

“Review article”

DOI: 10.71876/jfh.2025.1194555

Investigating factors affecting the proper washing of equipment used in milk factories to improve quality and reduce washing costs

Mohammadpour Mir, M.E.^{1*}

1. Ph.D. Student in Chemical Engineering, Faculty of Chemical Engineering, Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

*Corresponding author: m.mohammadpourmir@nit.ac.ir

(Received: 2025/2/16 Accepted: 2025/4/19)

Abstract

Microbiological safety in production is essential for enhancing product quality and extending shelf life in the food industry. As dairy companies increasingly prioritize high product standards, thorough cleaning of equipment components has become a critical focus for dairy equipment manufacturers. This review explores the key factors influencing effective equipment cleaning, drawing on research articles and books from Springer, ScienceDirect, Scopus, and John Wiley, as well as successful practices from established dairy factories. According to the literature, Cleaning-In-Place (CIP) systems are the most effective method for meeting the stringent hygiene requirements of dairy processing equipment. CIP effectiveness depends on four key variables: temperature, mechanical action (or pressure), chemical concentration, and cleaning duration. These factors ensure cleanliness on physical, chemical, and microbiological levels. Typically, a caustic soda solution (0.5%–2%) is used at 70–80°C for 10–30 minutes to remove organic residues, while nitric acid (0.5%–1%) is applied at 55–75°C for 5–20 minutes to eliminate mineral deposits. Finally, hot water (90–95°C) is used for 10–30 minutes for disinfection.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Spray ball, Dairy equipment, Clean-in-place, Acid detergent, Alkaline detergent

بررسی عوامل تأثیرگذار در شستشوی مناسب تجهیزات مورد استفاده در کارخانه‌های شیر در راستای ارتقای کیفیت و کاهش هزینه‌های شستشو بررسی اثر عوامل شستشوی مناسب در کارخانه‌های شیر

محمدابراهیم محمدپور میر^{*۱}

۱- دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: m.mohammadpourmir@nit.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۱/۳۰)

چکیده

تولید ایمن به لحاظ میکروبی، کیفیت و ماندگاری محصول در صنعت غذا را افزایش می‌دهد. با توجه به ارتقای رویکرد شرکت‌های شیر جهت دستیابی به سطح بالای کیفی محصول، شستشوی تمامی اجزای تجهیزات شیر به یکی از دغدغه‌های بسیار مهم کارخانه‌های ساخت تجهیزات شیر تبدیل شده است. از این رو، در این مقاله مروری، به بررسی عوامل تأثیرگذار در شستشوی مناسب تجهیزات پرداخته شد. در این مقاله، از مقاله‌ها و کتاب‌های که در بانک‌های اطلاعاتی Springer، Science direct، Scopus و John Wiley منتشر شده استفاده شد. هم‌چنین از تجربه‌های عملی موفق که در کارخانه‌های داخل و خارج کشور اجرا شد استفاده گردید. با توجه به مطالعات انجام شده، شستشوی درجا (CIP) بهترین روش جهت رفع نیازهای مهم کارخانه‌های شیر جهت شستشوی تجهیزات است. با توجه به نوع محصول، شرایط تولید و طراحی دستگاه، ۴ متغیر دما، فشار یا عمل مکانیکی، غلظت و زمان محلول‌های شیمیایی جهت حصول تمیزی در سه سطح فیزیکی، شیمیایی و میکروبی تأثیرگذار هستند. به طور کلی در این سیستم، سود سوزآور با غلظت ۰/۵ تا ۲ درصد در دمای حدود ۸۰-۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ الی ۳۰ دقیقه جهت از بین بردن مواد آلی، اسید نیتریک با غلظت ۰/۵ تا ۱ درصد با درجه حرارت ۵۵-۷۵ درجه سلسیوس به مدت ۵ تا ۲۰ دقیقه جهت از بین بردن مواد معدنی و آب داغ یا دمای ۹۰-۹۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ الی ۳۰ دقیقه جهت ضدعفونی کردن استفاده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: افشانک، تجهیزات شستشو، شستشوی درجا، شوینده اسیدی، شوینده قلیایی

مقدمه

تولید مواد غذایی در فضاهایی که به‌طور کامل تمیز و ضدعفونی نیستند می‌تواند سبب فاسدشدن مواد غذایی و بیماری‌های متعاقب آن شود. زمانی که شرایط مهیا باشد اعم از ماده غذایی، رطوبت، pH، دما و سطح اکسیژن، باکتری‌ها، کپک‌ها و مخمرها در غذا شروع به تکثیر شدن می‌کنند. این میکروارگانیسم‌ها، زمان ماندگاری مواد غذایی را از طریق تغییر در رنگ، بافت، طعم و بوی آن کاهش می‌دهند. این تغییرات مصرف غذا را برای انسان نامطلوب و ممکن است بر سلامت انسان تأثیر بگذارد (Tamime, 2009). در زمان قدیم شستشوی تجهیزات به‌وسیله کارگر و با استفاده از برس‌ها و محلول‌های شوینده انجام می‌شد که این عمل دشوار و کارایی لازم را نداشت و در بیشتر موارد موجب آلودگی مجدد محصولات می‌گردید. سال‌هاست که CIP (Cleaning In Place) جایگزین مناسبی برای شستشوی دستی شده است، اگرچه در برخی صنایع غذایی کوچک هنوز هم ممکن است شستشو به‌صورت دستی صورت گیرد (Pant et al., 2004; Joppen, 2023). مفهوم CIP بدان معناست که شستشوی تجهیزات بدون آنکه قطعات آن باز شود انجام می‌شود (Seiberling, 2007). در حال حاضر CIP یک فعالیت جامع در همه کارخانه‌های شیر پیشرفته و بزرگ است. نیازها برای CIP مناسب با توجه به تأثیر مستقیم در بهبود شرایط بهداشتی کارخانه، کیفیت محصول نهایی، ماندگاری محصول و شرایط میکروبی محصول در کارخانه‌های مواد غذایی و به‌ویژه در کارخانه‌های شیر افزایش یافته است زیرا در صنایع شیر به هر سه سطح پاکیزگی فیزیکی، شیمیایی

و میکروبی نیاز است (Moerman et al., 2014). پاکیزگی فیزیکی، ناخالصی‌ها و هر جسم خارجی ناخواسته را در برمی‌گیرد که ممکن است بی‌ضرر یا مضر باشند. عمدتاً تمیزی از جنبه ظاهری را در بردارد (Tamime, 2009; Scholander, 2015). تمیزی شیمیایی زدودن بقایای محصول ناشی می‌شود. بقایای مواد شوینده نیز می‌تواند چنین آلودگی را ایجاد کند. سطح تمیز می‌بایست عاری از هرگونه مواد شیمیایی باشد یا به عبارتی عاری از هرگونه بو و مزه باشد (Tamime, 2009; Scholander, 2015). پاکیزگی میکروبی به درجه آلودگی میکروبی باقی‌مانده روی سطح ارجاع می‌شود که در دو سطح مختلف قابل‌بررسی است. اول دستگاه‌هایی که ضدعفونی می‌شوند و بار میکروبی آن‌ها تا یک حد قابل‌قبول از دید استانداردهای بهداشتی کاهش می‌یابد و دوم سطوحی که کاملاً سترون (Sterile) می‌شوند و عاری از هرگونه میکروارگانیسمی هستند (Thamas and Sathian, 2014). رسوبات و اجرام به دودسته‌ی آلی و غیر آلی تقسیم می‌شوند. از رسوبات آلی می‌توان به چربی، پروتئین (دنا توره و غیردنا توره)، شکر (احتمالاً کاراملیزه) و از رسوبات معدنی می‌توان به نمک، صمغ، نشاسته و ... اشاره کرد (Thamas and Sathian, 2014). به‌طور کلی پروتئین‌ها، محلول در محیط بازی یا قلیا هستند (Thamas and Sathian, 2014). در اثر حرارت، پروتئین‌ها دناتوره می‌شوند که به‌سختی پاک می‌شوند. پروتئین در حالت طبیعی دارای ساختار سه‌بعدی ویژه‌ای است (Thamas and Sathian, 2014). پروتئین تحت تأثیر عوامل ویژه‌ای همچون pH، حرارت و آنزیم‌ها، ساختار سه‌بعدی خود را

هستند. اکثر آن‌ها محلول در اسید هستند. به هر حال بیشتر اجرام و رسوبات ترکیبی از هر دو نوع آلی و غیر آلی هستند (Thamas and Sathian, 2014).

قدرت خیساندن، نفوذ کردن، پراکنده‌سازی، سوسپانسیون‌سازی و قابلیت تخلیه از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که یک شوینده دلخواه باید داشته باشد. علاوه بر این باید از لحاظ اقتصادی به صرفه باشد، عملکرد آن متأثر از سختی آب نبوده، سمی نباشد، حلالیت سریع و کامل داشته باشد، در حالت انبارداری پایدار، استفاده از آن راحت، در درجه حرارت‌های مورد استفاده پایدار، در غلظت‌های مورد استفاده خورنده نباشد، کف تولید نکند، قابلیت کنترل داشته باشد (Tamime, 2015; Pant et al, 2023).

-شوینده‌های قلیایی

از مواد شوینده قلیایی که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به سود سوزآور، کربنات سدیم، متاسیلیکات سدیم و تری سدیم فسفات اشاره کرد. ویژگی‌های مواد ذکر شده در جدول (۱) آورده شده است (Khalid et al., 2014).

از دست‌داده و به ساختار اول خود یا همان ساختار خطی تبدیل می‌شوند که ترتیبی از اسیدآمینها پشت سرهم است. چنین ساختاری تمایل بیشتری برای ترکیب شدن با دیگر مولکول‌ها دارد (مانند قند، رزین، دیگر پروتئین‌ها و ..) که منجر به تشکیل ساختاری بزرگ‌تر و نامحلول‌تر می‌شود (Thamas and Sathian, 2014). در صورتی که چنین پروتئین‌های دناتوره‌ای با مواد معدنی ترکیب شوند، چسبندگی این مواد ته‌نشین شده به سطوح استیل بیشتر می‌شود. چربی‌ها معمولاً با استفاده از آب داغ با درجه حرارت بالاتر از نقطه ذوب چربی حذف و جابجا می‌شوند. چربی، محلول در محیط بازی یا قلیا است. در اثر حرارت، بر روی آن پدیده پلیمریزاسیون رخ می‌دهد که از بین بردن آن بسیار دشوار است (Thamas and Sathian, 2014). قندها محلول در آب بوده و به راحتی پاک می‌شوند. در صورتی که در اثر حرارت پدیده کاراملیزاسیون اتفاق بیفتد، پاک کردن آن‌ها دشوارتر می‌شود. مواد معدنی کم‌تر از ۱ درصد از مواد جامد شیر را تشکیل می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها کلسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم

جدول (۱) - خصوصیات برخی از شوینده‌های قلیایی

مواد شوینده	قدرت مرطوب‌کنندگی	آمولسیون‌کنندگی	قدرت شویندگی	میکروب‌کشی
سود سوزآور	کم	کم	متوسط	خوب
کربنات سدیم	کم	کم	خوب	متوسط
متاسیلیکات سدیم	خوب	خوب	خوب	متوسط
تری سدیم فسفات	خوب	متوسط	خوب	متوسط

-شوینده‌های اسیدی

اسیدهای معمول مورد استفاده در صنایع شیر اسیدهای معدنی مانند اسیدنیتریک و اسیدفسفریک و

هم‌چنین اسیدهای آلی مانند سیتریک اسید هستند. از سایر اسیدهای معدنی که گهگاه ممکن است استفاده شوند اسیدسولفوریک و از اسیدهای آلی

مزیت‌های استفاده از اسید این است که باعث ایجاد درخشندگی استیل می‌شود. از شوینده‌های اسیدی برای روی سطوح آهنی نباید استفاده کرد، زیرا آلیاژی بر پایه آهن (مانند کربن استیل) مستعد به زنگ زدن هستند. در این شرایط، باید از شوینده‌ی خنثی استفاده کرد (Yang, 2018).

شکل (۱) مراحل فرآیند شستشو را بیان می‌کند (Tamime, 2009):

گلوکونیک‌اسید و هیدروکسی‌استیک‌اسید را می‌توان نام برد. اسیدهای ارگانیک به دلیل هزینه‌های بالا معمولاً استفاده نمی‌شوند ولی دارای خوردندگی کم‌تری نسبت به اسیدهای معدنی هستند. علاوه‌براین از آنجائیکه اسیدهای ارگانیک قدرت یونیزه شدن کم‌تری دارند به درجه حرارت‌های بالاتری برای شستشو نسبت به اسیدهای معدنی نیاز دارند. معمولاً از اسیدهای ارگانیک برای سطوحی که احتمال خوردندگی با اسیدهای معدنی وجود دارد استفاده می‌شود. یکی از



شکل (۱) - مراحل فرآیند شستشو

درجه‌ی سلسیوس انجام می‌شود. که در نتیجه میزان استفاده از شوینده و زمان CIP را کاهش می‌دهد. آب‌کشی اولیه با دما و زمان مناسب، علاوه بر اینکه مراحل دیگر CIP را تسهیل می‌کند، میزان کثیف شدن تانک سود در ایستگاه CIP را به صورت قابل توجهی کاهش می‌دهد و زمان تعویض آن را به تعویق می‌اندازد (Melero et al., 2013; Fan et al., 2015).

-چرخه شوینده اصلی (معمولاً محلول قلیایی)

مهم‌ترین مرحله شستشو در CIP، استفاده از محلول قلیایی است که منتهی به جابجایی رسوبات از سطوح می‌شود. شوینده اول در صنایع شیر معمولاً یک قلیا (عمدتاً سود) است. سود (NaOH) یک ماده بازی بسیار قوی است و رایج‌ترین ماده در فرمولاسیون شوینده‌ها مورد استفاده برای CIP است زیرا بسیار ارزان قیمت و مؤثر است. از طریق صابونی کردن (چربی‌ها در اثر واکنش صابونی شدن با سود تبدیل به گلیسرول و نمک‌های سدیمی اسیدهای چرب مربوطه می‌شوند) باعث جابجایی چربی‌ها و پروتئین‌ها می‌شود. معمولاً سود با غلظت ۵٪ تا ۲ درصد در دمای حدود ۷۰-۸۰ درجه سلسیوس برای ۱۰ الی ۳۰ دقیقه استفاده می‌شود. برای سطوح‌های به شدت رسوب بسته، به‌ویژه سطوحی که پروتئین‌های سوخته شده را دربردارند تا ۴ درصد نیز به کار گرفته می‌شود. سود بسیار خورنده است و بر روی پوست تأثیر منفی دارد به همین خاطر در شستشوی دستی از آن استفاده نمی‌شود. بر روی فلزات نرم از قبیل روی و آلومینیوم خورنده است و می‌تواند تولید گاز هیدروژن کند که ترکیب این گاز با هوا خاصیت انفجاری دارد. قبل از استفاده از سود برای شستشوی هر سطحی، آگاهی از

بازیابی (Recovery) محصول مواد غذایی با استفاده از تخلیه مواد تحت نیروی جاذبه یا با استفاده از هوای فشرده یا آب برای خالی کردن مسیر از محصول صورت می‌گیرد. این مرحله معمولاً با مرحله آب‌کشی اولیه برنامه شستشو یکپارچه می‌شود. با نصب یک دریچه (Valve) انحرافی به خط ارسال که به یک مخزن یا تانک بازیابی متصل است محصول باقی‌مانده در دستگاه جمع‌آوری می‌شود. معمولاً در این قسمت با نصب شیشه رویت (Sight Glass) به راحتی می‌توان پایان بازیابی محصول را تشخیص داد. در حالت‌های بهبودیافته‌تر این دریچه انحرافی حالت خودکار داشته و در هنگام بازیابی محصول برای مدت زمان خاصی باز می‌شود یا در حالت‌های دیگر این دریچه بر اساس غلظت و میزان کدورت جریان عمل می‌کند. این مرحله با آب قابل شرب و با درجه حرارت معمولی آب صورت می‌گیرد و تا زمانی ادامه می‌یابد که آب خارج شده از تجهیز آب‌کشی اولیه کاملاً صاف و زلال شود. آب‌کشی اولیه بسیار مهم است و در صورت نقص در این مرحله، آلودگی‌ها وارد تانک‌های حاوی مواد شیمیایی می‌شود. همواره فرض بر این است که استفاده از آب با درجه حرارت‌های بالاتر شویندگی بهتری را به همراه خواهد داشت ولی آب با درجه حرارت ۴۳ تا ۵۰ درجه سلسیوس برای شستشو بهترین است. آبی که خیلی داغ باشد ممکن است باعث پختن و چسبیدن بیشتر رسوبات روی سطح تجهیز شود. به‌طور کلی، اگر محصول سبک و به راحتی قابل جابجایی باشد برای مثال شیر خام و یا دوغ، آب‌کشی اولیه سرد کافی است، اگر محصول پرچرب و ویسکوز بالا باشد، آب‌کشی اولیه با دمای ۵۰-۴۰

مقاومت آن سطح نسبت به خوردندگی در برابر سود الزامی است (Tuladhar et al., 2002).

-آب‌کشی شوینده

در این مرحله از آب، برای شستشوی کامل شوینده‌قلیایی از سطح که در مرحله قبل به آن اشاره شد استفاده می‌شود.

-چرخه شوینده دوم

سیستم‌ها از شوینده دوم استفاده می‌کنند که معمولاً یک اسید است. رایج‌ترین اسید مورد استفاده در شستشو اسید نیتریک (HNO_3) است که در غلظت ۰/۵ تا ۱ درصد با درجه حرارت ۵۵-۷۵ درجه سلسیوس برای ۵ تا ۲۰ دقیقه استفاده می‌شود (Tamime, 2009; Yang, 2018).

-آب‌کشی میانی دوم

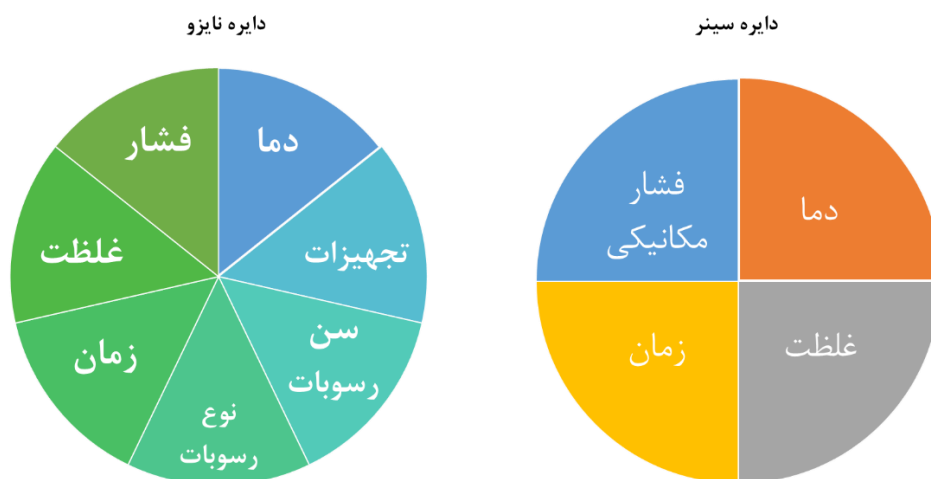
در این مرحله از آب، مشابه با مرحله آب‌کشی میانی اول، برای شستشوی کامل شوینده اسیدی از سطح استفاده می‌شود.

-ضد عفونی کردن

ضد عفونی کردن دستگاه‌ها می‌تواند با مواد شیمیایی از قبیل هیپوکلریت سدیم یا پر استیک اسید یا با استفاده از آب داغ یا بخار صورت گیرد (Tamime, 2009; Yang, 2018).

-متغیرهای تأثیرگذار در CIP

در سال ۱۹۶۰، سینر (Sinner) پیشنهاد کرد که انرژی مورد نیاز برای جابجایی رسوبات از سطح یک تجهیز به ۴ عامل شیمی (ترکیب شوینده)، دمای به‌کاررفته (درجه حرارت)، نیروی مکانیکی استفاده شده (برخورد یا تنش برشی)، مدت زمان تماس یک شوینده با غلظت معین تقسیم می‌شود (Yang, 2018). در سال‌های بعد نایزو (Nizo)، دایره‌ی سینر را اصلاح کرده و علاوه بر متغیرهای فوق، تجهیزات، نوع رسوبات و سن رسوبات را نیز تأثیرگذار دانست (Yang, 2018) (شکل ۲).



شکل (۲) - دایره ی نایزو و سینر

-درجه حرارت

اگرچه معمولاً انتظار می‌رود دمای مورد استفاده از محلول‌های شوینده ۲۵ درجه‌ی سلسیوس باشد اما بعضی از کارخانه‌ها باید جهت از بین بردن رسوبات، دمای شوینده‌ها را افزایش دهند. با توجه به این‌که افزایش دما سبب بهبود عملکرد ماده‌ی شوینده می‌شود، افزایش دما و حفظ آن سبب افزایش هزینه عملیاتی و مصرف انرژی خواهد شد (Piepiórka-Stepuk et al., 2017). معمولاً افزایش درجه حرارت می‌تواند میزان نفوذ مواد شیمیایی و میزان واکنش شیمیایی را افزایش دهد (Khalid et al., 2015). برای مثال، افزایش دمای آب از ۲۲ به ۴۵ درجه‌ی سلسیوس سبب بهبود شستشوی اولیه می‌شود و کمک زیادی به مراحل بعدی شستشو می‌کند. اما افزایش آن تا ۷۰ درجه‌ی سلسیوس، به مقدار اندک سبب بهبود فرآیند می‌شود و سبب افزایش هزینه عملیاتی خواهد شد (Fan et al., 2015). علاوه بر این، افزایش دما می‌تواند ساختار رسوبات را تغییر دهد. پژوهشگران دریافتند وابستگی چسبندگی رسوبات بر اثر دما، به نوع رسوب وابسته است. با افزایش دما پروتئین‌ها دناتوره شده و چسبندگی آن‌ها بیشتر می‌شود اما چسبندگی رسوبات کاراملی در دماهای بالا کمتر خواهد شد (Goode et al., 2013). به‌طور کلی با افزایش هر ۱۰ درجه سلسیوس درجه حرارت، سرعت واکنش شیمیایی ۲ برابر خواهد شد. ولی افزایش بیش از حد درجه حرارت شوینده‌ها، باعث خواهد شد که بقایای پروتئین‌ها و نمک‌های لاکتیکی دوباره روی سطوح رسوب کنند و حلالیت نمک‌ها در آب کاهش یابد.

علاوه بر این شوینده‌ها بر پایه آنزیمی در درجه حرارت‌های بالا غیرفعال می‌شوند (Tamime, 2013).

-عملیات یا فشار مکانیکی

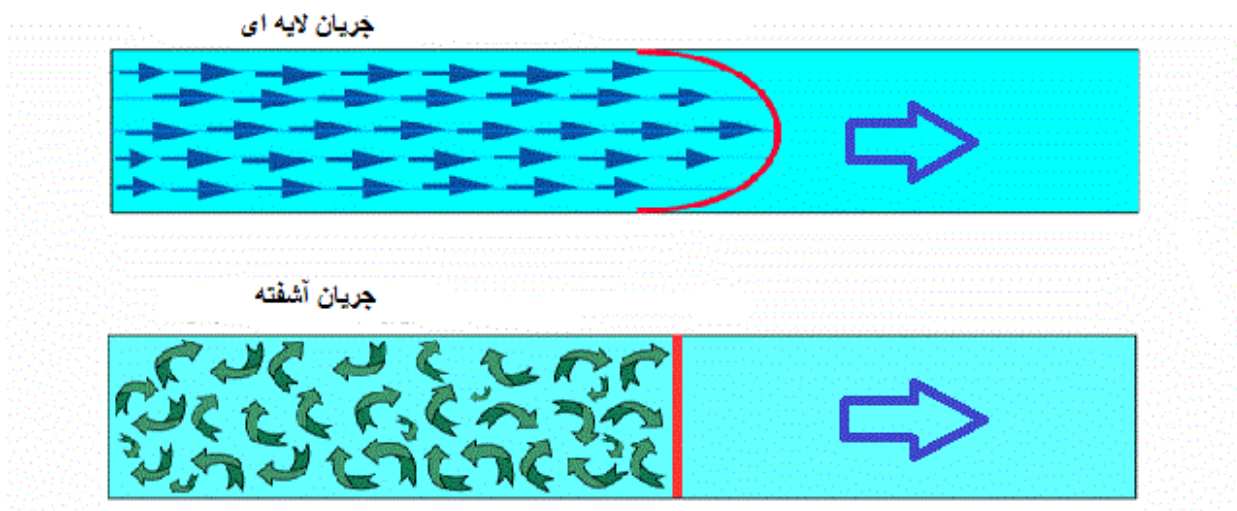
نیروی مکانیکی، به‌اثر مکانیکی بر روی لایه‌های رسوبات اشاره دارد. معمولاً هر چقدر دبی بیشتر باشد، سرعت حذف رسوبات به‌دلیل اثر بالای نیروی برشی بر لایه‌های رسوبات افزایش می‌یابد (Jensen and Friis, 2013). به‌طور کلی یک شوینده نمی‌تواند هیچ‌گونه رسوب را جابجا کند مگر اینکه میزان مشخصی از فشار مکانیکی به‌کار رود. نوع جریان به‌وسیله عددی به‌نام عدد رینولدز (Reynolds Number) تعیین می‌شود. این عدد نسبت نیروهای لختی به نیروهای ویسکوزی که روی مایع عمل می‌کنند را نشان می‌دهد. وقتی نیروهای لختی یا ماند غالب باشند جریان از نوع متلاطم است و در حالت برعکس جریان از نوع آرام است. عدد رینولدز در لوله از رابطه (۱) زیر به‌دست می‌آید:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (1)$$

ρ چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)، V سرعت (متر بر ثانیه)، d قطر لوله (متر) و μ ویسکوزیته (کیلوگرم بر متر در ثانیه) است. در لوله‌ها، اگر عدد رینولدز کمتر از ۲۳۰۰ باشد جریان از نوع آرام، بین ۲۳۰۰ تا ۴۰۰۰ جریان گذرا و از ۴۰۰۰ بیشتر باشد جریان از نوع متلاطم خواهد بود (شکل ۳). جهت شستشوی مناسب دستگاه‌ها نیاز به جریان متلاطم با سرعت مناسب است. از این رو جهت دستیابی به جریان متلاطم حداقل سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه در بسیاری از موارد است. ممکن است تجهیزات در سرعت‌هایی پایین‌تر از این میزان نیز به‌طور رضایت بخشی شستشو شوند البته

(1999; Hultmark et al., 2012)

Gillham et al.,) زمان بیشتری برای این امر نیاز است



شکل (۳) - جریان لایه ای (آرام) و جریان آشفته (درهم)

غلظت

نیاز اعم از نفوذ، سوسپانسیون کردن، پاشیدن و تخلیه کردن را کامل کند نتیجه شستشو بسیار ضعیف خواهد بود. زمان مورد نیاز برای شستشو تا حدود زیادی بسته به رسوب تشکیل شده دارد. برای مثال مدت زمان شستشو یک تانک تخمیر با شوینده‌ای با غلظت و درجه حرارت ثابت، کم‌تر از مدت زمان شستشوی یک پاستوریزاتور با همان شوینده خواهد بود (Bird and Fryer, 1992; Jude and Lemaire, 2013).

فرآیند شستشو متأثر از ۴ عامل ذکر شده قرار دارد و به برهم‌کنش بخش‌های آن بستگی دارد. قانون کلی در این مورد بدین صورت است که هرگونه کسری در یکی از این عوامل باید توسط سه عامل دیگر جبران شود. برای مثال اگر درجه حرارت مورد نیاز برای شوینده تأمین نشود یکی از سه عامل زمان، غلظت یا فشار مکانیکی باید افزایش یابد. ولی این متغیرها محدودی دارند و نمی‌توانند فراتر یا پایین‌تر از محدوده‌های تعریف شده خودشان استفاده شوند. برای مثال اگر درجه حرارت خیلی پایین باشد هیچ‌گونه

یکی از عامل‌های بسیار مهم در شستشو که باید مد نظر قرار گیرد غلظت شوینده‌ها است. هر شوینده یک غلظت بهینه برای عمل شویندگی دارد. غلظت شوینده وابسته به نوع رسوب، ضخامت رسوب و ماند رسوب در تجهیز است (Fan et al., 2015). استفاده از مواد شوینده با غلظت بیشتر، سرعت تمیز شدن را بالا می‌برد. اما افزایش غلظت بیش از مقدار بهینه، اثر نامطلوب دارد. افزایش غلظت سود سبب تغییر ساختار رسوبات می‌شود و لایه‌ای چسبناک بر روی رسوبات ایجاد می‌کند که جداسازی آن کار دشوار است (Bird and Fryer, 1992; Jude and Lemaire, 2013; Helbig et al., 2019).

زمان

در تعیین زمان شستشو، مناطقی که سخت تمیز می‌شوند (بدترین حالت) به عنوان مبنا در نظر گرفته می‌شود. معمولاً با افزایش زمان شستشو، نتایج بهتری حاصل می‌شود (Jude and Lemaire, 2013). اگر به یک شوینده زمان کافی داده نشود تا همه مراحل مورد

جبرانی توسط سه عامل دیگر نمی‌تواند شستشوی کاملی را ایجاد کند. یکی دیگر از عامل‌هایی که اغلب در طراحی فرایند شستشو نادیده گرفته می‌شود نسبت حجم شوینده به میزان رسوبات است. این بدان معنی است که تضمین شود شوینده کافی برای انجام شستشو وجود دارد. هرچه میزان جرم بیشتر باشد مصرف بیشتری از شوینده‌ها مورد نیاز است. اگر حجم محلول شوینده در مقایسه با رسوب کم باشد از دو صورت می‌تواند جبران شود یا حجم شوینده افزایش یابد یا غلظت آن، ولی غلظت‌های بالاتر از غلظت بهینه تأثیری ندارد و باید حجم شوینده افزایش یابد (Yang, 2018).

-فاصله زمانی بین اتمام تولید و شستشوی تجهیز

دستگاه بلافاصله بعد از پایان تولید باید وارد مرحله شستشو شود، درغیراین‌صورت محصولات باقی‌مانده در خطوط و تجهیز خشک شده و شستشوی آن‌ها سخت‌تر می‌شود. علاوه‌براین محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌شود که می‌تواند باعث تشکیل بیوفیلم‌ها در خطوط یا دستگاه شوند (Tamime, 2009).

-فواصل بین CIP

فاصله بین دو CIP برای هر دستگاه باید دقیقاً رعایت شود. فاصله بین دو CIP برای تجهیزاتی که به‌طور اختصاصی برای تولید یک محصول استفاده می‌شوند با آن‌هایی که برای تولید محصولات مختلف استفاده می‌شوند فرق دارد (Tamime, 2009).

-اصول طراحی بهداشتی

برای حصول یک شستشوی خوب نیاز به رعایت اصول طراحی تجهیزات است. طراحی دستگاه

بسیار مهم است زیرا اگر ساخت فیزیکی دستگاه مانع از رسیدن محلول‌های شستشو به نقطه‌ای خاص از سطوح در ارتباط با مواد غذایی شوند، شستشو ناقص صورت می‌گیرد و این نقطه منبعی از آلودگی می‌شود (نقطه کور). طراحی دستگاه اثر مهمی روی نوع، کمیت و ترکیب رسوبی که باید از سطح جدا شود دارد و چالش‌هایی که فرایند شستشو باید بر آن غالب شود را تعیین می‌کند. بنابراین یک سیستم با طراحی ضعیف، صرف نظر از فرایند شستشوی که برای آن در نظر گرفته می‌شود قابلیت تمیز شدن تحت استانداردهای تمیزی بالا را نخواهد داشت (Overbosch and Freund, 2009).

-جنس مواد

جنس مواد ساختی تجهیزات شستشو یا سطوح در تماس با مواد غذایی باید تحت هر شرایطی (برای مثال تحت حرارت، فشار و غیره) بر روی مواد غذایی بی‌اثر باشد. همچنین به بخار یا آب داغ تحت فشار مقاومت نشان دهند. نسبت به خوردگی مقاوم بوده و خاصیت فاسدکنندگی نداشته باشند. از لحاظ مکانیکی پایدار، صاف و بدون خلل و فرج باشند. برای سطوح در ارتباط با مواد غذایی باید از مواد غیرسمی استفاده نمود به‌ویژه زمانی که الاستومرها، پلاستیک‌ها، مواد مایع چسبنده یا انتقال دهنده‌های سیگنال استفاده می‌شوند زیرا این موارد ممکن است اجزای سمی دربرداشته باشند که می‌تواند به داخل محصول هدایت شوند (Lelieveld et al., 2014).

-استیل ضدزنگ

محدوده گسترده‌ای از انواع استیل‌های ضدزنگ به‌عنوان ماده سازنده برای دستگاه‌های صنعت غذا

موجود است. انتخاب نوع استیل عمدتاً وابسته به ویژگی‌های خوردنگی محصول یا سایر مواد شیمیایی به‌کارگرفته شده روی سطح تجهیز دارد. بیشترین نوع استیل انتخاب شده در صنعت غذا استیل‌های شماره ۳۰۴ و سری L این دو استیل هستند که دارای ویژگی‌های مکانیکی خوبی هستند علاوه بر اینکه ظاهر جذابی نیز دارند (Lelieveld et al., 2014).

-پلاستیک

پلاستیک‌ها دارای کاربردهای فراوانی در صنعت غذایی نظیر شیشه رویت، پیستون‌ها، نوار نقاله‌ها و شیلنگ‌ها هستند. نگرانی اصلی در ارتباط با آلوده شدن احتمالی محصول از طریق اضافه کردن مواد سمی به داخل محصول توسط این مواد است. مقاومت کافی در مقابل شرایط تولید و شستشو را دارند. قدرت مکانیکی کافی دارند تا شوک‌های مکانیکی در حین عملیات اجرایی را تحمل کنند (Lelieveld et al., 2014).

-ساختار دستگاه

در طراحی دستگاه، از ایجاد نواحی راکدی که می‌توانند ایجاد کنج‌های بن بست میکروبی کنند اجتناب شود. دستگاه باید فاقد هرگونه گوشه‌های تیز و تماس فلز با فلز باشد. دستگاه باید محصول را در برابر آلودگی‌های خارجی محافظت کند و قابلیت خود تخلیه داشته باشد (Lelieveld et al., 2014).

-ویژگی محصول

برای طراحی یک دستگاه، باید از ویژگی‌های ترموفیزیکی محصول و برهم‌کنش احتمالی آن با قسمت‌های مختلف دستگاه اطلاع داشت. یک مایع با ویسکوزیته پایین برهم‌کنشی بسیار متفاوت با دستگاه نسبت به مواد با ویسکوز بالا با همان دستگاه خواهد

داشت. همچنین میزان ماده خشک محصولات و درصد چربی و پروتئین نیز بسیار تأثیرگذار است (Lelieveld et al., 2014).

-همواری سطوح

تمام سطوح غذایی باید صاف، بدون خلل و فرج، آسان برای شستشو و عاری از هرگونه بی‌نظمی‌های بزرگ مانند چین خوردگی باشند. شستشو تابعی از همواری سطح است طوری که سطوح زیر نسبت به سطوح هموار زمان بیشتری برای شستشو نیاز دارند (Lelieveld et al., 2014).

-اتصالات

تا جایی که امکان دارد از جوش دادن استفاده شود و اتصال دهنده‌ها فقط در جایی که ضروری است به‌کارگرفته شوند، برای مثال جایی که اجزای دستگاه نیاز دارند تا برای بررسی از هم جدا شوند. جوش‌ها باید صاف، پیوسته و از نوع لب به لب باشند، چون جوشکاری‌های ضعیف کیفیت محصول را به‌خطر می‌اندازند (Lelieveld et al., 2014).

-به‌حداقل رسیدن نقاط کور

فضاهای مرده نواحی خارج از مسیر جریان اصلی محصول هستند که محصول می‌تواند در زمان شروع تولید در این نواحی گیرافتاده و برای مدت زمان طولانی باقی بماند. اگر شرایط محیطی از قبیل درجه حرارت مطلوب باشد، رشد میکروبی در این مناطق اتفاق می‌افتد و باعث آلوده کردن محصول خواهد شد. بعد از پایان تولید و شروع شستشو ممکن است به‌علت عدم رسیدن مواد شوینده به این نواحی، همچنان کثیف باقی بمانند. بیشتر این مشکلات در نتیجه دوباره سوار کردن فیزیکی و یکپارچه‌سازی اجزای مختلف دستگاه

می‌کنند. در بسیاری از شرایط ابزار پاشش ممکن است زیر سطح مایع غرق شوند (Peckman et al, 2008).

-متغیرهای کلیدی در شستشوی تانک‌ها

-نیروهای مکانیکی (انرژی هیدرولیکی و میدان پوشش)

نیروهای مکانیکی (برای مثال فشار و برخورد) درگیر در فرآیند شستشوی تانک‌ها عمدتاً تابعی از جریان کل مواد شوینده و نوع ابزاری است که به وسیله آن‌ها این جریان مواد بر روی دیواره تانک‌ها و ساختارهای درونی پاشش می‌شوند. وقتی که سیستم توزیع ساده با استفاده از فشار پایین و حجم بالای جریان استفاده می‌شود نیروی مکانیکی یا برخورد نتیجه‌ای از جریان آبشاری مواد شوینده بر روی دیواره تانک خواهد بود. انواع ابزارهای پاشش دوار نیروی‌های مکانیکی را از طریق افزایش تعداد برخورد افزایش می‌دهند. با بالا رفتن نیروهای مکانیکی، اثر دیگر متغیرها می‌تواند کاهش یابد. ضخامت رسوب به عنوان یک عامل تعیین کننده برای انتخاب میزان نیروی مکانیکی یا انرژی هیدرولیکی مورد نیاز در شستشو در نظر گرفته می‌شود (Packman et al, 2008).

ناحیه پوشش (Coverage) به جریان کل مایع شوینده، به انتخاب وسایل توزیع مورد استفاده در یک تانک ویژه و منبع CIP وابسته است. امری ضروری است تا به طراحی تانک‌ها، به ویژه انتخاب و وضعیت هر ساختار درونی توجه کنیم زیرا بر روی میزان برخورد‌ها و میدان پوشش اثر می‌گذارند. بسیاری از قسمت‌ها از جمله تیغه‌ها، همزن و ... می‌توانند ایجاد سایه کنند و مانع از رسیدن مواد شوینده به قسمتی از

به هنگام نصب با لوله‌های ارتباط‌دهنده به وجود می‌آیند. با توجه به اولین مطالعات انجام شده بر روی نقاط کور مشخص شد که هر دو عامل سرعت جریان مواد شوینده و شکل هندسی این فضاها کوردر قابلیت شستشوی آن‌ها بسیار تأثیرگذارند طوریکه در برخی از موارد بالاترین سرعت هم نمی‌تواند چنین فضاهایی را شستشو دهد (Lelieveld et al., 2014).

-تانک‌ها

محدوده وسیعی از تانک‌ها در صنایع غذایی استفاده می‌شوند. انواع مختلف تانک‌ها، با توجه به کاربردها می‌توانند طراحی‌های متفاوتی داشته باشند. اجزای داخلی زیادی ممکن است در تانک‌ها استفاده شود (مانند همزن، ابزارهای پاشش و...) که همه این اجزا ملزم به رعایت شرایط بهداشتی در ارتباط با مواد ساختی، ساخت و قابلیت تمیزشدن هستند. از بین تمامی این اجزا، ابزارهای پاشش (افشانک) کم‌ترین هزینه را نسبت به هزینه کل تانک دارند اما اصلی‌ترین جز برای تضمین شویندگی مؤثر هستند. طراحی نوع افشانک بستگی به آن دارد که آیا تنها یک مرطوب سازی و تحریک سطح تانک برای شستشو کافی است یا اینکه نیاز به سطح بیشتری از برخورد مکانیکی مواد شوینده به سطح داریم. هر نوع از ابزارهای پاششی که برای تانک استفاده می‌شوند باید تضمین کند که تمام سطوح یک تانک به طور کافی شسته می‌شود. برای بیشتر تانک‌ها با اجزای درونی، تنها یک ابزار پاشش واحد برای شستشو کفایت نمی‌کند زیرا حضور این اجزای درونی احتمالاً مانع از رسیدن شوینده‌ها به برخی از قسمت‌ها می‌شوند و یا به عبارتی ایجاد سایه

سطح تانک شوند. وضعیت ابزارهای پاشش در تانک، میدان پوشش و فشار مکانیکی ایجاد شده به وسیله مواد شوینده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثرات سایه و محدودیت‌های ناشی از آن، یا طول پرتاب مؤثر برای هر ابزار ویژه باید مورد توجه قرار گیرد (Packman et al, 2008). میزان دبی و فشار مایع شوینده ایجاد شده به وسیله سیستم CIP متغیری کلیدی برای تضمین کفایت نیروی مکانیکی، میدان پوشش و حرارت مناسب برای شستشوی تانک‌ها هستند. بنابراین طراحی درست سیستم‌های منبع CIP با توجه به این عوامل کلیدی بسیار مهم است.

-ابزارهای توزیع

چندین عامل برای طراحی ابزارهای پخش‌کننده باید در نظر گرفته شود، زیرا همه آن‌ها عملکرد نسبی ابزارهای شستشو را تحت تأثیر قرار می‌دهند. طول پرتاب مؤثر که از روزنه نازل خارج می‌شود یک عامل تأثیرگذار در طراحی تانک‌ها است. طول پرتاب مؤثر، فاصله بین فواره با دیواره تانک است طوریکه بتواند به طور مؤثر به دیواره تانک برخورد کند و باعث شستشوی تانک شود. انتخاب یک ابزار شستشوی تانک (ابزار پاشش) نباید بر اساس فاصله خیساندن فواره طراحی شود. فاصله خیساندن بیشترین فاصله ای است که یک فواره می‌تواند حرکت کند که در این حالت فقط به دیواره تانک برخورد می‌کند ولی برخورد مؤثر جهت شستشو را به وجود نمی‌آورد. چنین ویژگی در انتخاب و نحوه قرار دادن آن‌ها در داخل تانک نقش مهمی دارد (Moerman et al., 2014).

-افشانک‌های استاتیک یا ثابت

افشانک‌های استاتیک یک ساختار تویی شکل همراه با یک لوله رابط برای ورود مواد شوینده دارند و سرتاسر گوی منافذی در الگوهای مشخص تعبیه شده است. این افشانک‌ها معمولاً به دو صورت طراحی می‌شوند افشانک با دیواره نازک و افشانک با دیواره ضخیم که دیواره ضخیم‌تر باعث دوام بیشتر آن‌ها خواهد شد. الگوی پاشش ۳۶۰ درجه، ۱۸۰ درجه به سمت پایین یا ۱۸۰ درجه به سمت بالا است. در برخی از موارد الگوی پاشش می‌تواند جهت‌دار باشد، جاییکه هدف از افشانک، پوشش مستقیم یک نقطه معین، اجزای خاص یا لوله اتصال افشانک به تانک است. افشانک‌های ثابت ابزارهای نسبتاً ساده و ارزان برای شستشوی سطح درونی تانک به‌شمار می‌روند. هرفواره کوچک همواره به یک نقطه از تانک در کل چرخه شستشو برخورد می‌کند. هر نوع جسم خارجی که همراه با مواد شوینده به این افشانک برسد می‌تواند در این قسمت گیر افتاده و تجمع یابد. در نتیجه برخی از منافذ افشانک ممکن است بسته شوند و در بخشی از تانک ایجاد سایه کنند (مواد شوینده به آن قسمت نمی‌رسد). این نوع افشانک‌ها بسیار محبوب هستند زیرا در اندازه‌های مناسب وجود دارند و انتخاب و نصب آن‌ها بسیار ساده است. به‌خاطر اینکه به سرمایه‌گذاری اندکی نیاز دارند بسیار از آن‌ها در صنایع شیر استفاده می‌شود. افشانک‌ها بیشتر در تانک‌هایی استفاده می‌شوند که با محصولاتی با ویسکوزیته پایین سر و کار دارند. برای تانک‌هایی با اجرام‌های سرسخت‌تر از دیگر انواع ابزارهای توزیع استفاده می‌شود زیرا با افشانک‌های ثابت به آن سطح از

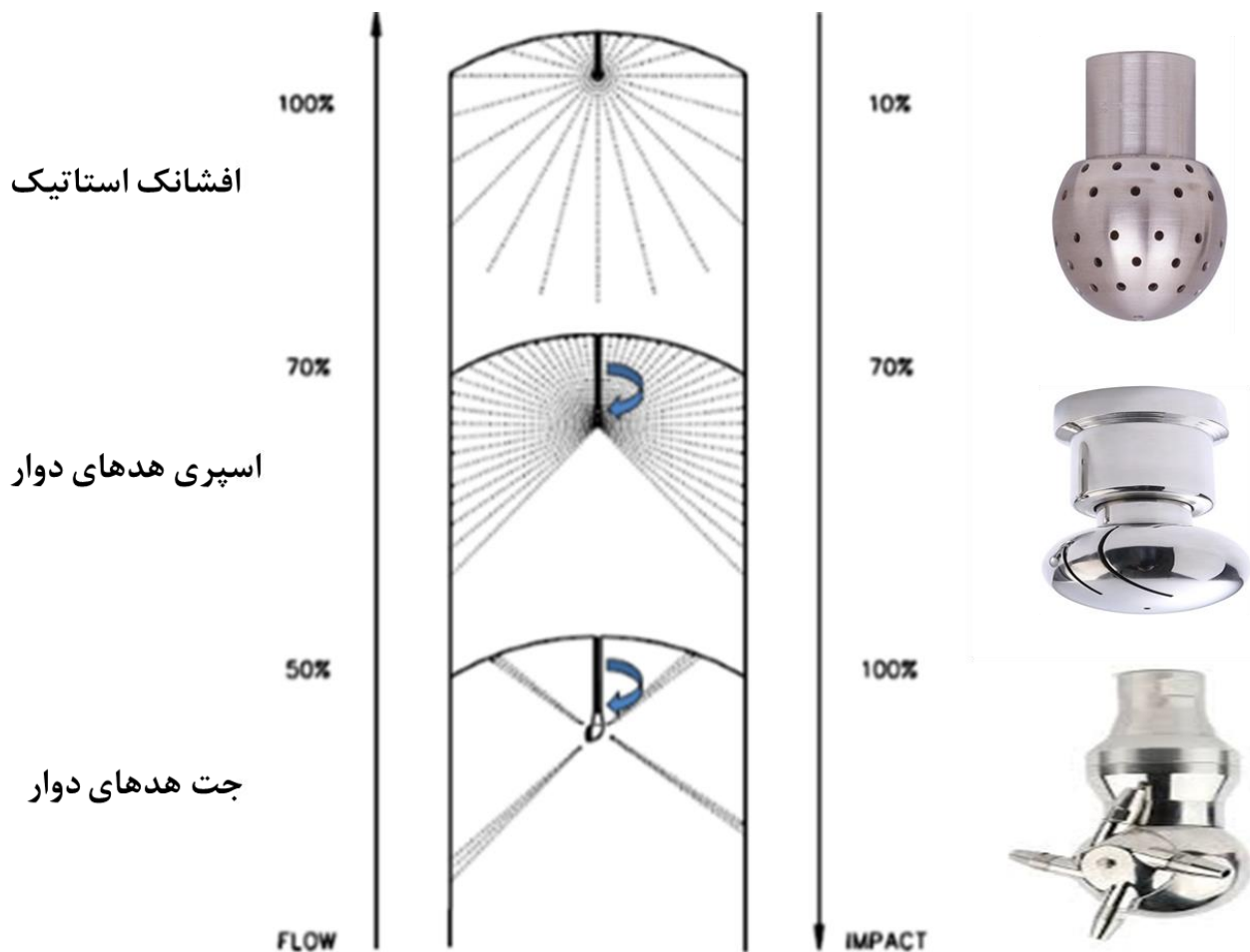
استانداردهای تمیزی مورد نیاز نخواهند رسید (Wilson et al., 2012).

-افشانک‌های دوار (Rotary Spray Heads)

یک طراحی مناسب از این ابزارها، پوشش کاملی از افشانک درون یک تانک را تضمین می‌کند. الگوی افشانک درون تانک از ۳۶۰ تا ۱۸۰ درجه بالا و پایین به علاوه ۲۷۰ درجه می‌شوند. چندین عامل طراحی و ساختی برای افشانک‌های دوار وجود دارد که توانایی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در طراحی این نوع از ابزار پاشش، الگوی افشانک باید طوری باشد که کل سطح تانک را به طور کامل پوشش دهد، به خصوص سقف بالای لوله ورودی و خود لوله ورودی تانک زیرا این بخش‌ها از تانک سخت‌ترین نواحی برای تمیز شدن هستند (Wilson et al., 2012).

-افشانک‌های دوار با سرعت بالا (Rotary Jet Heads)

افشانک‌های دوار با سرعت بالا، مواد شوینده را از طریق چند نازل (معمولاً ۲ تا ۸ نازل)، به دیواره تانک پاشش می‌کنند. تمام سطوح داخلی تانک با شوینده پوشش داده می‌شود. این نوع افشانک در تانک‌های پیچیده و مخزن‌هایی که با همزن، تیغه و دیگر اجزای درونی مجهز شده‌اند مفید است زیرا قادر است تا حین دوران خود مواد شوینده را در دو زاویه مخالف به بسیاری از سطوح زاویه‌دار پاشش کند و بنابراین تشکیل هر گونه سایه را حذف خواهد کرد. این افشانک‌ها شستشو با تعداد برخورد بالا و پوشش کامل در یک طول پرتاب را فراهم می‌کنند. بیشتر در جاهایی استفاده می‌شوند که به عملیات شستشوی بسیار حساس و با کیفیت بالا و در عین حال تکرار پذیر نیاز است. همچنین برای محصولاتی که به سختی تمیز می‌شوند کاربرد دارد (Wilson et al., 2012). شکل (۴) دبی، میزان برخورد و پوشش توسط انواع افشانک‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۴) - دبی، میزان برخورد و پوشش توسط انواع افشانک‌ها

استفاده می‌کنند ولی در سیستم‌های مدرن این حالت منسوخ شده است. چنین سیستم‌هایی بیشتر در مکان‌هایی استفاده می‌شوند که نگرانی در مورد آلودگی متقاطع وجود داشته باشد. این سیستم می‌تواند تمامی تجهیزات را پوشش دهد (Verran and Redfern, 2016; Yang, 2018).

-سیستم بازیابی کامل (Full Recovery System)

در این نوع از سیستم‌ها مواد شوینده به‌طور کامل بازیافت می‌شوند و معمولاً تا زمانی که کثیف نشوند تخلیه نمی‌شوند. معمولاً در این نوع سیستم، از ۴

-انواع سیستم‌های CIP

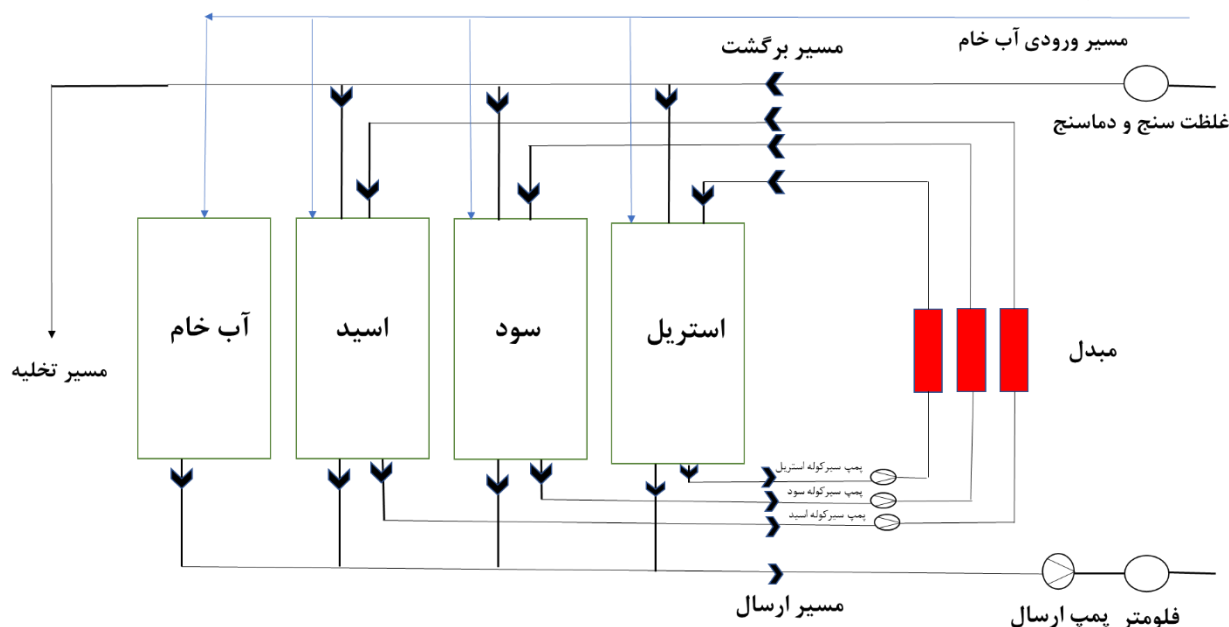
-سیستم‌های تک کاربردی (Single Use System)

در این نوع از سیستم‌ها معمولاً تنها از یک تانک آب استفاده می‌شود. همه مراحل شستشو در نهایت به تخلیه ختم می‌شوند. مواد شوینده تجهیز را در یک حالت چرخش شستشو می‌دهند و بعد از پایان مدت زمان تماس تخلیه شده و دوباره مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. با استفاده از یک مبدل گرمایی مواد شوینده را گرم می‌کنند. در برخی از سیستم‌های قدیمی از تزریق مستقیم بخار برای گرم کردن مواد شوینده

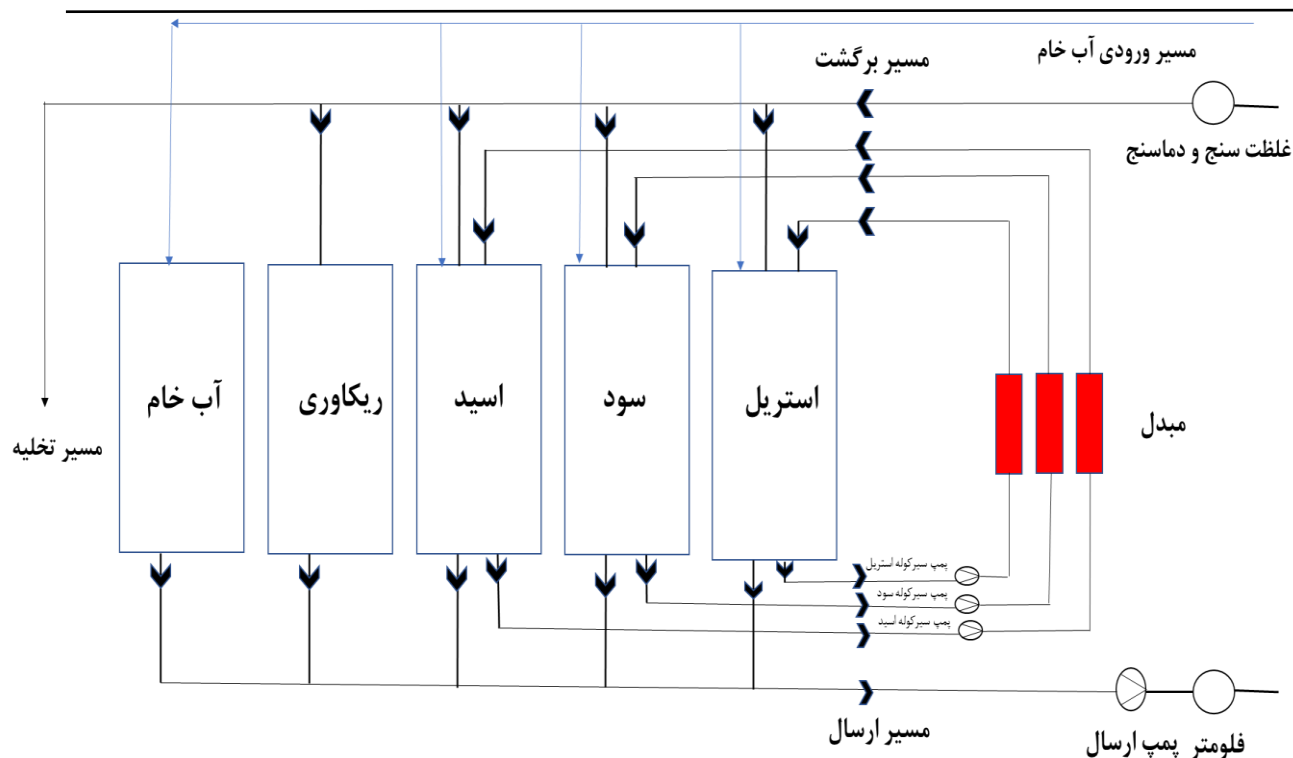
تانک، آب خام، سود، اسید و سترون استفاده می‌شود و هم‌چنین مبدل حرارتی جهت افزایش دما به‌کارگرفته می‌شود. برای کنترل متغیرها، بر روی مدارهای CIP سنسورهای تشخیص درجه حرارت و غلظت مواد شوینده وجود دارد. در صورتی که غلظت مواد شوینده پایین‌تر از غلظت تنظیم شده باشد مواد شوینده غلیظ از طریق یک پمپ به مدار اضافه می‌شوند. هم‌چنین در صورتی که درجه حرارت پایین‌تر از مقدار تعیین شده باشد از طریق چرخش (circulation) مایع درون یک مبدل حرارتی، به درجه حرارت مورد نظر می‌رسند. پمپ تزریق (Dosing pump) و سیستم چرخش کاملاً خودکار (automated) بوده و بسته به اعداد تعیین شده عمل می‌کنند. چنین حالت خودکار معمولاً زمان CIP را افزایش می‌دهند ولی تضمین می‌کند که شوینده‌ها در درجه حرارت و قدرت مناسب استفاده شده‌اند. در چنین سیستم‌هایی می‌توان به‌صورت‌های مختلف

مصرف آب و مواد شیمیایی را بهینه کرد. برای مثال در برخی از سیستم‌ها که از آب‌کشی پایانی، که ممکن است حاوی ضدعفونی‌کننده باشد، استفاده می‌کنند این آب وارد تخلیه نمی‌شود و در تانک‌های بازیابی ذخیره و برای آب‌کشی اولیه در CIP بعدی استفاده خواهد شد. جهت بهینه‌سازی در مصرف آب، علاوه بر ۴ تانک یاد شده در بالا، از تانک دیگری به نام تانک بازیابی استفاده می‌شود. در این سیستم (۵ تانک)، آب کشی میانی (آب‌کشی بعد سودشویی و اسیدشویی) بازیافت شده و در تانک بازیابی جمع‌آوری شده و در آب‌کشی اولیه استفاده می‌شود که علاوه بر کاهش مصرف آب، باعث شستشوی بهتر به‌دلیل وجود مواد شوینده در آن را موجب می‌شود.

شکل‌های (۵) و (۶)، دو ایستگاه CIP بدون تانک بازیابی و با تانک بازیابی را نشان می‌دهد (Verran and Redfern, 2016; Yang, 2018).



شکل (۵)- سیستم CIP بدون تانک بازیابی



شکل (۶) - سیستم CIP استاندارد با تانک بازیابی

فعالیت ضدعفونی کننده‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (Vander and Braeken, 2006).

pH -

محدوده pH بین ۶/۵-۷/۵ برای شستشو مناسب است. pH زیر ۶/۵ مشکلات مربوط به خوردگی را در پی خواهد داشت. pH قلیایی موجب تشدید ته نشین شدن املاح آب و ایجاد مقاومت میکروبی در باکتری‌ها می‌شود. علاوه بر این pH های بالا و پایین‌تر از محدوده‌ی نرمال می‌تواند کارایی شوینده را تحت تأثیر قرار دهد (Vander and Braeken, 2006).

-سختی آب

سختی به دو صورت سختی موقت و سختی دائم وجود دارد. سختی موقت آب شامل بیکربنات کلسیم و منیزیم هستند. هر دو جز نمک‌های محلول در آب هستند و ممکن است به‌طور عمده در آب وجود داشته

اگر محصول سبک و به‌راحتی قابل جابجایی باشد برای مثال شیر خام، آب‌کشی اولیه سرد کافی است، اگر محصول پرچرب و ویسکوز بالا باشد، آب‌کشی اولیه با دمای ۴۰ درجه‌ی سلسیوس انجام می‌شود. که در نتیجه میزان استفاده از شوینده و زمان CIP را کاهش می‌دهد.

کیفیت آب مصرفی جهت انجام CIP

-مزه، بو و رنگ

مزه، بو و رنگ نامطلوب معمولاً از فساد گیاهان و جلبک‌های موجود در آب ایجاد می‌شوند و بهتر است به‌وسیله فیلتراسیون از بین بروند. مواد سوسپانسیون شده درون آب مانند خاک رس، لجن و دیگر مواد آلی با مقدار بیش از مقدار مطلوب موجب تیره شدن آب می‌گردند و بهتر است تا از طریق فرآیند فیلتراسیون جابجا شوند. چنین مواد آلی می‌توانند

باشند. این نمک‌ها تحت تأثیر تغییر شرایط مانند درجه حرارت، pH و فشار تبدیل به کربنات‌های کلسیم و منیزیم می‌شود که نسبتاً غیرمحلول در آب بوده و رسوب می‌کنند. سختی دائم شامل نمک‌های کلسیمی - منیزیمی فسفات‌ها و کلریدها است. این ناخالصی‌ها محلول در آب هستند ولی تحت تأثیر تغییرات مانند حرارت، pH و غیره قرار ندارند. سختی آب بیش از حد باعث خواهد شد تا غلظت‌های بالاتری از مواد شیمیایی شوینده را مصرف کنیم. به دلیل سختی بالای آب خام در برخی مناطق و به دلیل رسوب بستن قسمت داخلی تجهیزات (سفید رنگ) پیشنهاد می‌گردد از آب فیلتر شده که آب نرم است استفاده شود تا تجهیزات بعد سترون توسط آب داغ، رسوب سفید نبندد (Vander and Braeken, 2006).

-مشکلات ناشی از آب در سیستم‌های شستشو

رسوب مواد موجود در آب، اساساً تحت تأثیر میزان مواد معدنی آب قرار دارند. مواد ته نشین شده از آب روی سطوح دستگاه‌ها، موجب پوششی برای سایر کثیفی‌ها، تسهیل کردن رشد میکروارگانیسم‌ها، کاهش تبادل حرارتی در دستگاه‌ها گرمایشی و کاهش قطر داخلی لوله‌ها می‌شود (Vander and Braeken, 2006).

-ارزیابی کارایی شستشو

نحوه ی ارزیابی کارایی فرآیند شستشو به صورت، آزمون چشمی، آزمون سواب و نمونه گیری از آب‌کشی نهایی صورت می‌گیرد (Liu et al., 2006; Fryer et al., 2013).

-آزمون چشمی

استیل ضدزنگ باید روشن و عاری از هرگونه مواد آلی و غیر آلی یا به عبارتی مواد ناخواسته باشند. با استفاده از یک چراغ قوه سطح بررسی می‌شود. استیل

ضدزنگ باید کاملاً درخشان و روشن باشد و هیچ‌گونه اثری از محصول یا تیرگی بر روی سطح وجود نداشته باشد. گسکت‌ها باید از لحاظ وجود جرم و مواد آلی و هم‌چنین برای تمامیت (عدم پارگی) مورد بررسی قرار گیرند. تا جاییکه امکان دارد می‌بایست گسکت‌ها خارج شوند و سطح زیرین آن (سطح استیل) مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین تجهیزاتی که به درستی تمیز شده باشند باید دارای بوی تمیز و خوبی باشند. نباید بوی ترشی یا کهنگی، یا بوی کلرین یا سایر ضدعفونی‌کننده‌ها را بدهند (Liu et al., 2006; Fryer et al., 2013).

-سوآپ کشیدن (آزمون adenosine triphosphate)ATP

آدنوزین‌تری فسفات یک ترکیب شیمیایی ذخیره کننده انرژی است که در همه موجودات زنده وجود دارد. آنزیم لوسیفراز در حضور پیش ماده، لوسیفیرین، اکسیژن و یون منیزیم با ATP واکنش داده و باعث تبدیل شدن انرژی شیمیایی ATP به نور می‌شود. میزان نور تولید شده به‌طور مستقیم متناسب با میزان ATP موجود است، بنابراین میزان نور تولید شده می‌تواند برای تخمین توده زنده در یک نمونه به کار رود (Tamime, 2009).

-نمونه‌گیری از آب‌کشی نهایی

در این روش نمونه‌گیری از آخرین مرحله شستشو که معمولاً آب است صورت می‌گیرد. مزیت این روش این است که نمونه‌گیری آسان است، کل سطح تماس را می‌توان ارزیابی کرد و می‌توان از دستگاه‌ها با مقیاس بزرگ یا نقاطی که قابلیت دسترسی ندارند و یا امکان باز کردن دستگاه وجود ندارد

نمونه‌گیری کرد. نقص این روش در این است که نمی‌توان بقایا یا آلودگی‌هایی را که ممکن است حل نشوند یا از لحاظ فیزیکی محکم به دستگاه چسبیده و مسدود شدند را شناسایی کرد و اینکه محل دقیق آلودگی را نشان نمی‌دهد (Tamime, 2009; Yang, 2018).

-خط مشی برای اعتبارسنجی شستشو

-انتخاب بدترین مورد در ارتباط با محصول

در حالت کلی می‌توان گفت که بدترین نمونه محصول، محصولی است که بیشترین ترکیب فعال را در خود داشته و شستشوی آن از دستگاه بسیار سخت است (Tamime, 2009; Yang, 2018).

-انتخاب بدترین مورد در ارتباط با دستگاه

دستگاه‌هایی با سطوح تماسی بزرگ‌تر و داشتن نقاطی با قابلیت شستشوی سخت‌تر از بدترین تجهیزات در نظر گرفته می‌شوند (Tamime, 2009; Yang, 2018).

بحث و نتیجه‌گیری

شستشو یک نقش کلیدی را در تضمین کیفیت محصول نهایی بازی می‌کند و هرگونه نقصی در شستشو اثرات منفی بر روی کیفیت و ماندگاری محصول خواهد داشت. علاوه بر این فشارهای قانونی و تجاری برای بهبود شرایط بهداشتی روز به روز بیشتر می‌شود ولی با این حال شستشو، آنچنان که سزاوار است مورد توجه قرار نمی‌گیرد. CIP به طور گسترده در صنایع غذایی و شیر توسعه یافته است. در مقایسه با شستشوی دستی، کنترل بهتری را فراهم می‌کند که موجب تضمین کیفیت محصول نهایی نیز خواهد شد. برای حصول یک شستشوی خوب نیاز به ۴ متغیر

اساسی شستشو یعنی دما، فشار مکانیکی، غلظت و زمان داریم که هر یک متناسب با نوع محصول، ضخامت رسوب، طراحی دستگاه‌ها و فاصله‌ی زمانی بین اتمام تولید و شروع CIP قابل تغییر و هم‌پوشانی نسبت به یکدیگر دارند البته باید اشاره کرد هر متغیر محدودیت‌های نسبت به خود را داراست. به‌طور کلی مراحل انجام CIP به ۵ مرحله‌ی آب‌کشی اولیه، شوینده‌ی قلیایی، آب‌کشی، شوینده‌ی اسیدی، آب‌کشی و سترون تقسیم می‌شود. آب‌کشی اولیه با توجه به ماهیت محصول از دمای محیط تا دمای ۵۰ درجه‌ی سلسیوس متفاوت است، شوینده‌ی قلیایی عموماً سدیم هیدروکسید با غلظت ۰/۵ تا ۲ درصد با دمای ۸۰ الی ۸۵ درجه‌ی سلسیوس است و هم‌چنین در مرحله‌ی دوم از یک شوینده‌ی اسیدی که عموماً اسیدنیتریک بوده با غلظت ۰/۵ تا ۱ درصد با دمای ۵۵ الی ۶۵ درجه‌ی سلسیوس استفاده می‌شود. در مرحله‌ی سترون، معمولاً از آب داغ با دمای ۹۰ تا ۹۵ درجه‌ی سلسیوس یا محلول‌های شیمیایی مانند پراستیک‌اسید در محدوده‌ی دمای ۳۰ تا ۴۰ درجه‌ی سلسیوس استفاده می‌شود. به هر میزان در متغیرهای CIP دقت شود در صورت عدم طراحی مناسب، شستشوی بدون عیب را تضمین نمی‌کند. طراحی دستگاه بسیار مهم است زیرا اگر ساخت فیزیکی دستگاه مانع از رسیدن محلول‌های شستشو به نقطه‌ای خاص از سطوح در ارتباط با مواد غذایی شوند، شستشوی ناقص صورت می‌گیرد و این نقطه منبعی از آلودگی می‌شود (نقطه کور). روش‌های مختلفی جهت اعتبارسنجی CIP دستگاه‌ها وجود دارد که می‌توان به بازرسی چشمی،

نظارت بو و مزه، آزمون سواپ و آزمون آب‌کشی نهایی اشاره کرد.

منابع

- Bird, M.R. and Fryer, P.J. (1992). An analytical model for the cleaning of food process plant. In Food engineering in a computer climate, 325-330.
- Bird, M. R. and Fryer, P.J. (1991). Experimental study of the cleaning of surfaces fouled by whey proteins. Food and Bioproducts Processing, 69: 13-21.
- Fan, M., Phinney, D.M. and Heldman, D.R. (2018). The impact of clean-in-place parameters on rinse water effectiveness and efficiency. Journal of food engineering, 222: 276-283.
- Fan, M., Phinney, D.M. and Heldman, D.R. (2015). Effectiveness of rinse water during in-place cleaning of stainless steel pipe lines. Journal of food science, 80(7): E1490-E1497.
- Fryer, P.J., Robbins, P.T. and Asteriadou, I. K. (2013). Current knowledge in hygienic design: can we minimise fouling and speed cleaning? Advances in food process engineering research and applications, 209-227.
- Goode, K.R., Bowen, J., Akhtar, N., Robbins, P.T. and Fryer, P. J. (2013). The effect of temperature on adhesion forces between surfaces and model foods containing whey protein and sugar. Journal of Food Engineering, 118(4); 371-379.
- Gillham, C.R., Fryer, P.J., Hasting, A.P.M. and Wilson, D.I. (1999). Cleaning-in-place of whey protein fouling deposits: mechanisms controlling cleaning. Food and bioproducts processing, 77(2); 127-136.
- Helbig, M., Zahn, S., Böttcher, K., Rohm, H. and Majschak, J.P. (2019). Laboratory methods to predict the cleaning behaviour of egg yolk layers in a flow channel. Food and bioproducts processing, 113:108-117.
- Hultmark, M., Vallikivi, M., Bailey, S.C.C. and Smits, A.J. (2012). Turbulent pipe flow at extreme Reynolds numbers. Physical review letters, 108(9): 094501.
- Jensen, B.B. and Friis, A. (2004). Critical wall shear stress for the EHEDG test method. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 43(7); 831-840.
- Joppen, L. (2004). Cleanability precondition for CIP. Food Engineering & Ingredients, 29(1), 01.
- Jude, B. and Lemaire, E. (2013). How to optimize clean-in-place (CIP) processes in food and beverage operations. Schneider Electric White Paper, 2013.
- Khalid, N. I., Ab Aziz, N., Nuraini, A. A., Taip, F. S. and Anuar, M. S. (2014). Alkaline cleaning-in-place of pink guava puree fouling deposit using lab-scale cleaning test rig. Agriculture and agricultural science procedia, 2; 280-288.
- Khalid, N. I., Nordin, N., Abdul Aziz, N., Ab. Aziz, N., Taip, F. S. and Anuar, M. S. (2015). Design of a Test Rig for Cleaning Studies and Evaluation of Laboratory-Scale Experiments Using Pink Guava Puree as a Fouling Deposit Model. Journal of Food Process Engineering, 38(6): 583-593.
- Liu, W., Fryer, P. J., Zhang, Z., Zhao, Q. and Liu, Y. (2006). Identification of cohesive and adhesive effects in the cleaning of food fouling deposits. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 7(4): 263-269.
- Lelieveld, H.L.M., Mostert, M.A. and Curiel, G.J. (2014). Hygienic design of food processing equipment, In: Lelieveld, H.L.M, Holah, J.T. and Napper, d. (Editors), Hygiene in food processing, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Combridge, pp. 91-141.
- Melero, V., dos Santos Gedraite, E., Kunigk, L., Vieira, P.A., Malagoni, R.A., Sislian, R. and Augusto, S.R. (2013). Experimental investigation about rinse water consumption of a CIP process applied to a shell and tube exchanger. Advanced Materials Research, 785: 1294-1298.

- Moerman, F., Rizoulières, P. and Majoor, F.A. (2014). Cleaning in place (CIP) in food processing, In: Lelieveld, H.L.M, Holah, J.T. and Napper, D. (Editors), Hygiene in food processing, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 305-383.
- Overbosch, P., Ag, M. and Freund, M. (2011). Inspecting hygienic design, hygiene practices and process safety when commissioning a food factory, In: Lelieveld, H.L.M. and Holah, J. (Editors), Hygienic Design of Food Factories, Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 733-742.
- Packman, R., Knudsen, B. and Hansen, I. (2008). Perspectives in Tank Cleaning: Hygiene Requirements, Device Selection, Risk Evaluation and Management Responsibility, In: Tamime, A. Y. (Editor), Cleaning-in-Place: Dairy, Food and Beverage Operations, 3rd Edition, Wiley-Blackwell, United State, 108-145.
- Pant, K.J., Cotter, P.D., Wilkinson, M.G. and Sheehan, J.J. (2023). Towards sustainable Cleaning-in-Place (CIP) in dairy processing: exploring enzyme-based approaches to cleaning in the Cheese industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(5): 3602-3619.
- Piepiórka-Stepuk, J., Diakun, J. and Jakubowski, M. (2017). The parameters of cleaning a CIP system affected energy consumption and cleaning efficiency of the plate heat exchanger. *Chemical and Process Engineering*, 111-120.
- Seiberling, D. A. (2007). Clean-in-place for Biopharmaceutical Processes. 1st Edition, Chemical Rubber Company (CRC) Press, United States, pp. 221-243.
- Tamime, A. Y. (2009). Cleaning-in-place: dairy, food and beverage operations. 2nd Edition, Wiley-Blackwell, United State, 130-145.
- Thomas, A. and Sathian, C.T. (2014). Cleaning-in-place (CIP) system in dairy plant-review. *IOSR J. Environ. Sci. Toxicol. Food Technol*, 8: 41-44.
- Tuladhar, T.R., Paterson, W.R. and Wilson, D.I. (2002). Investigation of alkaline cleaning-in-place of whey protein deposits using dynamic gauging. *Food and bioproducts processing*, 80(3): 199-214.
- Van der Bruggen, B. and Braeken, L. (2006). The challenge of zero discharge: from water balance to regeneration. *Desalination*, 188(1-3): 177-183.
- Verran, J. and Redfern, J. (2016). Testing surface cleanability in food processing, Holah, J., Lelieveld, H.L.M. and Gabric, D. (Editors), In: Handbook of hygiene control in the food industry, 2nd Edition, Woodhead Publishing, Cambridge, pp. 651-661.
- Wilson, D.I., Le, B.L., Dao, H.D.A., Lai, K.Y., Morison, K.R. and Davidson, J.F. (2012). Surface flow and drainage films created by horizontal impinging liquid jets. *Chemical engineering science*, 68(1): 449-460.
- Yang, J., Jensen, B.B., Nordkvist, M., Rasmussen, P., Pedersen, B., Kokholm, A. et al., (2018). Anomaly analysis in cleaning-in-place operations of an industrial brewery fermenter. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 57(38): 12871-12883.