشات پیشین pH معادل 10/5 را مناسب تر دانستند. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان ضمن کاهش مصرف مواد شیمیایی به نتایج رضایت‌بخشی دست یافت و فاضلاب عاری از مواد قلیایی و اسیدی بدون بوی نامطلوب تولید نمود [16].

6- پاکیزه‌سازی غشاء

فیلتراسیون شیر با استفاده از غشاءها، یکی از کارآمدترین روش‌های غیر حرارتی جداسازی چربی، پروتئین و بسیاری از میکروارگانیزم‌ها است [17]. استفاده از غشاءهایی چون میکروفیلتر³، اولترافیلتر⁴ و نانوفیلتر⁵ در حوزه‌ی طراحی فرایندها و توسعه‌ی محصولات شیری به واحدهای عملیاتی پایه در این صنعت تبدیل شده‌اند اما به سبب ته‌نشین شدن ترکیبات آلی و غیرآلی بر سطح غشاء، پاکیزه‌سازی منظم آنها الزامی است. همانند اهداف شست‌وشو در مورد سایر تجهیزات، علت اصلی شست‌وشوی غشاءها بازگرداندن آن‌ها به وضعیت اولیه قبل از شروع به کار است. به علاوه حفظ نفوذپذیری انتخابی غشاء، بازگشت به ظرفیت اولیه‌ی تجهیزات، به حداقل رساندن خطر آلودگی‌های باکتریایی و تولید محصولی مطلوب نیز در این زمینه حیاتی هستند. بدین منظور شوینده‌هایی بر پایه‌ی سود کاستیک، انواع اسید و آنزیم به کار گرفته می‌شود و معمولاً با افزودنی‌هایی که با اهداف شست‌وشوی خاص بهترین انطباق را دارند، فرموله می‌شوند. عملیات شست‌وشو معیابی چون تولید حجم بالای پساب، کاهش عمر غشاء و افت بازده تولید کارخانه را نیز به همراه دارد و بر این اساس باید از نظر غلظت، ترتیب و مدت زمان مراحل شست‌وشو، دما، فشار و سرعت جریان بهینه شود [18].

6-1- اولترافیلتراسیون

پر کاربردترین غشاء در صنعت شیر، غشاء اولترافیلتراسیون است که از معمول‌ترین کاربردهای آن می‌توان به جداسازی ترکیبات شیر، تغلیظ این ترکیبات و آب پنی‌اشاره نمود. نشست و ماند میکروارگانیزم‌ها، پروتئین‌ها، چربی‌ها و مواد معدنی عامل اصلی گرفتگی⁶ این نوع غشاء هستند و بدیهی است که پاکیزه‌سازی آن از اهمیت خاصی برخوردار است

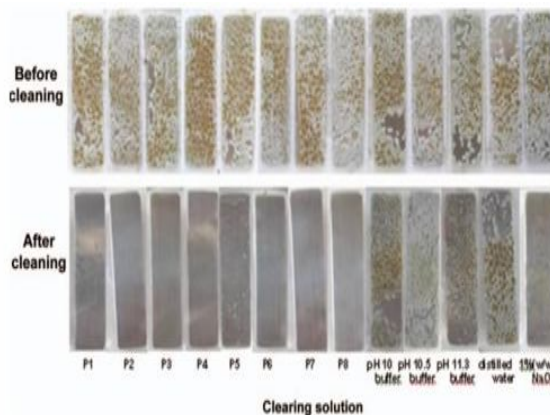


Fig 6 Milk-fouled stainless steel panels before and after cleaning at 40 °C with 0.05 units ml⁻¹ of commercial protease products (P1-P8), buffers, distilled water and 1% (w/w) NaOH.

در پژوهش دیگری به منظور پاکیزه سازی پروتئین‌های شیر، 14 پروتئاز قارچی با یکدیگر مقایسه شدند. مراحل شست‌وشوی درجا شامل شست‌وشو با کربنات سدیم¹ و سپس پاکیزه‌سازی با آنزیم‌های قارچی بود. کاهش هر چه بیشتر مقدار مواد آلی و پروتئین‌های نشسته بر سطح فولاد زنگ نزن در دمای 40 درجه سانتی‌گراد، به عنوان شاخص اثر گذاری این روش در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در میان انواع پروتئاز به کار رفته، پروتئاز برون سلولی تولید شده به وسیله‌ی شیزوفیلیوم کومون² بیشترین تاثیر پاک کنندگی را داراست. در گزارش دیگری شرایط بهینه عملکرد پروتئازهای قارچی مقایسه شد و مشابه یافته‌های قبلی دمای 40 درجه سلسیوس به مدت 60 دقیقه و pH حدود خنثی شرایط مطلوبی برای حصول عملکرد مناسب بدون ایجاد مشکل خوردگی و تاثیر نامطلوب زیست محیطی است. عدم نیاز به خنثی نمودن pH پساب قبل از دفع را می‌توان از مزایای این روش برشمرد [15]. گروهی از پژوهشگران، آنزیم پروتئاز نوعی باسیلوس را بر گوی‌های کوچک آلژینات تثبیت نمودند. آنها از این آنزیم‌ها در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به منظور پاکسازی رسوبات از سطح فولاد زنگ نزن استفاده کردند. پژوهشگران دیگری که از پروتئازهای باکتریایی استفاده نمودند دمای مناسب عملکرد آن را قدری بالاتر (50-70 درجه سلسیوس) و محدوده‌ی بهینه‌ی pH آن را بین 8 تا 11 اعلام نمودند که در این pH پروتئاز باکتریایی 90 درصد فعالیت آنزیمی را داراست. البته این

3. Microfilter
4. Ultrafilter
5. Nanofilter
6. Fouling

1. Sodium carbonate (Na₂CO₃)
2. Schizophyllum commune

[19]. از این روی روش های شست و شوی آن در مطالعات مختلف بررسی شده اند.

در پژوهشی شست و شو و رفع گرفتگی غشاء اولترافیلتراسیون غیر آلی که برای فرآوری آب پنیر یا شیر مورد استفاده قرار گرفته بود، با استفاده از هیپوکلریت سدیم و سپس اسید نیتریک مطالعه شد. نتایج نشان داد برای انحلال مواد آلی، کاربرد هیپوکلریت سدیم و برای رفع گرفتگی با مواد معدنی، استفاده از اسید نیتریک ضروری است. این روش شست و شو معمولاً در مدت کوتاه، به صورت کارآمد عمل می کند و می توان از بازگرداندن تراویده¹ نیز استفاده نمود. هیپوکلریت سدیم قادر به رفع گرفتگی های شدید نیست و استفاده از اسید برای زدودن رسوبات معدنی ضرورت دارد. در صورت تغلیظ آب پنیر، به دلیل ایجاد لایه نازکی از پروتئین ها و نمک های معدنی بر سطح غشاء، پاکیزه سازی شیمیایی به طور کامل قابل دستیابی نیست، زیرا یون ها نقش بسیار مهمی در گرفتگی غشاء بازی می کنند و هنگام شست و شو باید به طور خاصی مورد توجه قرار گیرند [20].

در ادامه این پژوهش، پاکیزه سازی غشائی که برای تغلیظ شیر بی چربی² مورد استفاده قرار گرفته بود، ارزیابی شد. به ترتیب از هیپوکلریت سدیم به تنهایی، یا اول هیپوکلریت و سپس اسید نیتریک، اسید نیتریک به تنهایی و همچنین از سود سوزآور حاوی ترکیبات کمپلکس دهنده (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید³) و ترکیبات فعال سطحی استفاده شد. اگر چه تمام روش های به کار رفته کارآمد بودند، اما در تمام موارد پس از این عملیات، مقادیر کمی از پروتئین و کلسیم بر سطح و درون غشاء شناسایی شد. پژوهشگران دریافتند که در صورت انتخاب مناسب مواد فعال سطحی و ترکیبات کمپلکس دهنده با کلسیم، امکان تهیه ی محلول قلیایی کارآمد برای شست و شوی تک مرحله ای غشاء وجود دارد [21].

در مطالعه ی دیگری، شست و شوی دو مرحله ای غشاء با سود سوزآور و سپس اسید نیتریک بررسی شد. نتایج نشان دادند که استفاده از اسید در رفع گرفتگی غشاء اولترافیلتراسیون مسدود شده با شیر بی چربی موثر است. ظاهراً استفاده از شوینده ی اسیدی پس از شست و شوی با سود سوزآور موجب افزایش گمراه کننده ی شار⁴ می شود. در ضمن پژوهشگران به ناکارآمدی

عملیات شست و شوی اسیدی پی برده و اعلام نمودند که یون های نیترات با پروتئین های سطح غشاء واکنش داده و خاصیت آب گریزی آن را کاهش می دهند [22].

همان پژوهشگران پاکیزه سازی غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی اترسولفون⁵ که هنگام کار با شیر بی چربی صرفاً به وسیله ی پروتئین ها دچار گرفتگی بازگشت ناپذیری شده بود را بررسی کردند. این مطالعه که با ATR/FTIR⁶ صورت گرفت مشخص نمود که سود سوزآور به تنهایی قادر به پاک کردن 24% از پروتئین ها است و اگر چه اسید نیتریک نیز همان مقدار پروتئین را خارج می کند، اما در pH اسیدی و از طریق جذب سطحی نیترات بر پروتئین ها، موجب کاهش آب گریزی ترکیب و در نهایت افزایش گمراه کننده ی شار می شود [23].

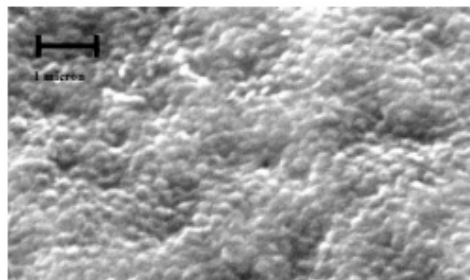
رفع گرفتگی غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی اترسولفون که به منظور تغلیظ پروتئین های شیر بی چربی به کار گرفته شده بود، موضوع مطالعه قرار گرفت، که در آن از شوینده های قلیایی (pH معادل 11/5-12، دمای 50 درجه سانتی گراد) استفاده شد. مشخص شد که عوامل هیدرودینامیکی مانند فشار و سرعت جریان بر کارایی شست و شو تاثیر محدودی دارند و باید ویژگی های فیزیکی شیمیایی محلول های شوینده نیز در نظر گرفته شود. نکته ی مهم آن که، آبکشی نهایی نقش تعیین کننده ای در رفع گرفتگی دارد، اما بهینه سازی زمان و میزان آب مصرفی ضروری است [24].

پژوهشگران عوامل اصلی ایجاد گرفتگی و کاهش شار⁷ غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی سولفون⁸ را بررسی نمودند (شکل 7). نتایج نشان داد که مهمترین عوامل موثر بر گرفتگی، فشار و دمای مورد استفاده هنگام کار با غشاء است. به طور معمول در ابتدای کار با غشاء (شکل 7 الف)، شار بسیار بالا است، اما پس از مدتی کاهش می یابد. علت این پدیده مسدود شدن سوراخ های غشاء به مرور زمان است (شکل 7 ب). به نحوی که ابتدا سوراخ های کوچکتر و سپس سوراخ های بزرگتر دچار گرفتگی می شوند، که نتیجه ی آن کاهش ناگهانی شار است. عواملی چون مشخصات ظاهری، شکل، ساختار غشاء و ویژگی هندسی منافذ آن در این پدیده بسیار تاثیر گذارند. استفاده از سود سوزآور به تنهایی (شکل 7 ث) با غلظت نیم درصد پس از نیم ساعت گردش و اسید سیتریک به تنهایی

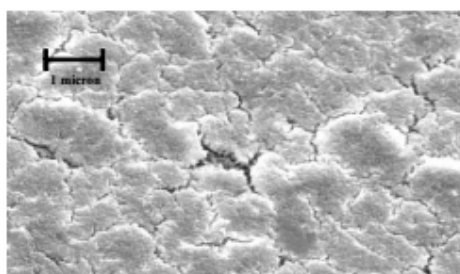
5. Poly Ether Sulfone (PES)
6. Attenuated Total Reflection/Fourier Transform Infra-Red
7. Flux
8. Polysulfone (PS)

1. Permeate
2. Skim milk
3. Ethylene Di amine Tetra Acetic acid (EDTA)
4. Flux

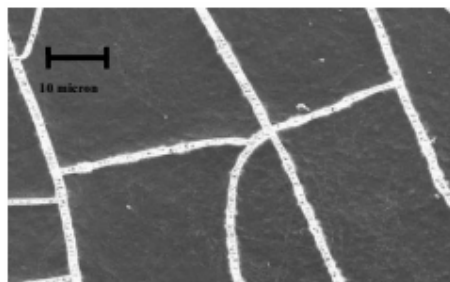
(شکل 7 ی) با جریان پرفشار در دمای 55 درجه سانتی‌گراد است [1].



A. SEM image of a new UF membrane.

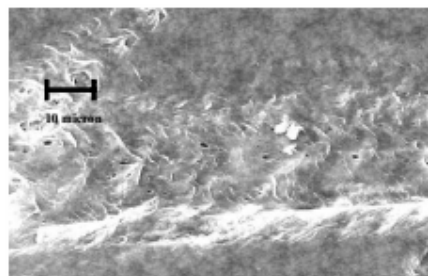


B. SEM image of a fouled UF membrane.

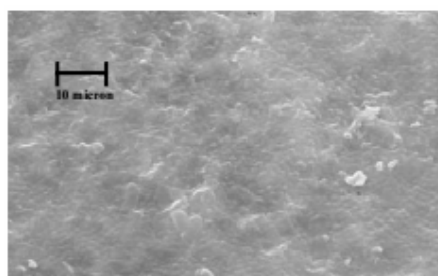


C. SEM image of a UF membrane cleaned with 0.5wt% NaOH (showing the damaged area).

(شکل 7 د) موجب آسیب به غشاء می‌شود و پیشنهاد پژوهشگران برای کاهش انسداد غشاء استفاده از آب دیونیزه



D. SEM image of a UF membrane cleaned with 0.5wt% citric acid (showing the damaged area).



E. SEM image of a UF membrane cleaned with hot water.

Fig 7 SEM images of UF membrane before and after fouling, washing with NaOH, Citric acid and deionized water.

نتایج تحقیقات دیگری نشان می‌دهد که غشاء اولترافیلتراسیون مسدود شده با ترکیبات شیر را می‌توان با ترکیبی شامل اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، سدیم دو دسیل سولفات² و سود کاستیک پاکسازی نمود. در این میان سدیم دو دسیل سولفات به عنوان ماده‌ی فعال سطحی، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید به عنوان عامل شلاته کننده و هیدروکسید سدیم به‌عنوان شوینده قلیایی قوی مورد استفاده قرار گرفتند. نقش اتیلن دی آمین تترا استیک اسید شلاته کردن برخی از کاتیون‌های دو و چند ظرفیتی و اثر سدیم دو دسیل سولفات تغییر کشش بین سطحی و نقش امولسیون کننده است و سود کاستیک با

تاثیر پاک‌کنندگی محلول سود سوزآور تازه و محلول چند بار استفاده شده¹، بر غشاء اولترافیلتراسیون مقایسه شد. پاکیزه شدن غشاء مسدود شده با شیر بی‌چربی به وسیله محلول سود سوزآور چند بار استفاده شده به علت پایین آمدن کشش سطحی به مراتب از محلول تازه، موثرتر بود، مشروط بر آن‌که محلول سود سوزآور مورد نظر قبلاً به وسیله غشاء میکروفلتراسیون (با منافذ 0/1 میکرومتر) تصفیه شود، به نحوی که ذرات معلق آن به طور قابل توجهی کاهش یابد [25].

2. Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)

1. Recycled Sodium Hydroxide Solution

- به طور کلی انواع قلیا قادر به صابونی کردن چربی ها و محلول کردن نسبی پروتئین ها هستند.

- در هیچ غلظتی استفاده از اتیلن دی آمین تترا استیک اسید به تنهایی پیشنهاد نمی شود، اما ترکیب آن با مواد شوینده ی قلیایی نتایج مناسبی در پی دارد.

- نتایج استفاده از سدیم دو دسیل سولفات هم به تنهایی و هم در ترکیب با سود سوزآور (شوینده قوی) و اتیلن دی آمین تترا استیک اسید به عنوان عامل شلاته کننده² نتایج مطلوبی داشت.

- بهینه سازی سرعت جریان باید مورد توجه قرار گیرد [27].

7- کاربرد غشا در بازیابی شوینده های

قلیایی

به طور معمول مقادیر قابل توجهی از محلول های شوینده قلیایی با دمای بالا (معمولا 80 درجه سانتی گراد) در صنعت شیر به کار گرفته می شوند. دفع این ترکیبات شوینده، ضمن ایجاد مشکلات زیست محیطی متعدد، نیازمند خنثی سازی پیش از تخلیه است. یکی از تلاش های صورت گرفته، به کارگیری فن آوری جداسازی غشایی برای تصفیه این محلول ها است. هدف اصلی استفاده از این فناوری، جداسازی ترکیبات شیر از مواد شوینده و فراهم کردن شرایطی برای استفاده مجدد از این شوینده ها است. بدین ترتیب دوره ی زمانی استفاده از آنها قبل از دفع، طولانی تر شده و در مصرف انرژی، آب و مواد شیمیایی صرفه جویی می شود. میزان شار و اکسیژن شیمیایی مورد نیاز هنگام تصفیه مواد شوینده ی متفاوت، با استفاده از غشاء های سرامیکی، مطالعه شد. یکی از اهداف پیش رو دستیابی به شار مناسب و ثابت بود. تصفیه ی مواد شیمیایی به وسیله غشاء نتایج متفاوتی حاصل نمود. به عنوان مثال پس از هر بار استفاده از یک محلول شوینده ثابت، ترکیب محلول تصفیه شده، مقدار کاهش اکسیژن شیمیایی مورد نیاز و مقدار افزایش شار تفاوت نمود. به نظر می رسد عواملی چون ترکیب، ویژگی ها، زمان و دمای محلول پاکیزه کننده به مراتب بیش از غلظت آن در این امر موثرند. به عنوان نمونه، ترکیبات فعال سطحی بر میزان شار موثرند و وجود ترکیبات کمپلکس دهنده بر ایجاد رسوبات پراکنده بر سطح غشاء اثر دارند [28].

تغییر pH محلول، شرایط بهتری برای خروج هر چه بیشتر عوامل مسدود کننده ی غشاء که بوسیله ی اتیلن دی آمین تترا استیک اسید و سدیم دو دسیل سولفات از آن جدا شده اند را فراهم می کند [19].

استفاده از تنش برشی زیاد به منظور پاکیزه سازی غشاء اولترافیلتراسیون مسدود شده با ترکیبات پساب شیر و فراورده های آن مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر تنش برشی، دما، نوع ترکیب شوینده، غلظت و زمان شست و شو بر کارایی پاکیزه سازی با روش های مختلف (آب کشی با آب و شست و شوی شیمیایی) مطالعه شد. امکان پاک شدن موثر میسل های کازئین و پروتئین های سرم شیر با کمک تنش برشی فراهم گردید. در میان عوامل مختلفی چون تنش برشی، دما، نوع ماده شوینده، غلظت ماده شوینده و زمان پاکیزه سازی، مهمترین عامل تنش برشی و کم اهمیت ترین آن زمان پاکیزه سازی بود. شست و شوی غشاء در دمای 35 درجه سانتی گراد تاثیر بهتری از دمای محیط (20 درجه سانتی گراد) داشت [26].

2-6- میکرو فیلتراسیون

بررسی علل گرفتگی و کاهش شار غشاء میکرو فیلتراسیون از جنس پلی وینیلیدین دی فلوراید¹ و غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی سولفون نشان داد که عواملی چون مشخصات غشاء، جریان ماده ورودی، شرایط عملیاتی مانند دما (شکل 8)، اختلاف فشار دو سمت غشاء و زمان گردش ترکیبات شوینده (شکل 9) بر عملکرد پاکیزه سازی موثر هستند [17].

بررسی شرایط بهینه ی پاکیزه سازی غشاء میکرو فیلتراسیون مشخص نمود که علت عمده انسداد این نوع غشاء، مانند ترکیبات و عواملی مانند چربی ها، مواد معدنی و میکروارگانیسم ها است. با ارزیابی اثر غلظت، دما، زمان شست و شو و سرعت جریان، ضمن استفاده از انواع مواد شوینده مانند اسیدها، بازها و ترکیبات فعال سطحی پژوهشگران دریافتند که:

- شست و شوی طولانی تر و دمای بالاتر تا حد مشخصی در کارایی این فرایند موثر است و موجب بازیابی سریع تر شار می شود.

- استفاده از اسید نیتریک و اسید کلریدریک به عنوان ترکیبات شوینده پیشنهاد نمی شوند.

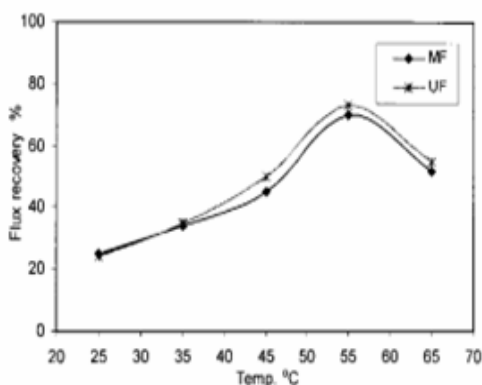


Fig 8 Optimal cleaning temperatures of UF and MF membranes

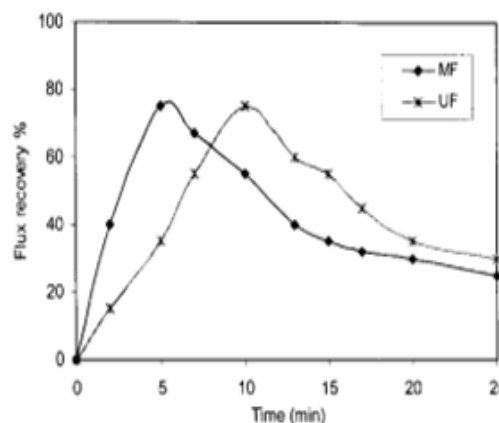


Fig 9 Optimal cleaning time of UF and MF membranes

عوامل مسدود کننده غشاء اولترافیلتراسیون می باشد. عوامل مسدود کننده مهم عبارتند از: پروتئین های سرم شیر، آلبومین سرم شیر گاو² و کلریدکلسیم³. استفاده از امواج فراصوت با تواتر⁴ 20 کیلو هرتز و توان⁵ 300 وات به افزایش قابلیت نفوذپذیری مواد شوینده به میزان 9% منجر شد. عواملی چون نوع پروتئین ها، غلظت آن ها، غلظت مواد شوینده و دمای به کار رفته حین کار با غشاء، بر گرفتگی و رفع آن موثرند، اما تاثیر عملیات فراصوت به منظور رفع انسداد غشاء از اثر عواملی چون دما و غلظت مواد شوینده بیشتر است، به گونه ای که می تواند تا 95% پروتئین های سرمی را از سطح غشاء پاک کند [31]. در ادامه ی همان پژوهش، تاثیر عملیات فراصوت بر پاکیزه سازی غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی اترسولفون و سرامیکی با اندازه های منافذ متفاوت بررسی شد. ماده ورودی به غشاء، شامل آلبومین سرم شیر گاو، آلبومین پروتئین شیرگاو، به علاوه کلرید کلسیم و تغلیظ شده ی پروتئین های سرمی شیر⁶ بود. نتایج این پژوهش نیز مویذ این نکته است که تاثیر این عملیات بیش از جنس و اندازه منافذ غشاء اولترافیلتراسیون، به نوع گرفتگی وابسته است به طوری که بیشترین انسداد به وسیله تغلیظ شده ی پروتئین های سرمی شیر روی داد. استفاده از فرایند فراصوت در قیاس با پاکیزه سازی غشاء با سود سوزآور موثرتر بود و با کاهش تواتر امواج فراصوت، اثربخشی آن افزایش یافت. نکته مهم آن که در صورت افزایش غلظت کاتیون هایی مانند کلسیم که منجر به استحکام هر چه بیشتر

8- شست و شو با کمک امواج فراصوت

از این امواج به طور مشخص در جهت پایش (به وسیله فرا-صوت تشخیصی) و پاکیزه سازی (توسط فراصوت تخریبی) می توان استفاده نمود. امروزه از امواج مافوق صوت تخریبی در کنار روش های معمول پاکیزه سازی به ویژه به منظور شست و شوی انواع غشاء، ظروف بسته بندی و سبدهای حمل فرآورده های شیری استفاده می شود.

پروتئین های سرم شیر مهمترین عامل کپ شدن غشاها هستند. استفاده از فرایند امواج فراصوت به همراه ترکیبات شیمیایی پاک کننده امکان کاهش پدیده ی گرفتگی غشاء و افزایش شار را میسر می کند. جالب آن که میزان بازیابی شار به مدت زمان عملیات فراصوت بستگی نداشته، اما به قدرت این عملیات وابسته است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از امواج فراصوت تاثیر مخربی بر غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی سولفون ندارد [29].

برخی پژوهشگران در آزمایشی بر غشاء اولترافیلتراسیون از جنس پلی سولفون، ضمن تایید تاثیر مثبت این امواج بر رفع پدیده ی گرفتگی، متذکر شدند که این تکنیک، حتی بدون استفاده از ترکیبات شوینده ی شیمیایی نیز تاثیر به سزایی داشته، اما به همراه شوینده ها کارایی به مراتب بهتری دارد. آنها اظهار نموده اند که استفاده از امواج فراصوت از طریق افزایش جریان تلاطمی¹، پنج تا ده درصد به کارایی فرایند شست و شو می افزاید [30].

نتایج یکی از پژوهش های جدید حاکی از تاثیر این فرایند بر افزایش قابلیت نفوذپذیری ترکیبات شیمیایی پاک کننده در

1. Turbulent flow

2. Bovine serum albumin (BSA)

3. CaCl₂

4. Frequency

5. Power

6. Whey Protein Concentrate (WPC)

این امواج، دارای مزایایی همچون عدم مداخله در فرایند شست و شو، عدم تخریب محصول و قابلیت استفاده به صورت مداوم در مدار تولید است. بدین ترتیب امکان بهینه سازی زمان شست و شو با در نظر گرفتن ماهیت و میزان مواد ته نشین شده فراهم می شود [35].

بررسی عوامل فیزیکی (دما و سرعت جریان) و عوامل شیمیایی (pH و غلظت پروتئین ها) در ایجاد رسوب بر مبدل های حرارتی³ نشان داد که یکی از مهمترین پروتئین های ترسیب شده بتالاکتوگلوبولین⁴ است. به منظور کاهش رسوب سه راه حل زیر پیشنهاد شد:

1- اصلاح عملیات حرارتی از طریق تنظیم برنامه ی دمایی، مثلا ثابت نگه داشتن دمای بخش حرارتی.

2- اصلاح طراحی مبدل حرارتی با تغییر پیکره بندی⁵ و استفاده از سطوح صیقلی تر.

3- اصلاح ترکیب مایع ورودی، به عنوان مثال از طریق افزودن عوامل اکسید کننده با هدف جلوگیری از متجمع شدن⁶ پروتئین ها و استفاده از ترکیبات مهار کننده ی فسفات کلسیم جهت جلوگیری از ناپایدار شدن و ته نشینی آنها. لازم به یادآوری است که ممکن است استفاده از این ترکیبات به دلیل محدودیت ویژگی های محصول غذایی ممنوع باشد [36].

بازیابی ترکیبات شوینده با هدف افزایش کارایی عملیات شست و شو صورت می پذیرد. استفاده از انواع غشاء به ویژه نانوفیلتراسیون یکی از روش های بازیابی شوینده قلیایی است. به منظور کنترل و پایش این عملیات، شاخص اکسیژن شیمیایی مورد نیاز در فرایند شست و شوی در جا، به صورت یک و دو مرحله ای به کار گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده چند باره از شوینده قلیایی تا زمانی که میزان آلودگی آن پس از فیلتراسیون از حد مطلوب بیشتر نباشد، ممکن است. براین اساس لازم است عملیات کنترل به صورت دوره ای انجام شده و در صورتی که آلودگی از حد مجاز بیشتر باشد، شوینده قلیایی تخلیه و با شوینده جدید جایگزین شود [37].

پژوهشگران دیگری عنوان نموده اند که استفاده مجدد از سود کاستیک جهت پاکیزه سازی غشا اولترافیلتراسیون در دمای 50

پیوند بین پروتئین ها و غشاء می شود، عملکرد امواج فراصوت کاهش می یابد [32].

از دیگر کاربردهای این امواج می توان به شست و شوی ظروف بسته بندی و سبدهای حمل و نقل فرآورده های شیری اشاره نمود. با بازگشت سبدهای حمل فرآورده های شیری به کارخانه، آلودگی خطوط با برخی عوامل بیماری زا از جمله لیستریا منوسیتوژنر¹ ممکن می شود. پاکیزه سازی این ظروف با سود سوزآور حاوی اتیلن دی آمین ترا استیک اسید از شوینده های حاوی سورفاکتانت های آنیونی موثرتر است و افزایش زمان شست و شو به مراتب موثرتر از افزایش غلظت ترکیبات شوینده است. پژوهشگران همچنین پیشنهاد نموده اند که از امواج فراصوت با هدف افزایش کارایی این عملیات استفاده شود. به عنوان نمونه نتایج پژوهشی در خصوص اثر امواج فراصوت بر پاکیزه سازی قالب های پلیمری پنی نشان داد که استفاده از این فرایند موجب بهبود پاکیزه سازی این وسایل و تجهیزات و رفع آلودگی درون کانال های باریک و بلند آنها می شود. البته تاثیر این فرایند باید بر اساس روش های آزمایش معتبر سنجیده شود [33].

9- پایش فرآیند پاکیزه سازی

شست و شوی در جا در بسیاری از موارد بر اساس تجربه صورت می گیرد و غالبا این عملیات طولانی تر از زمان مورد نیاز ادامه می یابد. طولانی شدن این عملیات با افزایش هزینه ی شست و شو و کاهش ظرفیت تولید همراه است. به همین منظور، محققین از دو حسگر جهت پایش این فرایند در مبدل حرارتی فرادما² استفاده نمودند. یکی از حسگرها بر اساس کدورت و دیگری بر پایه مقدار کلسیم طراحی شد. نتایج این پژوهش حاکی از ارتباط اطلاعات حاصل از هر دو حسگر با عواملی چون پاک شدن گرفتگی ها، تنظیمات شیرآلات و هدایت الکتریکی بود. لازم به ذکر است که در صورت ایجاد کف، سنجش کدورت دچار اختلال می شود و تغییرات pH نیز بر عملکرد حسگر کلسیم موثر است [34].

همچنین، محققین از فرایند فراصوت با قدرت کم، جهت پایش پاک سازی رسوبات از سطح مبدل های حرارتی استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که در صورت کالیبراسیون مناسب، می توان از این روش در حد صنعتی استفاده نمود. به کارگیری

3. Heat Exchangers
4. Beta-Lactoglobulin
5. Configuration
6. Aggregation

1. *Listeria monocytogenes*
2. Ultra High Temperature (UHT)

(مانند دستگاه های پاستوریزاتور) استفاده می شود. بر خلاف شست و شوی هر روزه با ترکیبات قلیایی، تناوب شست و شوی اسیدی متفاوت است و ممکن است هر روز، یک روز در میان یا هفته ای یک بار به کار گرفته شود [40].

چهار روش شست و شوی درجای کامل (شست و شو و ضد عفونی)، شامل شست و شوی معمول قلیا-اسید بدون استفاده از آب داغ جهت ضد عفونی، شست و شوی قلیایی یک مرحله ای با ضد عفونی شیمیایی (اسیدی)، شست و شو بر پایه آنزیم با ضد عفونی به روش شیمیایی (اسیدی) و همچنین شست و شوی معمول با ضد عفونی به وسیله اسید نیتریک سرد در pH برابر 2 از جنبه های مربوط به ملاحظات زیست محیطی با یکدیگر مقایسه شدند. در میان این چهار روش و از دیدگاه مصرف انرژی، گرمایش جهانی، اسیدی کردن محیط و آب، ایجاد مرداب و تشکیل ترکیبات موسوم به فتواکسیدانت³، دو روش پاکیزه سازی بر پایه آنزیم و پاکیزه سازی قلیایی یک مرحله ای بهتر از دو روش دیگر بودند. اگرچه ترکیبات شیر در اولین مرحله آبکشی عمده ترین عامل مردابی کردن آب ها به حساب می آیند، وجود فسفر و نیترژن در ترکیبات شوینده نیز در این پدیده موثر است. به هر حال از جنبه ی زیست محیطی و در میان شوینده هایی که تا حدودی دارای عوامل سمی هستند، شست و شوی قلیایی یک مرحله ای با ضد عفونی شیمیایی (اسیدی) بهترین نتیجه را حاصل نمود [40].

11- نتیجه گیری

شاخص ها و عوامل پایش کننده ی کارایی عملیات شست و شو عبارتند از اکسیژن شیمیایی مورد نیاز، کلسیم، کدورت، هدایت الکتریکی و حسگرهای با فناوری فراصوت. بر اساس پایش این شاخص ها می توان نتیجه گرفت که بر خلاف تصور مرسوم، روش های کلاسیک شست و شو از ضعف های متعددی برخوردارند و نمی توان از آن ها حداکثر کارایی را انتظار داشت، مثلا استفاده از محلول هیدروکسید سدیم و سپس محلول اسید نیتریک تبخیر کننده ها موجب پاک کردن کامل مواد معدنی نخواهد شد و یا استفاده از سود سوزآور در طی زمان صدمات جبران ناپذیری بر غشا اولترافیلتراسیون وارد نموده و عمر آن را به طور چشمگیری کاهش می دهد. نوع ترکیبات رسوبی (به ویژه پروتئین های سرمی و اشکال مختلف کلسیم) در مبدل های حرارتی و تبخیرکننده ها به ترکیب ماده ی ورودی

درجه سانتی گراد در صورتی کارآمد است که مقدار مواد جامد معلق و کثکث سطحی آن به اندازه ی کافی کم باشد [25].

در پژوهشی از حسگر نوری به منظور پایش اثر بخشی شست و شوی سطوح مبدل حرارتی صفحه ای (پاستوریزاتور شیر) با سود سوزآور استفاده و تاثیر عواملی مانند دما، غلظت، سرعت جریان و ماهیت محلول شوینده بر فرایند پاکیزه سازی بررسی شد. پژوهشگران اعلام نمودند که حسگر نوری کالیبره شده قادر به پایش اثربخشی این عملیات به صورت برخط¹ است، اما کالیبراسیون آن به ترکیب ماده غذایی مورد نظر بستگی دارد [38].

در تکمیل این مطالعه از حسگر نوری حساس به کدورت برای پایش پاکیزه سازی دستگاه پاستوریزاتور استفاده شد. این دستگاه که جهت پاستوریزه کردن شیر خام پرچرب مورد استفاده قرار گرفته بود، با سود سوزآور شست و شو شد. استفاده از این حسگر به همراه محلول شست و شوی تازه تهیه شده، امکان سنجش میزان پاکیزه سازی را به صورت برخط فراهم نمود. در میان پارامترهای فیزیکی شیمیایی مختلف و موثر بر فرایند پاکیزه سازی؛ دما، غلظت و میزان گردش محلول شوینده قلیایی مطالعه شدند. نتایج نشان داد که تاثیر افزایش یک درصدی غلظت سود سوزآور بر میزان شست و شو، با افزایش 8 درجه سانتی گراد دما یا 0/5 متر بر ثانیه سرعت جریان معادل است [39].

10- اهمیت آب، انرژی و ملاحظات

زیست محیطی

مراحل مختلف شست و شوی سطوح در تماس با شیر و فراورده های آن، تبعات زیست محیطی بسیاری دارند. به همین جهت یکی از مهمترین اهداف، کاهش مصرف آب، انرژی و مقدار شوینده ها در پساب است. پساب حاصل از آبکشی مقدماتی از دیدگاه زیست محیطی و براساس دو شاخص اکسیژن مورد نیاز زیستی² و شیمیایی از اهمیت زیادی برخوردار است. شوینده های قلیایی که در پاک سازی چربی ها و تا حدودی پروتئین ها موثرند و شوینده های اسیدی که با هدف خارج کردن رسوبات معدنی به کار می روند، دارای آثار مخرب زیست محیطی هستند. از شوینده های اسیدی در مراحل اولی از فرایند که دما بالاست و رسوب مواد معدنی بیشتر اتفاق می افتد

1. Online
2. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

3. Photo-oxidant

- [5] Boxler C, Augustin W, Scholl S. Cleaning of whey protein and milk salts soiled on DLC coated surfaces at high-temperature. *Journal of food engineering*. 2013 Jan 1; 114(1):29-38.
- [6] Úbeda MA, Hussein WB, Hussein MA, Hinrichs J, Becker TM. Acoustic sensing and signal processing techniques for monitoring milk fouling cleaning operations. *Engineering in Life Sciences*. 2016 Jan; 16(1):67-77.
- [7] Leclercq-Perlat MN, Tissier JP, Benezech T. Cleanability of stainless steel in relation to chemical modifications due to industrial cleaning procedures used in the dairy industry. *Journal of food engineering*. 1994 Jan 1; 23(4):449-65.
- [8] Tissier JP, Corrieu G, Lalande M. General and kinetic aspects of pre-rinse and cleaning of a milk storage tank. *Journal of Food Process Engineering*. 1982 Jan; 6(1):37-53.
- [9] Bird MR, Fryer PJ. Experimental study of the cleaning of surfaces fouled by whey proteins. *Food and Bioproducts Processing*. 1991 Mar; 69(1):13-21.
- [10] Timperley DA, Smeulders CN. Cleaning of dairy HTST plate heat exchangers: optimization of the single-stage procedure. *International Journal of Dairy Technology*. 1988 Feb; 41(1):4-7
- [11] Grasshoff A. The influence of chemical components of caustic cleaners on incrustated milk deposits removal kinetics. *Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* (Germany, FR). 1988.
- [12] Lalande M, Gallot-Lavallee T, Corrieu G. Chemical reactions and mass transfer associated with cleaning of heat exchange surfaces fouled by milk deposits. *Engineering and Food*, Vol. B. McKenna.
- [13] Graßhoff A. Enzymatic cleaning of milk pasteurizers. *Food and bioproducts processing*. 2002 Dec 1; 80(4):247-52.
- [14] Boyce A, Piterina AV, Walsh G. Assessment of the potential suitability of selected commercially available enzymes for cleaning-in-place (CIP) in the dairy industry. *Biofouling*. 2010 Oct 5; 26(7):837-50.
- [15] Boyce A, Walsh G. Identification of fungal proteases potentially suitable for environmentally friendly cleaning-in-place in the dairy industry. *Chemosphere*. 2012 Jun 1; 88(2):211-8.
- [16] Paul T, Jana A, Das A, Mandal A, Halder SK, Mohapatra PK, Mondal KC. Smart

(مثلا شیر یا آب پنیر)، غلظت آن‌ها (به عنوان مثال آب پنیر باغلظت 5/7 و 28%)، دما و زمان فراوری بستگی دارد. بدین ترتیب شرایط شست و شوی تجهیزات، برنامه‌ی شست و شو و ترکیبات مورد استفاده به منظور پاکیزه‌سازی ممکن است تغییر کند. به عنوان مثال، اگرچه هنگام کار با شیر برنامه‌ی شست و شوی قلبایی و سپس اسیدی کاراست، به هنگام فراوری آب پنیر و به ویژه آب پنیر غلیظ لازم است شست و شوی اسیدی و سپس شست و شوی قلبایی به کار رود. جلوگیری از پیدایش لایه‌ی لاستیک مانند در پی پلیمریزه شدن پروتئین‌ها بر سطح رسوبات به منظور حفظ عملکرد مناسب ترکیبات شوینده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از روش‌های جایگزین یا تکمیلی مانند به‌کارگیری آنزیم‌ها (هنگام شست و شوی مبدل‌های حرارتی) و امواج فراصوت (جهت پاکیزه سازی غشاها) از تدابیر به روز شده‌ی پاک کردن رسوبات دستگاه‌های حرارتی و مسدود کننده‌ی غشاها به حساب می‌آیند. به نظر می‌رسد در آینده استفاده از روش‌های تلفیقی، متناسب با ماده اولیه (به عنوان نمونه، شیر یا آب پنیر) و شرایط فراوری برای شست و شوی تجهیزات این صنعت، جایگزین روش‌های شست و شوی متداول شده و ضمن کاهش هزینه و تبعات زیست محیطی، کارایی آن‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهند.

12- منابع

- [1] Grant CS, Webb GE, Jeon, YW. A noninvasive study of milk cleaning processes: Calcium phosphate removal. *Journal of food process engineering*. 1997 Jul; 20(3):197-230.
- [4] Jeurnink TJ, Brinkman DW. The cleaning of heat exchangers and evaporators after processing milk or whey. *International Dairy Journal*. 1994 Jan 1; 4(4):347-68.
- [3] Úbeda MA, Hussein WB, Hussein MA, Hinrichs J, Becker TM. Acoustic sensing and signal processing techniques for monitoring milk fouling cleaning operations. *Engineering in Life Sciences*. 2016 Jan; 16(1):67-77.
- [4] Siobhan R, David G, Kieran J, Ambrose F, Bernadette, OB. Evaluation of trichloromethane formation from chlorine-based cleaning and disinfection agents in cow's milk. *International journal of dairy technology*. 2012 Nov; 65(4):498-502.

- fouled by dairy wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 2017 Oct 1; 325:457-65.
- [27] Trägårdh G, Johansson D. Purification of alkaline cleaning solutions from the dairy industry using membrane separation technology. *Desalination*. 1998 Sep 20; 119(1-3):21-9.
- [28] Madaeni SS, Tavakolian HR, Rahimpour F. Cleaning optimization of microfiltration membrane employed for milk sterilization. *Separation Science and Technology*. 2011 Feb 25; 46(4):571-80.
- [29] Muthukumaran S, Yang K, Seuren A, Kentish S, Ashokkumar M, Stevens GW, Grieser F. The use of ultrasonic cleaning for ultrafiltration membranes in the dairy industry. *Separation and Purification Technology*. 2004 Oct 1; 39(1-2):99-107.
- [30] Muthukumaran S, Kentish S, Lalchandani S, Ashokkumar M, Mawson R, Stevens GW, Grieser F. The optimisation of ultrasonic cleaning procedures for dairy fouled ultrafiltration membranes. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2005 Jan 1; 12(1-2):29-35.
- [31] Luján-Facundo MJ, Mendoza-Roca JA, Cuartas-Uribe B, Álvarez-Blanco S. Study of membrane cleaning with and without ultrasounds application after fouling with three model dairy solutions. *Food and bioproducts processing*. 2016 Oct 1; 100:36-46.
- [32] Luján-Facundo MJ, Mendoza-Roca JA, Cuartas-Uribe B, Álvarez-Blanco S. Cleaning efficiency enhancement by ultrasounds for membranes used in dairy industries. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016 Nov 1; 33: 18-25.
- [33] Salo S, Wirtanen G. Ultrasonic cleaning applications in dairies: Case studies on cheese moulds and milk transportation crates. *British food journal*. 2007 Jan 30; 109(1):31-42.
- [34] Van Asselt AJ, Van Houwelingen G, TeGiffel MC. Monitoring system for improving cleaning efficiency of cleaning-in-place processes in dairy environments. *Food and bioproducts processing*. 2002 Dec 1; 80(4):276-80.
- [35] Úbeda MA, Hussein WB, Hussein MA, Hinrichs J, Becker TM. Acoustic sensing and signal processing techniques for monitoring milk fouling cleaning operations. *Engineering in Life Sciences*. 2016 Jan; 16(1):67-77.
- cleaning-in-place process through crude keratinase: an eco-friendly cleaning techniques towards dairy industries. *Journal of cleaner production*. 2014 Aug 1; 76:140-53.
- [17] Makardij A, Chen XD, Farid MM. Microfiltration and ultrafiltration of milk: some aspects of fouling and cleaning. *Food and bioproducts processing*. 1999 Jun 1; 77(2):107-13.
- [18] D'souza NM, Mawson AJ. Membrane cleaning in the dairy industry: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2005 Mar 30; 45(2):125-34.
- [19] Kazemimoghadam M, Mohammadi T. Chemical cleaning of ultrafiltration membranes in the milk industry. *Desalination*. 2007 Feb 5; 204(1-3):213-8.
- [20] Daufin G, Merin U, Labbé JP, Quémerais A, Kerhervé FL. Cleaning of inorganic membranes after whey and milk ultrafiltration. *Biotechnology and bioengineering*. 1991 Jun 5; 38(1):82-9.
- [21] Daufin G, Merin U, Kerherve FL, Labbe JP, Quemerai A, Bousser C. Efficiency of cleaning agents for an inorganic membrane after milk ultrafiltration. *Journal of dairy research*. 1992 Feb; 59(1):29-38.
- [22] Paugam L, Rabiller-Baudry M, Delaunay D. Physico-chemical effect of simple alkaline and acid solutions in cleaning sequences of spiral ultrafiltration membranes fouled by skim milk. *Desalination*. 2006 Nov 20; 200(1-3):192-4.
- [23] Paugam L, Delaunay D, Diagne NW, Rabiller-Baudry M. Cleaning of skim milk PES ultrafiltration membrane: on the real effect of nitric acid step. *Journal of membrane science*. 2013 Feb 1; 428:275-80.
- [24] Rabiller-Baudry M, Paugam L, Bégoïn L, Delaunay D, Fernandez-Cruz M, Phina-Ziebin C, De Guadiana CL, Chaufer B. Alkaline cleaning of PES membranes used in skimmed milk ultrafiltration: from reactor to spiral-wound module via a plate-and-frame module. *Desalination*. 2006 May 10; 191(1-3):334-43.
- [25] Alvarez N, Gésan-Guiziou G, Daufin G. The role of surface tension of re-used caustic soda on the cleaning efficiency in dairy plants. *International dairy journal*. 2007 Apr 1; 17(4):403-11.
- [26] Zhang W, Ding L, Jaffrin MY, Tang B. Membrane cleaning assisted by high shear stress for restoring ultrafiltration membranes

- cleaning milk deposits by sodium hydroxide. *Journal of Food Process Engineering*. 1982 Jul; 5(3):131-43.
- [39] Gallot Lavallee TH, Lalande M, Corrieu G. Cleaning kinetics modeling of holding tubes fouled during milk pasteurization 1. *Journal of Food Process Engineering*. 1984 Apr.; 7(2):123-42.
- [40] Eide MH, Homleid JP, Mattsson B. Life cycle assessment (LCA) of cleaning-in-place processes in dairies. *LWT-Food Science and Technology*. 2003 May 1; 36(3):303-14.
- [36] Changani SD, Belmar-Beiny MT, Fryer PJ. Engineering and chemical factors associated with fouling and cleaning in milk processing. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 1997 May 1; 14(4):392-406.
- [37] Dresch M, Daufin G, Chaufer B. Integrated membrane regeneration process for dairy cleaning-in-place. *Separation and Purification Technology*. 2001 Mar 1; 22:181-91.
- [38] Gallot Lavallee TH, Lalande M, Corrieu G. An optical method to study the kinetics of

Various aspects of cleaning in dairy industry: A review

Lavafpour, F.¹, Shojaei Azad, F.¹, Sadeghi, H.¹, Siahvoshi, S.¹, Ezzatpanah, H.^{2*}

1. Reseach and Development Department, Pakro part Company, Tehran-Iran.

2. Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran-Iran

(Received: 2019/10/06 Accepted: 2020/05/10)

Food safety is a crucial goal for dairy industry. Cleaning of dairy equipment is critical not only to meet milk and milk product's standards but also from environmental points of view. Sanitation challenges of heat exchangers and membranes dominates over the other deficiencies considerably in dairy processing steps that have been hardly affected by conventional methods that are updated through this paper by utilizing emerging paths such as enzymes and ultrasound. Moreover, incoming materials specifications, importantly composition (*i.e.* organic or inorganic), concentration, and temperature are known as prominent impactful parameters on either milk components deposition on heated surfaces or imposing fouling on membranes. Although, cleaning agents' properties namely: concentration, flow, pH, sheer stress, and temperature are influential features, sanitizers selection and their application sequence in cleaning program should be considered as the most determinants factors. The article goes on advancement of control and monitoring methods of sanitation programs from COD, calcium, and turbidity to conductivity and ultrasound sensors. Finally, it discusses a brief solution to tackle some environmental problems regarding the usage of chemicals for cleaning in dairy industry.

Key words: Cleaning in Place, Heat exchanger, Membrane filtration, Control and monitoring, Enzymatic cleaning

* Corresponding Author: hamid.ezzatpanah@globalharmonization.net