مطالعات علوم کاربردی در مهندسی
دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
صفحات ۳۴۶-۳۳۹

Online ISSN: ۲۴۷۶-۴۵۰۷
Print ISSN: ۲۵۳۸-۲۰۵۵
www.irijournals.com

فرآیندهای تخلیه پساب صفر

محمد صفیر زاده
کارشناسی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه مهر اروند آبادان

چکیده
امروزه حجم بالای پساب‌های نولیدی و اثرات نامطلوب آن‌ها بر محیط‌زیست به یکی از مسایل و دغدغه‌های اصلی صنعت آب و فاضلاب تبدیل شده است که سبب رشد فناوری‌های بدون پساب یا بازیابی و تصفیه بدون پسماند شده است. در این مقاله به دلیل اهمیت فرآیند بدون پساب یا پساب صفر به بررسی این فناوری، مزایا و کاربردهای مختلف آن و بهترین سیستم پرداخته شده است. هدف بررسی برخی فرایندهای پساب‌های صفر و معرفی کاربری‌ترین سیستم آن بوده است. نتایج نشان داد که پساب سیستم‌های اسمز معکوس به‌دلیل غلظت بسیار بالای آلودگی از نظر زیست‌محیطی مشکلات زیادی را ایجاد می‌کنند؛ بنابراین استفاده مجدد از این پساب‌ها ضروری است. برای استفاده مجدد از پساب اسمز معکوس نیاز به حذف یا کاهش عناصر بحرانی مانند سیلیسیم و باریم می‌باشد؛ اما در حال حاضر از پیشرفته‌ترین روش‌های مدیریت پساب شور سیستم‌هایRO، فرآیند تخلیه مایع (ZLD) است. استفاده از سیستم تصفیه پساب صفر (ZLD) یک روش ابداعی و نو در صنعت تصفیه پساب محسوب می‌شود. این روش به‌طور عمومی برای تمامی صنایع و پساب‌ها کاربرد ندارد زیرا نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه‌ی بالایی دارد. در کشور ما صنایع فولاد، نیشکر، پتروشیمی‌ها مصرف‌کنندگان بالقوه این فناوری می‌باشند.

واژگان کلیدی: پساب صفر، فرآیند، ZLD، سیستم‌های RO، زیست‌محیطی

مقدمه

رسوب، تولید پساب شور و مصرف بالای انرژی، نیازمند ارتقاء و تکامل هستند. هم‌چنین واحدهای آب‌شیرین‌کن با توجه به نوع روش و تکنولوژی شیرین سازی و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها آثار زیست‌محیطی متنوعی دارند و مطالعات مختلف، آثار سوء زیست‌محیطی آن‌ها را تائید کرده است. تخلیه آب آلوده بسیار شور در سطح وسیعی از دریا و تأثیر منفی آن بر اکوسیستم دریایی، نشت مواد نفتی به ساحل از تأسیسات آب‌شیرین‌کن، استفاده از زمین‌های ساحلی به‌منظور نصب تأسیسات، آلودگی یکی از روش‌های رو به رشد برای تامین آب شرب، با توجه به محدودیت منابع آب در کشور، استفاده از منابع آبی غیرمتعارف ازجمله آب دریا و آب‌های لب‌شور با بهره‌گیری از فرایندهای شیرین سازی است. ازاین‌رو آب‌شیرین‌کن‌ها یک فناوری مهم برای بشریت و توسعه پایدار تلقی می‌شوند. اگرچه اغلب فناوری‌های شیرین سازی آب‌های شور و لب شور (نمک‌زدایی) در جهان به‌خوبی توسعه داده شده اند، اما هم‌چنان بدلیل برخی مسائل و محدودیت‌ها شامل ایجاد گرفتگی و تشکیل صوتی از جمله مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی مرتبط با آب‌شیرین‌کن‌ها است. یکی از محصولات سامانه‌های نمک‌زدایی، پساب شوری است که به‌صورت بسیار چگال‌تر از آب دریا با املاحی زیاد وارد دریا می‌شود در حال حاضر روزانه ۱۴۱,۵ میلیون مترمکعب پساب‌شور توسط واحدهای نمک زدایی تولید می‌شود که حدود ۵۰ درصد بالاتر از مقدار کل آب شیرین شده توسط آن‌ها در سرتاسر جهان است. بیش‌ترین میزان پساب‌شور تولید شده به میزان حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب در روز متعلق به خاورمیانه و شمال آفریقا است که حدود ۷۰,۳ درصد از تولید پساب‌شور جهان را شامل می‌شود. اگرچه میزان پساب شور تولیدی واحدهای نمک‌زدایی کشورمان بسیار کم‌تر از مقدار جهانی و خاورمیانه است، اما درهرصورت دفع و یا مدیریت پساب یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی در اکثر سایت‌های نمک‌زدایی به‌خصوص واحدهای نمک‌زدایی درون سرزمینی (غیرساحلی) است. شایان ذکر است ۵ تا ۳۳ درصد از هزینه نمک‌زدایی (با توجه به حجم پساب‌شور، سطح و میزان تصفیه پساب و سایر پارامترها) صرف دفع یا مدیریت پساب واحدهای نمک زدایی می شود. لذا انتخاب یک روش مناسب و سازگار با محیط‌زیست، جهت مدیریت پساب‌شور، بسیار حائز اهمیت است. در این موضوع بایستی عوامل مختلف همچون حجم پساب‌شور، اجزای شیمیایی آن، محل جغرافیایی دفع آن، امکان‌سنجی روش مدیریت ازنظر هزینه‌های عمومی و عملیاتی، سرمایه اولیه و ظرفیت تأسیسات نمک‌زدایی مورد توجه قرار گیرد. از روش‌های دفع مستقیم پساب واحدهای نمک زدایی می‌توان به تخلیه به آب سطحی یا تأسیسات تصفیه فاضلاب، تزریق در چاه‌های عمیق، دفع در زمین و استخر و تبخیری اشاره کرد. هم‌چنین از روش‌های دفع غیرمستقیم پساب این واحدها می‌توان به روش‌های مبتنی بر کاهش حجم پساب، بهره‌گیری از روش(Zero Liquid Discharge) ZLD ، تبدیل پساب شور به محصول جامد مفید (روش Solvay)، پرورش آبزیان، استفاده از پساب جهت بهبود کیفیت آب در مناطق آلوده یا تخریب‌شده و استفاده از پساب در کشاورزی (رشد برخی از میکرو جلبک‌ها، و تولید محصولات زراعی) اشاره کرد به حداقل رساندن پساب‌شور و تصفیه آن را می‌توان بر اساس فرایندهای مبتنی بر غشاء، حرارتی و یا فناوری‌های نوظهور پیاده‌سازی کرد. روش‌های تصفیه بیولوژیکی (لجن فعال، رشد چسبیده، پیل‌های نمک‌زدایی میکروبی، رشد میکرو جلبک‌ها)، شیمیایی (نرم‌سازی شیمیایی، رسوب‌دهی دانه‌ای و دوغابی، و دی‌اکسید کربن‌زدایی)، غشائی(VSEP ، الکترودیالیز، اسمزمستقیم)، الکتروسنتیکی و تبادل یونی ازجمله روش‌های تصفیه پساب با شوری کم و روش‌های حرارتی (تبخیر، خشک‌کننده پاششی، MSF، MED، تبخیر انجماد یوتکتیک) و غشائی (تبلور و تقطیر) از روش‌های تصفیه پساب با شوری زیاد است؛ اما آنچه که امروزه شاهد آن هستیم، نگاه و نگرش متفاوت نسبت به پساب خروجی یا همان پساب شور است. این نگاه جدید ناشی از بحران آب در بسیاری از مناطق گرمسیر جهان از جمله ایران و هم‌چنین قوانین جدید و سخت‌گیرانه زیست‌محیطی است، که اجازه ورود مستقیم پساب‌شور ایجادشده در سیستم تصفیه را به محیط نمی‌دهد. اصطلاحی که در این شکل از مواجه با پساب به‌کاربرده می‌شود، ZLDیا تخلیه پساب صفر است. همان‌طور که از نام این سیستم‌ها مشخص است، در این روش هیچ‌گونه خروجی مایع از فرایند نمک‌زدایی نخواهیم داشت. در حقیقت کل آب به‌کاررفته

شده بازیابی شده و باقیمانده نمک‌ها و املاح موجود به شکل جامد قابل استحصال خواهند بود. این مواد جامد که حجم بسیار کم-تری نسبت به پساب مایع دارند، می‌توانند در صورت داشتن ارزش اقتصادی دوباره استفاده شوند و یا طبق اصول زیست‌محیطی منطقه دفع شوند. با اجرای مقررات الزام‌آور محیط‌زیستی، بازار تخلیه پساب صفر (ZLD) در حال رشد است و امروزه در طیف گسترده‌ای از صنایع در حال اجرا است. البته باید توجه داشت که با وجود مزایای استفاده از سیستم‌های ZLD در کاهش آلودگی آب و بهبود پایداری آن، برخی مشکلات از منظر زیست‌محیطی در این زمینه وجود دارد. احتمال وجود مواد آلی پایدار در پساب، بوی حاصل از تجمع نمک، هزینه عملیاتی بالا و پتانسیل بالای خوردگی ازجمله مشکلات این فن‌آوری است. لذا پیشنهاد محققان بر تمرکز تحقیقات در جهت تقویت جنبه‌های مختلف این فناوری‌های تصفیه است. به‌عنوان‌مثال، مواد جدید با خواص پیشرفته و با قیمت اندک و مقرون‌به‌صرفه می‌تواند پایداری سیستم‌های ZLD را برای تصفیه پساب‌شور افزایش دهد. تحقیقات در خصوص به‌کارگیری این فناوری در کشور اخیرا آغاز شده است. هم‌چنین مسئولان ذیربط نیز بهره‌گیری از سیستم ZLD را مستلزم مصرف انرژی زیاد و هزینه بالا می‌دانند، درصورتی‌که اگر با دقت لازم همه جوانب از به‌کارگیری فناوری‌های نوین تا تولید محصولات ارزشمند صنعتی در نظرگرفته شود، می‌توان در آینده نزدیک شاهد رشد این فناوری در صنعت نمک‌زدایی باشیم. ازاین‌رو بایستی شرکت‌های توانمند داخلی در زمینه فناوری ZLD شناسایی شده و با تعامل آن‌ها و همکاری اساتید و پژوهشگران، مدل‌های مختلف اقتصادی سیستم (با اجرای پیکربندی روش‌های مختلف تصفیه پساب) بررسی شوند. می‌توان شرکت‌های بین‌المللی پیش‌قدم در این زمینه را شناسایی کرده و با تسهیل روابط و تعاملات دوطرفه، مقدمات انتقال فناوری و افزایش ظرفیت و توانمندی‌های داخلی را فراهم کرد. نظر به اینکه صنعت شیرین‌سازی آب در مرحله مهمی قرار گرفته است .

و در بسیاری از مناطق کشور، تقاضا برای دسترسی به آب با کیفیت بهتر افزایش یافته است، لذا می‌توان گفت که بهترین سیستم نمکزدایی سیستمی است که در عین حالی که کیفیت و کمیت آب تولیدی را در نظر گیرد، از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی نیز توجیه پذیر باشد. در این صورت تهیه مستندات و ایجاد سامانه معتبر در خصوص آب شیرین‌کن‌های موجود در کشور (مشخصات کمی، کیفی آب شیرین تولید شده و پساب شور حاصل از آن، نوع مواد شیمیایی و ...)، اعمال قوانین سختگیرانهتر و سیاست های تشویقی در جهت سوق صنعت نمکزدایی به استفاده از فناوری‌های نوین نمکزدایی و مدیریت پساب شور، کمینه سازی پساب شور و تخصیص ارزش به پساب شور، انجام تحقیقات در مقیاس ازمایشگاهی و نیمه صنعتی در خصوص انتخاب نوع سیستم بهینه فناوری ZLD، تجزیه و تحلیل ارزیابی چرخه عمر از تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم ZLD، تدقیق ارزش اقتصادی بازیافت فراورده‌های معدنی و فلزات مهم از پساب شورو پیاده‌سازی الگوی تجارت آب مبتنی‌بر حداکثر بار مجاز تخلیه روزانه پساب شور می‌توانند نقشی موثر در این خصوص داشته باشند (https://marinepress.ir) .

فناوری پساب صفر یا فرآیند بدون پساب

پساب صفر (ZLD) یک فرآیند تصفیه با هدف حذف کلیه زباله‌های مایع از سیستم است. فناوری پساب صفر بر کاهش اقتصادی فاضلاب و فناوری پساب صفر به‌طور سنتی شامل تغلیظ پساب شور و تبلور است که از تبخیر حرارتی برای تبدیل پساب شور به آب بسیار تمیز و جامد خشک آماده برای دفع در زمین یا برای بازیافت نمک استفاده می‌کند. ولی در آب تمیز مناسب برای استفاده مجدد متمرکز است.

روش‌های تبخیر و تبلور رایج‌ترین روش‌ها در فرآیندهای پساب صفر است، اما سایر فناوری‌ها (ED/EDR، FO و MD) با ریکاوری بالا در ترکیب‌های مختلف سبب کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری سیستم‌ها می‌شوند. اثرات زیست‌محیطی تخلیه پساب‌های شور سبب ضرورت فناوری پساب صفر شده است که از کمبود آب یا آب‌های محلی محافظت می‌شود؛ بنابراین بسیاری از تاسیسات صنعتی و تولیدکنندگان فاضلاب پساب شور که تاکنون در حال تخلیه پساب شور به آب‌های سطحی در دسترس یا

دریا و مراکز تصفیه‌خانه فاضلاب است، در تلاش برای رسیدن به روش‌های جدید برای مقابله با این مساله‌اند (Bornhoft ., 2018).

آلودگی محیط‌زیست و آب‌های محلی

در دهه گذشته در هند به دلیل آلودگی شدید آب‌های محلی توسط فاضلاب‌های صنعتی، برای اطمینان از آینده رودخانه‌ها و دریاچه‌ها قوانینی در راستای ضرورت استفاده از فناوری‌های بدون پساب وضع شده است. (Bornhoft ., 2018).

مزایای فرآیند بدون پساب

فرآیند بدون پساب دارای مزایای مختلفی است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کاهش حجم فاضلاب باعث کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند می‌شود. بازیافت آب در محل تولید باعث کاهش نیاز به ذخیره‌سازی آب و تاسیسات تصفیه می‌شود. هزینه حمل و نقل پساب به بیرون از محل تولید و خطرات زیست‌محیطی کاهش می‌یابد (Bornhoft ., 2018).

هزینه بالای دفع پساب

در اروپا و آمریکای شمالی، هزینه‌های بالای دفع فاضلاب نیرو محرکه استفاده از فناوری پساب صفر است (Bornhoft ., 2018).

بازیافت مواد ارزشمند موجود در پساب

فناوری بدون پساب برای بازیافت منابع ارزشمند موجود در پساب فاضلاب که قابل فروش یا استفاده مجدد در فرآیندهای صنعتی باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله مواردی که برای بازیافت منابع ارزشمند از پساب استفاده می‌شود، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

تولید کود سولفات پتاسیم ($K2SO4$) از معدن نمک. تغلیظ سود سوزآور ($NaOH$) تا خلوص ۵۰ و ۹۹ درصد. بازیافت سولفات سدیم ($NaSO4$) خالص و قابل فروش از مراکز تولید باتری. بازیابی سدیم کلرید خالص ($NaCl$) از تصفیه فاضلاب معدن زغال سنگ با کاربرد نمک جاده. بازیافت لیتیوم (Li)در آب میدان‌های نفتی ایالات متحده و آمریکای جنوبی. بازیافت گچ ($CaSO4.2H2O$) از فاضلاب آب معدنی و گاز دودکش (Bornhoft ., 2018).

کاربردهای فناوری پساب صفر

فناوری پساب صفر به‌دلیل ویژگی‌ها و مزایای قابل توجه آن کاربردهای مختلفی دارد که شامل موارد زیر است:

برج خنک کننده در صنایع سنگین و نیروگاه‌ها، جریان احیا کننده تبادل یونی بخصوص در فرآوری مواد غذایی و آشامیدنی، نمک‌زدایی گاز دودکش‌ها و فاضلاب‌های مرطوب، تصفیه آب آشامیدنی شهری و فاضلاب.

استفاده مجدد از آب استفاده شده در کاربردهای کشاورزی، صنعتی و شهری، صفیه فاضلاب‌های مختلف صنایع نساجی، ذغال سنگ، مواد شیمیایی، صنایع غذایی، لبنیات و باتری (Bornhoft ., 2018).

پارامترهای تعیین کننده طراحی فرایند بدون پساب

مهم‌ترین عواملی که طراحی فرایند بدون پساب را تعیین می‌کند عبارتند از:

آلاینده‌های موجود در پساب، حجم مواد حل شده در پساب، آهنگ جریان پساب.

جدول ۱: آلاینده‌های موجود در پساب

سدیم	TDS/ TSS	فسفات	استرانسیوم	سولفات
پتاسیم	COD/TOC/BOD	آمونیاک	روغن و گریس	فلوراید
کلسیم	pH	بورون	باریم	نیترات
منیزیم	کلراید	قلیایی-ها	سلیس	-

هزینه‌بر بودن فرایندهای بدون پساب

هر بخش از فناوری بدون پساب هزینه خاصی دارد، اما یک پارامتر مهم برای محاسبه هزینه‌ها در طراحی تصفیه بدون پساب، هزینه‌های عملیاتی است. برای تجزیه و تحلیل هزینه، باید نهایتا فاکتورهای دیگری را در نظر گرفت از جمله: مالیات، هزینه‌های تاسیساتی در منطقه نصب، هزینه‌ها و مجوزهای نظارتی محیط‌زیست، آزمایشات منظم و دوره‌ای (Bornhoft ., 2018).

بازیابی ZLD

شیرین کردن پساب‌های شور برای تامین آب مورد نیاز در سرتاسر جهان رواج پیدا کرده است که بسیار گران قیمت است. مشکلات اصلی در ارتباط با نمک‌زدایی عبارتند از:CAPEX و OPEX، مدیریت و دفع پساب شور .

دفع پساب شور که بخش قابل توجهی از کل هزینه‌های شیرین‌سازی آب را شامل می‌شود به عوامل زیر وابسته است: حجم و نوع تخلیه

به منظور مدیریت پساب شور، تلاش‌های زیادی در سراسر جهان برای کاهش حجم پساب شور با فناوری بدون پساب (ZLD) صورت گرفته است. یکی از راه‌های کاهش هزینه‌های نسبی فرایند بدون پساب، بازیابی آلاینده‌های ارزشمند موجود در پساب شور است. به این ترتیب مواد بازیابی شده به فروش می‌رسند و سود واحد نمک‌زدایی افزایش می‌یابد. هم‌چنین مواد بازیافت شده می‌توانند با استفاده از فرآیند نمک‌زدایی در تاسیسات صنعتی مورد استفاده قرار گیرند و هزینه عملیات را کاهش دهند.

تصفیه پساب‌های صنعتی به روشZLD

روش تخلیه مایع صفر (Zero-Liquid Discharge)یا به اختصار ZLD یک روش ابداعی و نو در صنعت تصفیه پساب محسوب می‌شود. این روش به‌طور عمومی برای تمامی صنایع و پساب‌ها کاربرد ندارد زیرا نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه‌ی بالایی دارد. این روش برای صنایع بزرگی که حجم بالایی از تخلیه‌ی پساب در محیط‌زیست دارند و هم‌چنین در مناطقی واقع شده‌اند که از کمبود آب رنج می‌برد از نظر اقتصادی ارزش سرمایه‌گذاری وکاربرد دارد. با این اوصاف به‌نظر می‌رسد که در کشور ما صنایع فولاد، نیشکر، پتروشیمی‌ها مصرف‌کنندگان بالقوه این فناوری می‌باشند. در اروپا و آمریکای شمالی، هزینه‌های بالای دفع فاضلاب نیرو محرکه استفاده از فناوری پساب صفر است. سیستم تصفیه‌ی ZLD از پیشرفته‌ترین فرایندها و فناوری‌های موجود در تصفیه استفاده می‌کند تا میزان هدررفت آب را در انتهای فرایندهای صنعتی به حداقل ممکن برساند.

یک سیستمZLD

یک سیستم ZLDکه به‌خوبی طراحی شده باشد و با راندمان بالا کار کند، می‌بایست قادر باشد تا:

۱- در برابر تغییر در دبی پساب و تغییر در نوع آلودگی‌ها کارایی خود را حفظ کند.

۲- به‌توان در فرایند تصفیه از افزودنی‌های شیمیایی استفاده نمود.

۳- به‌تواند ۹۵ درصد از حجم مایع موجود در پساب را برای استفاده مجدد تصفیه نماید.

۴- قادر باشد تا محصولات جانبی قابل استحصال از پساب را جداسازی و بازیابی کند
۵- آن‌چه که برای تخلیه به‌عنوان فاضلاب از فرایند خارج می‌شود یک کیک جامد خشک باشد.

تجهیزات و فرایندهایی به‌صورت پایه در یک سیستم ZLD

طراحی یک سیستم ZLD به نسبت جرمی مواد محلول در پساب، دبی جریان ورودی به سیستم و نوع مواد آلوده‌کننده در پساب بستگی دارد.

یک سیستم ZLD دارای تجهیزات زیر می‌باشد:

۱- راکتور یا کلاریفایر برای رسوب دادن فلزات، مواد سخت و سیلیکا
۲- افزودنی‌های شیمیایی برای تولید رسوب فلزات، توده‌سازی و لخته کردن آن
۳- فیلتر پرس برای تولید کنسانتره مواد جامد
۴- اولترافیلتراسیون برای زدودن تمام مواد جامد باقی‌مانده در پساب
۵- فرایند اسمز معکوس برای جداسازی ذرات جامد محلول در پساب و به دست آمدن تمامی جامدهای باقی‌مانده است.
۶- دستگاه Brine Concentrator برای کریستالیزه و جداسازی ذرات جامد خروجی از فرایند اسمز معکوس و تولید کنسانتره از آن‌ها برای کاهش حجم پساب جامد خروجی از سیستم.
۷- تبخیر کننده برای تبخیر آب حاصل از فرایندهای قبلی
۸- کریستالایزر برای تبخیر آب باقی‌مانده در کیک جامد و تولید یک کریستال خشک و حتی‌الامکان در کم‌ترین حجم ممکن است (christos., 2018).

سیستم‌های RO

روش اسمز معکوس یکی از روش‌های تصفیه آب می‌باشد که در آن آب با فشار زیاد از یک سری غشاء نیمه تراوا عبور داده می‌شود. این فشار خارجی از فشار اسمزی طبیعی بیش‌تر است، در نتیجه مولکول‌های کوچک‌تر از منافذ غشاء، عبور می‌کنند درحالی که مولکول‌های بزرگ‌تر، قادر به عبور از غشاء نیستند وسپس در جریانی جانبی از کنار غشاء عبور داده شده و دفع می‌گردند (Mohsen, et al. 1999). امروزه در صنایع برای تأمین آب مورد نیاز از دستگاه‌های تصفیه آب به روش اسمز معکوس به‌طور گسترده‌ای ستفاده می‌شود (Vergili, et al. 2012). در شیرین‌سازی آب شور با روش اسمز معکـوس دو جریان آب حاصل می‌شود: یک جریان آب شیرین قابل استفاده و یکجریان آب با مقدار نمک بالا. جریان آب غلیظ معمولاً ۱۵ تا ۵۰ درصد از جریان تغذیه شده در سامانه اسمز معکوس می‌باشد و مدیریت این جریان غلیظ به طور فزایندهای دشوار شده است. مهم‌ترین روش‌های مرسوم دفع پساب شور، تخلیه به منابع آب پذیرنده (دریاها و اقیانوس‌ها)، تخلیه به سامانه فاضلاب روهای موجود، تزریق در چاه‌های عمیق، استفاده از برکه‌های تبخیر و پاشش بر روی زمین‌های شور می‌باشد (Li., 2011).
یکی از روش‌هایی که اخیراً برای تصفیه این پساب به منظور برگرداندن مجدد آن به دستگاه اسمز معکوس استفاده می‌شود، (تخلیه مایع به میزان صفر) می‌باشد. معمولاً مایع روش ZLD غلیظ تولید شده در شیرین‌سازی غشایی حاوی نمک‌های سولفات کلسیم، سولفات باریم و سیلیکا می‌باشد. در نتیجه قبل از بازیافت آب از مایع غلیظ این مایع باید تصفیه گردد. بنابر این در ZLD تصفیه میانی مایع غلیظ برای استفاده مجدد صورت می‌گیرد. در فرایند ZLDمراحل مختلفی از جمله، انعقاد و ترسیب شیمیایی، جذب و تبخیر وجود دارد.

مجدد پساب در یک RO ثانوی، رسوب این عناصر روی سطح غشا باعث کاهش نفوذپذیری آن می‌شود. از پیشرفته‌ترین روش‌های مدیریت پساب شور سیستم‌هایRO، فرآیند تخلیه مایع (ZLD)به میزان صفر است (نوشادی و همکاران، ۱۳۹۷).

بحث و نتیجه‌گیری

برای استفاده مجدد از پساب اسمز معکوس نیاز به حذف یا کاهش عناصر بحرانی مانند سیلیسیم و باریم می‌باشد. سیستم بیولوژیک و فرایند غشایی نوآوری داشته و ایجاد مزیت نسبی کرده است. فرایند تبخیر، فیلتر غشایی یا اسمز معکوس و کریستالیزاسیون در این سیستم بسیار هزینه بر است. در سال ۲۰۰۸ در کشور آمریکا ۸۲ واحد صنعتی از این سیستم برای تصفیه پساب استفاده می‌کردند که ۶۰ تای آن‌های نیروگاه‌های حرارتی بودند. در کشور چین ۷۰ درصد برق مصرفی از طریق نیروگاه‌های زغال سنگ تامین می‌شود. از طرفی دیگر صنایع شیمیایی یکی از بزرگ‌ترین صنایع این کشور محسوب می‌شود. طبق آخرین مقررات زیست‌محیطی این کشور تمامی نیروگاه‌های زغال سنگ و صنایع شیمیایی موظف به به‌کارگیری سیستم ZLD شده‌اند. در کشور هند طبق قوانین زیست‌محیطی صنایع نساجی که پساب بالای ۲۵ مترمکعب بر ساعت دارند می‌بایست با استفاده از سیستم ZLD پساب خود را تصفیه کنند.

تعداد پروژه‌های ZLD کشور هند در سال ۲۰۱۷ بالغ بر ۶۰ میلیون دلار بوده است. عمده‌ی نوآوری شرکت‌ها برای رقابت در این بازار متکی به طراحی تجهیزات با کارایی بالاتر و کاهش هزینه‌های ثابت و متغیر مرتبط با این سیستم‌ها می‌باشد. این سیستم‌ها هزینه‌ی اولیه‌ی بالایی را می‌طلبند و باید طراحی دقیقی از سیستم صورت بگیرد. تبخیر، فیلتر غشایی یا اسمز معکوس و کریستالیزاسیون در این سیستم بسیار هزینه بر است.

در سال ۲۰۰۸ در کشور آمریکا ۸۲ واحد صنعتی از این سیستم برای تصفیه پساب استفاده می‌کردند که ۶۰ تای آن‌های نیروگاه‌های حرارتی بودند. تجهیزات با کارایی بالاتر و کاهش هزینه‌های ثابت و متغیر مرتبط با این سیستم‌ها می‌باشد.

این سیستم‌ها هزینه‌ی اولیه‌ی بالایی را می‌طلبند و باید طراحی دقیقی از سیستم صورت بگیرد. در مقام نتیجه‌گیری این‌طور به‌نظر می‌رسد که فرایند ZLD بسیار به طراحی دقیق و مهندسی شده متناسب با نوع صنعت و میزان پساب تولیدی بستگی دارد، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه‌ی بالایی می‌طلبد و در طرف مقابل از تجهیزات فرایندی‌ای استفاده می‌کند که امکان تولید بسیاری از آن‌ها در توان بسیاری از وندورهای داخلی می‌باشد. شرکت‌های آمریکایی و اروپایی مختلفی پیمانکاران طراحی، ساخت و نصب این سیستم می‌باشند به طوری که شرکت Aquatechآمریکا در ۶ قاره دنیا ۱۶۰ عدد از این سیستم‌ها را برای صنایع مختلف طراحی و نصب کرده است.

نتایج هم‌چنین نشان داد که پساب سیستم‌های اسمز معکوس به‌دلیل غلظت بسیار بالای آلودگی از نظر زیست‌محیطی مشکلات زیادی را ایجاد می‌کنند؛ بنابراین استفاده مجدد از این پساب‌ها ضروری است. برای استفاده مجدد از پساب اسمز معکوس نیاز به حذف یا کاهش عناصر بحرانی مانند سیلیسیم و باریم می‌باشد؛ اما در حال حاضر از پیشرفته‌ترین روش‌های مدیریت پساب شور سیستم‌هایRO، فرآیند تخلیه مایع (ZLD) است.

منابع

۱- نوشادی، م.، کاظمی، زاده، مریم.، قطبی، شمس السادات. (۱۳۹۷). مدل سازی حذف باریم و سیلیکا از پساب اسمز معکوس در فرآیند. مجله آب و فاضلاب، دوره: ۲۹، شماره: ۱۱۸.

2- Christos, Ch., Brine Zero Liquid Discharge (ZLD) Fundamentals and Design, ENNTECH. 2018, 28- 35.

3- Li, M., "Reducing Specific Energy Consumption in Reverse Osmosis (RO) Water Desalination: An analysis from First Principles", Desalination, 2011, 276 (1–3), 128-135.

4- Bornhoft, M., Considerations for implementing a zero liquid discharge program Sept. 10, Key factors can help determine if a zero liquid discharge (ZLD) program is right for your industrial operation, 2018.

5- Mohsen, M. S., Al-Jayousi, O. R., "Brackish Water Desalination: An Alternative for Water Supply Enhancement in Jordan", Desalination, 1999, 124, 163-174.

6- Vergili, I., Kaya, Y., Sen, U., Gönder, Z. B., Aydiner, C., "Techno-Economic Analysis of Textile. 3- Dye Bath Wastewater Treatment by Integrated Membrane Processes under the Zero Liquid Discharge Approach", Resources,
Conservation and Recycling,
2012, 58, 25-35

7- https://marinepress.ir/marineenvironment /9038/zero-effluent-discharge-technology.