Archive of SID

«یادداشت فنی»

بررسی استفاده از پرتوی فرابنفش در کاهش گرفتگی بیولوژیکی غشاهای اسمز معکوس

(مطالعه موردی: تصفیه‌خانه آب مجتمع پتروشیمی رازی)

مجتبی فاضلی[۱]*، عبدالله رشیدی مهرآبادی[۲]، یدالله جمالی[۳]، محمدتقی جعفرزاده[۴]

۱- استادیار دانشگاه صنعت آب و برق، مدیر گروه مهندسی آب و فاضلاب

۲- استادیار دانشگاه صنعت آب و برق، معاون آموزشهای تخصصی گروه آب و فاضلاب

۳- کارشناس ارشد دانشگاه صنعت آب و برق

۴- کارشناس ارشد شرکت ملی صنایع پتروشیمی

***تهران، صندوق پستی: ۱۷۱۹-۱۶۷۶۵**

fazeli@pwit.ac.ir

(دریافت مقاله: آبان ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: آذر ۱۳۸۵)

چکیده – گرفتگی بیولوژیکی یکی از پیچیده‌ترین مشکلات در بهره‌برداری از واحدهای غشایی به‌ویژه اسمز معکوس است. این پدیده باعث بروز مشکلات عمده، از جمله افت کمی و کیفی جریان آب تولیدی و افزایش فشار مورد نیاز در بهره‌برداری می‌شود.

در این تحقیق پس از مطالعات اولیه، تصفیه‌خانه آب مجتمع پتروشیمی رازی برای مطالعه موردی انتخاب شد. این تصفیه‌خانه شامل واحدهای اسمز معکوس در دو خط موازی پس از مجموعه کامل پیش‌تصفیه است و از واحدهای تعویض یون به‌عنوان تصفیه تکمیلی در انتهای مسیر استفاده شده است.

پس از پایش کامل واحدهای پیش‌تصفیه با نمونه‌برداری از نقاط مختلف با شمارش کل میکربها و کلر باقیمانده، از دو واحد نمونه اشعه فرابنفش در دو طرف صافیهای کارتریج برای بررسی کارایی آن برروی آلودگی میکربی واحدهای غشایی استفاده شده است.

نتایج به‌دست آمده از پایش نشان می‌دهد که علی‌رغم تصفیه مناسب میکربی در تأسیسات پیش‌تصفیه، هنوز آلودگی قابل‌توجهی در ورودی غشاهای اسمز معکوس وجود دارد به‌طوری که با افزودن مواد ضدرسوب پس از کلرزدایی، غلظت میکربی نمونه‌ها افزایش یافته و به‌علت وجود شرایط مناسب در صافیهای کارتریج، با نرخ بالایی رشد می‌کند. مطالعات پایلوتی انجام شده نشان می‌دهد که با استفاده از گندزدایی با پرتو فرابنفش، به‌خصوص پس از صافیهای کارتریج ورود مواد میکربی به غشاهای اسمز معکوس بدون داشتن اثر مضر بر غشا تا نزدیک به صفر کاهش می‌یابد. لذا تعویض ماده ضدرسوب، پایش مناسب و گندزدایی تکمیلی با اشعه فرابنفش در نقطه مناسب، می‌تواند عمر نامی غشا را افزایش دهد.

کلید واژگان: اسمز معکوس، غشا، گرفتگی بیولوژیکی، گندزدایی، پرتوی فرابنفش، پیش‌تصفیه، پتروشیمی رازی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروز با توجه به رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب تصفیه شده در مصارف خوراکی و صنعتی، به‌خصوص در مناطق کم آب، فناوری‌های غشایی به‌عنوان روشی پیشرفته در تصفیه آب در برخی کشورها به‌نحو مناسبی گسترش یافته و در برخی دیگر در حال توسعه است. براساس گزارش انجمن بین‌المللی نمک‌زدایی[1] آب شیرین‌کن‌ها از جمله تأسیسات اصلی تأمین آب خوراکی در بسیاری از نقاط کم آب جهان از قبیل خاورمیانه است که بیشتر با استفاده از تقطیر ناگهانی چندمرحله‌ای[2] و اسمز معکوس[3] عمل می‌کنند. با توجه به مشکلات مختلف سیستمهای آب شیرین‌کن تقطیری (مانند آلودگی هوا بر اثر استفاده از سوختهای فسیلی، کاهش ضریب انتقال حرارت به‌علت لایه‌گذاری، افزایش مصرف سوخت و خوردگی در لوله‌های آب) در حال حاضر توجه به فناوری اسمز معکوس بیشتر شده است، به‌طوری که از اوایل دهه گذشته افزایش چشمگیری در استفاده از این فناوری در همه زمینه‌های کاربردی تولید آب شیرین رخ داده است [۱].

اولین تجربه‌های استفاده از فناوری اسمز معکوس در نیمه قرن بیستم توسط دولت ایالات متحد آمریکا برای تهیه آب خوراکی در نیروی دریایی انجام و گسترش یافت [۲]. با فعالیتهایی که در دانشگاه کالیفرنیا انجام شد، لوب و سوریراجان[4] توانستند از پلیمر استات سلولز اولین غشای نیمه‌تراوای مصنوعی را تولید کنند و سپس اولین دستگاه اسمز معکوس در سال ۱۹٦۵ در کالیفرنیا شروع به کار کرد [۳]. تا دهه ۱۹۷۰ اسمز معکوس به‌عنوان یک روش بالقوه برای شیرین‌سازی آبهای شور و لب شور مطرح بود تا اینکه در این دهه، فناوری مزبور از نظر فنی و اقتصادی به‌عنوان یکی از گزینه‌های عملی برای تهیه آب صنعتی شناخته شد [٤]. در سالهای بعد غشاهای کارامد اسمز معکوس با جنسهای پلی‌آمیدی به بازار عرضه شد و بالاخره فناوری اسمز معکوس در دهه ۱۹۹۰ به یک فناوری متعارف، قوی و مطمئن برای تولید آب خوراکی و صنعتی تبدیل شد [۵].

در کشور ما نیز اسمز معکوس مانند سایر کشورهای حوزه خلیج فارس از دهه ۱۹۹۰ شناخته شده و امروز علاوه بر صنایع نیروگاهی، پتروشیمی، خودروسازی و مانند آن، استفاده از این فناوری برای تأمین آب خوراکی در جزایر و بنادر جنوبی رو به افزایش است و به‌نظر می‌رسد در آینده نزدیک استفاده گسترده‌تری خواهد داشت [۳].

همچنین توجه به سایر فناوریهای غشایی از جمله نانوفیلتراسیون[5]، اولترافیلتراسیون[6] و میکروفیلتراسیون[7] همراه با اسمز معکوس می‌تواند به توسعه فناوری‌های غشایی بینجامد.

۲- ضرورت تحقیق

مشکلات مرتبط با غشاها از جمله گرفتگی بیولوژیکی[8] که علاوه بر تخریب غشا، عامل تشدید سایر انواع گرفتگی (گرفتگی کلوییدی و لایه‌گذاری[9]) است، انجام عملیات شستشو و گندزدایی مکرر در واحدهای غشایی را ضروری می‌سازد. این عملیات در صورت تکرار، باعث افزایش هزینه‌های بهره‌برداری، توقف تولید و کاهش عمر مفید واحدهای غشایی بر اثر آسیبهای فیزیکی، خوردگی بر اثر مواد گندزدا و عدم کفایت روشهای شستشو در بازیابی کامل غشا می‌شود. لذا این تحقیق به‌منظور بررسی روشهای کاهش گرفتگی بیولوژیکی و افزایش عمر مفید

1. International Desalination Association(ADI)
2. Multi-Stage Flash(MSF)
3. Reverse Osmosis(RO)
4. Loeb & Sorirajan
5. Nano Filtration(NF)
6. Ultra Filtration(UF)
7. Micro Filtration(MF)
8. Bio Fouling
9. Scaling

www.SID.ir

Archive of SID

غشا انجام شده و می‌تواند به بهره‌برداری اقتصادی از واحدهای اسمز معکوس کمک کند.

۳- مشکلات متداول در سیستمهای اسمز معکوس

با توجه به ساختمان غشای اسمز معکوس و جنس آن، مشکلات مختلفی به‌شکل گرفتگی در طی کارکرد این سیستم بروز می‌کند که شدت و ضعف آن به کیفیت آب ورودی از نظر فیزیکی، شیمیایی و میکربی بستگی دارد. همچنین تأثیر تخریبی مواد گندزدای مورد استفاده در عملیات شستشوی ادواری و گندزدایی می‌تواند موجب کاهش عمر مفید غشای اسمز معکوس شود. گرفتگی غشاهای اسمز معکوس (و سایر سیستمهای غشایی) به شکلهای زیر می‌تواند بروز کند [٦]:

- گرفتگی کلوییدی: این نوع گرفتگی بر اثر وجود مواد معلق مانند خاک رس، لای و هیدروکسیدهای فلزی نامحلول در آب و از طریق فیلتراسیون مکانیکی ایجاد می‌شود.
- گرفتگی بر اثر لایه‌گذاری: این نوع گرفتگی بر اثر فوق‌اشباع شدن نمکهای محلول معدنی (مانند نمکهای کلسیم و منیزیم) به‌وجود می‌آید و در آن، لایه‌های سخت املاح بر سطوح غشایی تشکیل و باعث افت فشار و افت کیفیت آب خروجی می‌شود.

گرفتگی آلی[1]: این نوع گرفتگی معمولاً بر اثر جذب سطحی روغن، گریس، مواد کمک منعقدکننده و ضدلایه‌گذاری و اسیدهای آلی بروز می‌کند.

- گرفتگی بیولوژیکی: پیچیده‌ترین شکل گرفتگی غشایی بوده و بر اثر ایجاد لایه چسبنده بر روی غشا و جذب و رشد و تکثیر گونه‌های مختلف میکربی مانند قارچها، کپکها، باکتریها و سلولهای مخمر به‌وجود می‌آید.

گرفتگیهای ایجاد شده برروی سطوح غشایی باعث کاهش سطح تراوا و افزایش افت فشار در غشا شده و این دو بر روی یکدیگر اثر تشدیدکننده دارند. اغلب برای افزایش مدت زمان عملکرد بین دو شستشوی سیستم غشایی با افزایش دمای آب و کاهش لزجت آن افت تراوایی را تا حدی جبران می‌کنند. در واقع با این کار می‌توان مقدار نفوذ آب از غشا را کنترل کرد. برای کاهش گرفتگی و محدود کردن تعداد شستشوی مورد نیاز و جلوگیری از تخریب غشا، اقداماتی به شرح زیر رایج است:

- انجام پیش‌تصفیه مناسب برای حذف عوامل گرفتگی.
- شستشو و گندزدایی ادواری واحدهای اسمز معکوس و سیستم پیش‌تصفیه. این عمل برای بازیابی غشا ضروری است اما تعدد دفعات شستشو موجب تخریب تدریجی غشا می‌شود.
- کلرزدایی و حذف مواد اکسیدکننده قبل از ورود آب به غشا. این عمل باعث ایجاد یک ناحیه مناسب برای رشد میکربی پس از نقطه کلرزدایی می‌شود. دمای مناسب، وجود مواد مغذی و محیطهای رشد چسبیده مانند صافیهای کارتریج، فضاهای مرده در سیستم لوله‌کشی و غشای اسمز معکوس، باعث تشدید این پدیده می‌شود.

۴-گرفتگی بیولوژیکی

گرفتگی بیولوژیکی در عمل، به تولید لایه زنده و بروز افت فشار غیرقابل قبول در غشا گفته می‌شود که خود باعث تشدید سایر گرفتگی‌ها می‌شود [۷].

مراحل بروز گرفتگی بیولوژیکی عبارتند از [۷]:

- مرحله اول شامل تشکیل فیلم یا لایه نازک و لزج اولیه بر روی سطح غشا است که فرایند آن کاملاً مشخص نبوده و به‌سرعت و در مدت چند دقیقه رخ می‌دهد. این لایه پایه پلی‌ساکاریدی داشته و بستر مناسبی برای جذب مواد میکربی است.

1. Organic Fouling

www.SID.ir

Archive of SID

- مرحله دوم عبارت است از جدا شدن مواد میکربی از فاز مایع و چسبیدن آن بر روی لایه لزج.
- مرحله سوم رشد و تولید کلنی‌های میکربی بر روی غشا است. در این مرحله سنتز بیوپلیمری شروع شده و مواد مغذی موجود در فاز مایع نیز به لایه چسبیده جذب شده و محیط مناسبی را برای رشد و تکثیر میکربی به‌وجود می‌آورد.
- مرحله چهارم شامل چسبیدن ثانویه و تشکیل لایه‌های جدید میکربی که از چند روز تا چند هفته طول می‌کشد. این فرایند باعث ضخیم‌تر شدن لایه چسبیده می‌شود.
- مرحله پنجم مربوط به مردن و تجزیه مواد سلولی زیرین لایه چسبیده است که بر اثر کاهش دستیابی سلول‌های این لایه به مواد مغذی و اکسیژن اتفاق می‌افتد. ضعیف شدن این لایه باعث شکستن لایه توسط تنش برشی اعمال شده از آب و جدا شدن و انتقال مواد به بخشهای دیگر می‌شود که به این فرایند لایه‌زنی[1] گفته می‌شود.

عوامل اصلی بروز گرفتگی بیولوژیکی غشاها عبارتند از [۸]:

۱- وجود مواد میکربی به‌ویژه از انواعی که ضریب رشد بالاتری در محیط غشا دارند؛

۲- وجود مواد مغذی شامل مواد کربنی، اکسیژن، نیتروژن، فسفر و سایر ریز مغذی‌های[2] لازم برای رشد میکربی؛

۳- شرایط محیطی مناسب مانند دما، نور و pH مناسب و عدم وجود مواد ضد رشد و گندزدا.

اصلی‌ترین راه پیشگیری از گرفتگی بیولوژیکی را می‌توان در جلوگیری از ورود مواد میکربی به محیط غشا جستجو کرد. برای توفیق در این عمل باید به موارد زیر عمل شود:

- شناسایی محلهای ورود مواد میکربی، کنترل و محدود کردن آن. ورود میکرب به سیستم تصفیه‌خانه از دو طریق امکان‌پذیر است [۷، ۹، ۱۰]:

– اول از طریق آب خام ورودی؛

– دوم از طریق مواد افزودنی در مسیر جریان پیش‌تصفیه مانند مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده، مواد ضدرسوب و مواد دیگری که برای کلرزدایی و تنظیم pH به‌کار می‌روند.

برای کنترل ورود میکربی از طریق آب ورودی گندزدایی سیستم پیش‌تصفیه به‌صورت پیوسته یا ادواری انجام می‌شود، به‌گونه‌ای که از عبور مواد میکربی و رسیدن آن به غشا جلوگیری شود [۷]. این نوع گندزدایی به دلایل فنی و اقتصادی معمولاً با استفاده از مواد شیمیایی اکسیدکننده انجام می‌شود؛ اما به‌علت حساسیت بالای جنس غشاهای متداول به مواد اکسیدکننده به‌ویژه کلر و ازون قبل از ورود آب به غشا، غلظت این مواد باید به حد صفر کاهش یابد. با حذف مواد گندزدا، یک منطقه بی‌دفاع در مقابل رشد میکربی در حد فاصل نقطه کلرزدایی تا واحدهای غشایی ایجاد می‌شود. لذا لازم است که از یک سیستم دفاعی غیرمضر برای واحدهای غشایی در این منطقه استفاده شود. در هر صورت گندزدایی و شستشوی ادواری با استفاده از مواد جایگزین به‌علت همساز شدن برخی از گونه‌های میکربی با هر روش ثابت گندزدایی مورد نیاز خواهد بود.

یکی از روشهای بسیار مؤثر گندزدایی جایگزین بدون اثر باقیمانده خطرناک (برای غشا) استفاده از پرتو فرابنفش است. این روش از دهه ۱۹۵۰ در ایالات متحد آمریکا معمول شد و در سالهای بعد در سایر کشورها نیز توسعه یافت. طول موج پرتو فرابنفش معمولاً از ۱۰۰ تا ٤۰۰ نانومتر

1. Slaughing
2. Micronutrients

www.SID.ir

Archive of SID

است که مؤثرترین محدوده آن در گندزدایی آب طول موج بین ۲۵۰ تا ۲٦۰ نانومتر است [۱۱، ۱۲، ۱۳]. بر اثر تابش پرتو فرابنفش با شدت مناسب در طول موجهای فوق، قابلیت تکثیر باکتریها، ویروسها و سایر میکروارگانیسمها از بین میرود. بدین‌معنا که با جذب پرتو توسط پروتئینها و اسیدهای هسته‌ای، DNA سلول‌ها تخریب یا غیرفعال می‌شود [۱۱، ۱۳]. این بدین‌معنا است که احتمال بازیابی و رشد مجدد میکربی پس از مدتی وجود خواهد داشت. لذا ذخیره‌سازی طولانی مدت آب پرتودهی شده ممکن است موجب بازگشت آلودگی شود.

عوامل مؤثر بر بهره‌دهی گندزدایی با پرتو فرابنفش عبارت است از [۱۲]:

۱- شدت تابش که برحسب انرژی اعمال شده بر واحد سطح سنجیده می‌شود؛

۲- طول موج پرتو فرابنفش؛

۳- کدورت آب که بر میزان نفوذ پرتو اثر می‌گذارد؛

۴- مواد فلزی به‌ویژه آهن و منگنز که به‌صورت لکه‌های رنگی برروی محافظ کوارتز لامپ پرتودهی نشسته و شدت تابش را کاهش می‌دهند (غلظت آهن کمتر از ۰/۰۳ و منگنز کمتر از ۰/۰۵ بخش در میلیون قابل قبول است)؛

۵- مواد سختی‌زا و سایر مواد محلول فوق اشباع که امکان لایه‌گذاری آنها وجود دارد؛

۶- دمای آب. دمای بهینه پرتودهی ٤۰ درجه سانتیگراد است.

۵- روش تحقیق

مطالعات پایلوت برای بررسی روشهای کاهش میکروارگانیزمهای ورودی به واحدهای اسمز معکوس با انجام تغییراتی در سیستم پیش‌تصفیه و استفاده از دستگاه پرتو فرابنفش در محل تصفیه‌خانه آب مجتمع پتروشیمی رازی و انجام آزمایشهایی در دانشگاه صنعت آب و برق انجام شده است.

۵-۱- تصفیه‌خانهٔ آب مجتمع پتروشیمی رازی

تصفیه‌خانه آب مجتمع رازی به‌منظور تهیه آب خالص توسط شرکت فرانسوی دگرمون[1] در سال ۱۹۹۱ میلادی طراحی و اجرا شده است. فرایند اصلی تصفیه در این تصفیه‌خانه، سیستم اسمز معکوس است و مجموعه‌ای از فرایندهای پیش‌تصفیه آن را پشتیبانی می‌کنند. به‌علاوه برای دستیابی به کیفیت مطلوب آب فرایندی مجتمع از واحدهای تعویض یون پس از اسمز معکوس استفاده می‌شود. منبع تأمین آب خام تصفیه‌خانه، رودخانه کارون بوده و آب برداشتی پس از تصفیه اولیه در محل کوت امیر اهواز به ماهشهر انتقال می‌یابد. ظرفیت اسمی اولیه تصفیه‌خانه ٤۰۰ مترمکعب در ساعت بوده که در حال حاضر به ٦۰۰ مترمکعب در ساعت افزایش یافته است. غشاهای مورد استفاده در دو مرحله و دو خط تولید، هر یک دارای ۳۹ واحد تحت فشار (با فشار حداکثر ۲۰ بار) به قطر هشت اینچ (۲۶ واحد در مرحله اول و ۱۳ واحد در مرحله دوم) که هر یک حاوی شش واحد اسمز معکوس از نوع مارپیچی[2] ساخت کارخانه (DOW) فرانسه و از نوع (FILMTEC, BW308040) است و هر خط، تولید ۲۱۵ مترمکعب در ساعت دارد. فرایندهای پیش‌تصفیه در این تصفیه‌خانه شامل گندزدایی، سختی‌گیری شیمیایی، انعقاد ـ لخته‌سازی و ته‌نشینی (یک دستگاه از نوع توربوسیرکولاتور به قطر ۱۳ متر)، فیلتراسیون تند (سه دستگاه صافی تک لایه هر یک با سطح ۲۴/۵۴ متر مربع از نوع اکوازورV)، فیلتراسیون تند دولایه تحت فشار (سه دستگاه صافی استوانه افقی به قطر ۳ متر و طول ۸/۵ متر)، مبدل حرارتی (برای تأمین دمای حداکثر ۴۰ درجه سانتیگراد) و میکروفیلتراسیون (دو دستگاه کارتریج) با قطر منافذ پنج میکرون است. همچنین

1. Degremont
2. Spiral Wounded

www.SID.ir

Archive of SID

در این سیستم در حال حاضر از آب ژاول برای گندزدایی اولیه، کلرور فریک به‌عنوان ماده منعقدکننده، سود سوزآور برای سختی‌گیری و تأمین خاصیت قلیایی، اسید سولفوریک در دو مرحله برای کاهش pH تا ۵/۶، بی‌سولفیت‌سدیم برای کلرزدایی و هگزامتافسفات سدیم به‌عنوان ماده ضدرسوب استفاده می‌شود. همچنین در ابتدای تصفیه‌خانه دو دستگاه مخزن ذخیره هر یک به حجم ۳۳۰۰۰ مترمکعب برای تعدیل کمّی و کیفی آب ورودی به تصفیه‌خانه تعبیه شده است.

کیفیت آب ورودی به تصفیه‌خانه با توجه به انجام تصفیه اولیه در کوت امیر اهواز تقریباً همواره یکسان است و عوامل متغیر در آن بیشتر شامل مواد محلول (کاتیون‌ها و آنیون‌ها)، سختی و دما بوده و در هر شرایطی سختی دائم در آب بیشتر از سختی موقت و اغلب از نوع سولفات و کلرور است؛ به‌طوری‌که در فصول مختلف غلظت یون سولفات از ۱۳۰ تا ۳۴۰ و یون کلرور از ۱۸۰ تا ۶۷۰ میلیگرم در لیتر، همچنین سختی کل از ۲۴۰ تا ۵۲۰ و سختی موقت از ۱۱۰ تا ۱۶۰ (برحسب میلیگرم در لیتر کربنات کلسیم) و هدایت الکتریکی از ۷۴۵ تا ۲۲۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر تغییر می‌کند و pH آب بین ۷/۷۵ تا ۸/۶ متغیر است.

برای انتخاب نقطه مناسب برای نصب سیستم پایلوت تابش پرتو فرابنفش و شناسایی نقاط ورود مواد میکربی و بهره‌وری واحدهای پیش‌تصفیه در کاهش آلاینده‌ها، به‌ویژه آلاینده‌های بیولوژیکی مراحل زیر انجام شده است:

۱- پایش سیستم پیش‌تصفیه با نمونه‌برداری از نقاط هشت‌گانه در مسیر تصفیه و از مواد افزودنی کلرزدایی و ضدرسوب که بر روی شکل ۲ نشان داده شده است به‌منظور تعیین غلظت میکربی و کلر باقیمانده برای مشخص کردن بهره‌وری حذف در واحدهای مختلف و شناسایی نقاط ورود مواد میکربی: نمونه‌برداریها در طی ۳ هفته، چهار روز در هفته در محدوده زمانی زمستان ۱۳۸۱ تا پایان تابستان ۱۳۸۲ در ساعت ٦ تا ۷ صبح هر روز در شرایط استریل انجام شد. اندازه‌گیری کلر آزاد باقیمانده و ترکیبی با استفاده از کلرسنج دیجیتالی[1] انجام و سپس نمونه‌ها در دمای $4^{\circ}C$ به آزمایشگاه دانشگاه صنعت آب و برق منتقل و در حدود ساعت ۱۲ همان روز به روش استاندارد[2] مورد بررسی قرار گرفتند. برای تهیه رقت از آب پیتونه استفاده شد. محیط کشت برای شمارش باکتریهای هتروتروف (PCA) و دمای انکوباسیون $35^{\circ}C$ و زمان ٤٨ ساعت بوده است. برای هر نمونه دو عدد پلیت با روش پورپلیت تهیه شده است. با توجه به این‌که احتمال ورود میکرب از طریق مواد تزریقی در حد فاصل نقطه کلرزدایی و غشاها وجود داشت، در هر دوره قبل از نمونه‌برداری مسیر جریان توسط محلول فرمالین کاملاً ضدعفونی شده و سپس نمونه‌برداری‌ها به‌مدت چهار روز انجام شد.

۲- بررسی مواد روی سطوح غشا: برای این‌منظور یک نمونه از غشاهای تعویضی، در شرایط مناسب به دانشگاه صنعت آب و برق منتقل و نمونه‌برداری از سطوح داخلی از ابتدا، میانه و انتهای غشا انجام و شدت لایه‌گذاری و رسوبهای فلزهای سنگین و تجمع میکربی در واحد سطح غشا با انجام آزمایشهایی در آزمایشگاه پژوهشگاه صنعت نفت و دانشگاه تعیین شد.

۳- بررسی پایلوتی کارایی پرتو فرابنفش در کاهش بار میکربی ورودی به سیستمهای غشایی: هدف از نصب پایلوت بررسی تأثیر پرتو ماورای بنفش در حذف میکروارگانیزم‌ها و کاهش شاخص میکربی بود. براساس نتایج مرحله مقدماتی آزمایشهای میکربی و پس از بررسیهای لازم، گزینه‌های مختلف برای محل نصب پایلوت به‌صورت زیر مشخص شد:

- ورودی صافی کارتریج پس از تزریق مواد
- خروجی صافی کارتریج

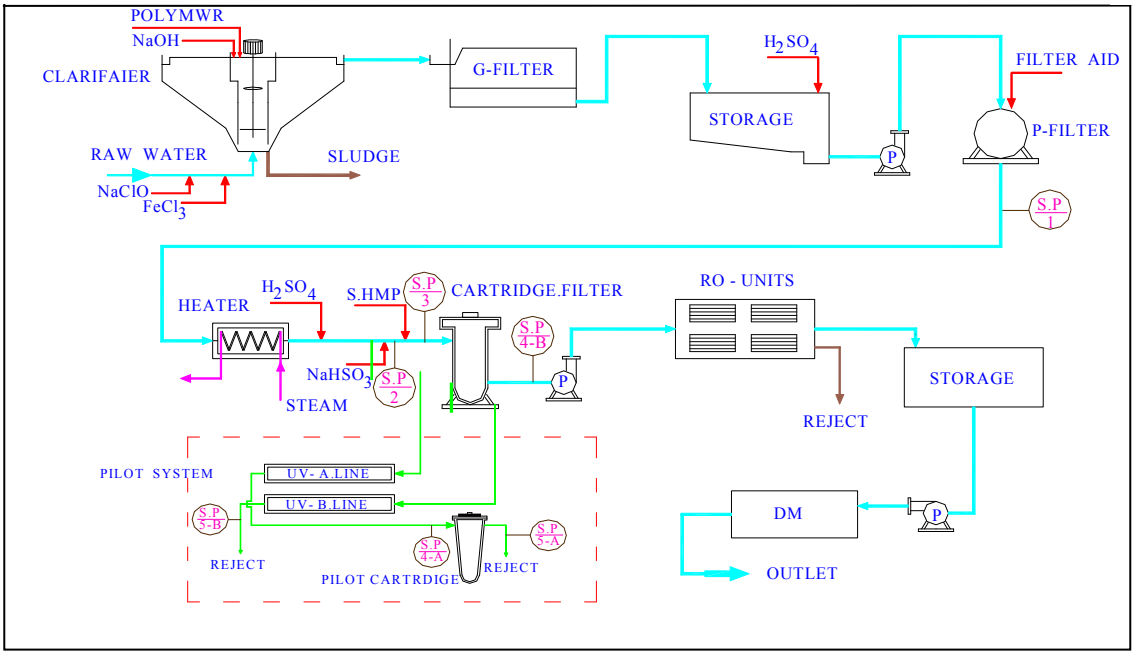
1. HATCH
2. Standard Methods – 9215B

www.SID.ir

Archive of SID

هدف از استفاده از دو دستگاه پایلوت پرتو فرابنفش، تحلیل مناسب‌تر و همزمان و در نتیجه مقایسه بهتر و درنهایت انتخاب صحیح محل قرارگیری دستگاه اصلی در سیستم پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس بوده است. بر این‌اساس دو خط پایلوت جداگانه به نامهای A و B درنظر گرفته شد به‌طوری‌که ورودی خط A، ورودی صافی کارتریج و ورودی خط B، خروجی صافی کارتریج است. نقاط نمونه‌برداری میکربی در سیستمهای پایلوتی نیز در شکل ۲ مشخص شده است. خط A پایلوت شامل دستگاه پرتو فرابنفش و صافی کارتریج نمونه و خط B فقط شامل دستگاه پرتو فرابنفش است. تجهیزات مزبور که برروی تابلو نصب شد، به اضافه لوله‌های رابط، مجموعه سیستم پایلوت را تشکیل می‌دهد. مشخصات فنی دستگاه پرتو فرابنفش مورد استفاده در هر دو خط نیز در جدول ۱ آورده شده است. تصویر سیستم پایلوتی نیز در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

شکل ۱ تصویر سیستمهای پایلوتی A و B



شکل ۲ طرحوارهٔ از واحدهای تصفیه‌خانه آب مجتمع پتروشیمی رازی که در آن نقاط نمونه‌برداری و محل نصب سیستمهای پایلوتی مشخص شده است.

*-S.P= Sampling Point

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱ مشخصات فنی دستگاه پرتو فرابنفش مورد استفاده در هر دو خط

مدل	UV. 2M. 30W
دبی (متر مکعب در ساعت)	۲
ولتاژ (ولت)	۲۲۰ تا ۲٤۰
جریان و توان برق مصرفی	۰/۵ آمپر و ٤۰ وات
محدوده دمای تحمل (درجه سلسیوس)	۵ تا ٤۰
دوز پرتو فرابنفش (میکرو وات ثانیه بر سانتیمتر مربع)	۵۰۰۰۰
طول موج (نانومتر)	کمتر از ۳۰۰ (۲۵٦)
تعداد لامپ هر واحد	۱
طول عمر مفید هر لامپ (ساعت کارکرد)	۵۰۰۰
حداکثر فشار تحمل (اتمسفر)	۵

۶- نتایج و راهکارها

در بخش پایش سیستم پیش‌تصفیه نتایج زیر به‌دست آمده است.

۶-۱- تغییرات میکربی

همانگونه که قبلاً بیان شد به‌منظور بررسی کارایی واحدهای مختلف تصفیه‌خانه موجود و تعیین و شناسایی نقاط ورود آلاینده‌های میکربی به سیستم و نیز بررسی روند رشد میکربی در آن، یک مجموعه آزمایش با نمونه‌برداری از نقاط موردنظر انجام شد.

نتایج در جدول شماره ۲ ارائه شده است. بررسی این جدول نشان می‌دهد که:

- همانطور که انتظار می‌رفت آب خام یکی از منابع اصلی ورود میکربها به سیستم است.
- در بخش تصفیه متعارف از نقطه کلرزنی تا خروجی مبدل حرارتی ـ به‌دلیل تماس با کلر و افزایش زمان تماس و نیز حذف توسط واحدهای زلال‌سازی و صافیها و افزایش دما در مبدل حرارتی ـ شاخص میکربی به‌تدریج کاهش می‌یابد.
- افزایش ناگهانی شاخص میکربی در ورودی صافی کارتریج، نشان‌دهنده ورود میکرب از یک منبع جدید به سیستم است. براساس نتایج آزمایشهای انجام شده مشخص شد که ماده هگزامتافسفات سدیم منبع ورود مجدد میکرب در این ناحیه است.
- افزایش مجدد شاخص میکربی در خروجی صافی کارتریج، مبین رشد میکربی در این واحدها است. لازم است ذکر شود که در این واحدها کلر باقیمانده در آب به صفر رسیده و همچنین دمای مناسب آب، بستر مناسب رشد و وجود مواد آلی و مواد مغذی دیگر حاصل از تزریق مواد فسفردار، شرایط رشد مجدد را برای میکروارگانیزم‌ها فراهم می‌سازد.

۶-۲- تغییرات کلر آزاد

به‌منظور بررسی میزان تزریق کلر و روند مصرف آن در واحدهای پیش‌تصفیه، یک مجموعه آزمایش اندازه‌گیری کلر باقیمانده انجام شد.

نتایج این آزمایشها به‌صورت میانگین در جدول ۳ ارائه شده است.

بررسی نتایج، بیانگر مناسب بودن میزان تزریق کلر و روند حذف آن و تأثیر مناسب بی‌سولفیت سدیم در جلوگیری از ورود کلر به واحدهای اسمز معکوس است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ بررسی کیفیت میکربی آب در نقاط مختلف سیستم پیش‌تصفیه با شمارش کلی

شماره نقاط	موقعیت	تعداد در میلی‌لیتر
۱	آب خام	۲۰۳
۲	آب خام پس از کلرزنی	۵۳
۳	ورودی صافیهای ثقلی	۳۵
٤	ورودی صافیهای تحت فشار	۱۵
۵	خروجی صافیهای تحت فشار	۸
٦	خروجی مبدل حرارتی	۱
۷	ورودی صافی کارتریج پس از ماده‌زنی	۱۵۷
۸	خروجی صافی کارتریج	۱۱٤۸
۹	بی‌سولفیت سدیم تزریقی	وجود ندارد
۱۰	هگزامتافسفات سدیم	بسیار زیاد

* تعداد آزمایشهای انجام شده ۱۲ عدد برای موارد یک تا هشت و دو فقره برای موارد نه و ده بوده است.

جدول ۳ میانگین کلر باقیمانده در واحدهای مختلف سیستم پیش‌تصفیه

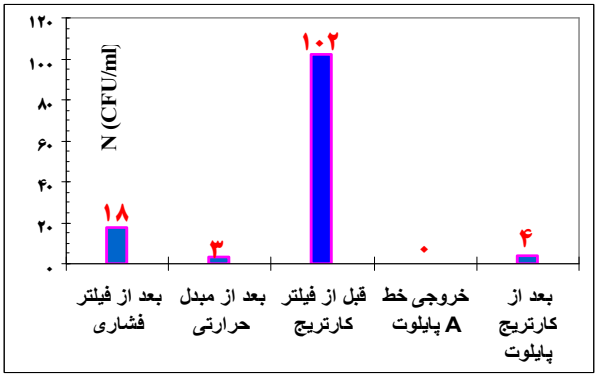
ردیف	موقعیت	غلظت (میلیگرم در لیتر)
۱	آب خام پس از کلرزنی	۱/۵٤
۲	ورودی صافیهای ثقلی	۱/۰۰
۳	خروجی صافیهای ثقلی	۰/۹۹
٤	ورودی صافیهای تحت فشار	۰/٦۷
۵	خروجی صافیهای تحت فشار	۰/٤۷
٦	پس از تزریق بی‌سولفیت‌سدیم	۰/۰۰

۶-۳- نتایج بررسی یک نمونه از غشاهای تخریب شده

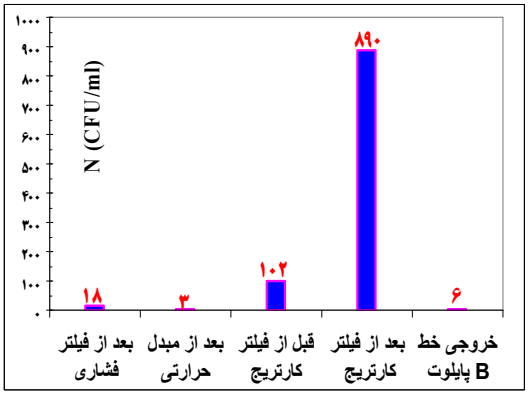
نتیجه بررسی فیزیکی- شیمیایی مواد روی سطح غشای آلوده، مبین وجود آهن به مقدار ۸/۱ میلیگرم در لیتر است. همچنین میانگین نتایج آزمایشهای تعیین آلودگی میکربی، مبین وجود حدود ۲۳×۱۰^{٤} میکرب در هر سانتیمتر مربع از سطح غشاست.

۶-۴- نتایج کارایی پرتوی فرابنفش درکاهش میکروارگانیزم‌های ورودی به غشاهای اسمز معکوس

خلاصه نتایج بررسی کارایی حذف میکروارگانیزم‌ها توسط پرتو فرابنفش برای دو خط A و B سیستم پایلوت به‌طور جداگانه در شکلهای ۳ و ۴ و همچنین سهم منابع مختلف در ورود میکروارگانیزم‌ها به سیستم پایلوت (دو خط A و B) در شکلهای ۵ و ٦ ارائه شده است.



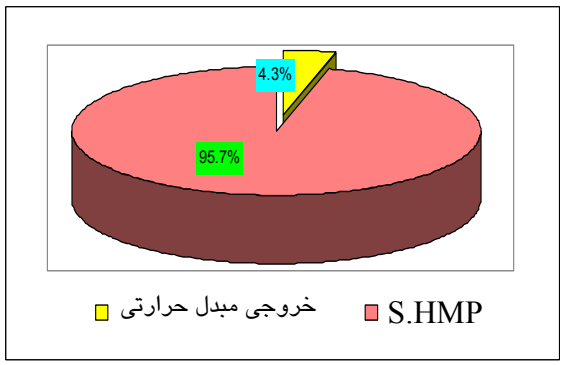
شکل ۳ میانگین شمارش میکربی در میلی‌لیتر خط A



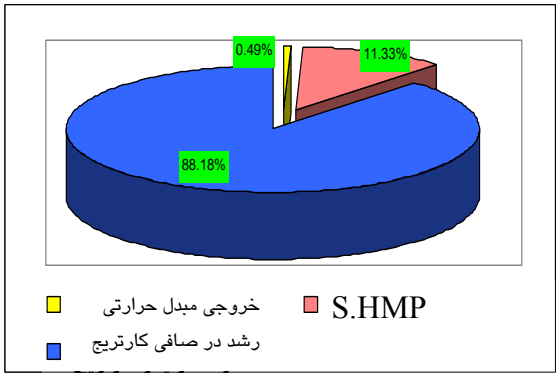
شکل ٤ میانگین شمارش میکربی در میلی‌لیتر خط B

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵ درصد سهم میکربی منابع در خط A

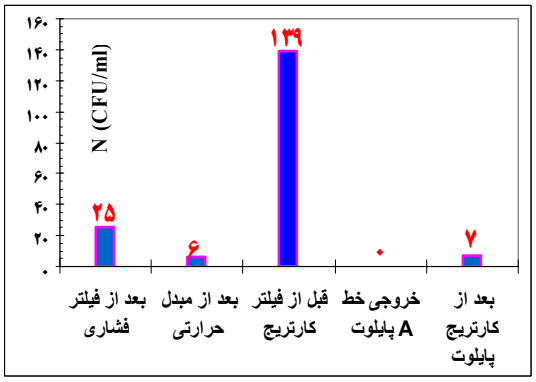


شکل ۶ میانگین شمارش میکربی در میلی‌لیتر خط

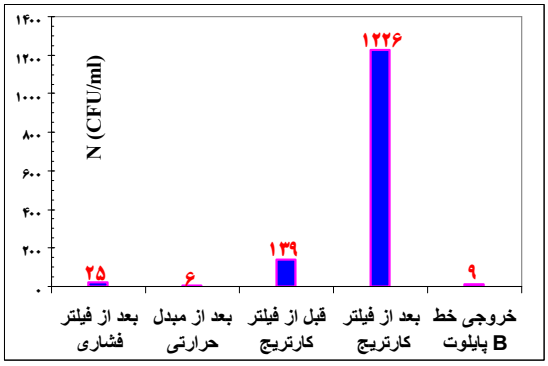
۷- بررسی آماری نتایج کارایی پرتوی فرابنفش

معنادار بودن نتایج حاصل از آزمایشهای فوق براساس روشهای آمار توصیفی و توزیع t (برای نمونه‌های دوتایی) و با استفاده از نرم‌افزار (SPSS) بررسی شده است. تعداد داده‌ها برای خط A عدد ۱۱ و برای خط B عدد ۹ و درجه آزادی آنها ۱۰ و ۸ درنظر گرفته شده است.

خلاصه نتایج بررسیهای آماری به‌منظور تعیین حداکثر میانگین و براساس توزیع t در شکلهای ۷ و ۸ به‌ترتیب برای خطوط A و B پایلوت ارائه شده است. براساس روش فوق و با استفاده از نرم‌افزار، آزمون اختلاف میانگین برای داده‌های ورودی و خروجی هر یک از خطوط پایلوت انجام شده که در نتیجه آن تأثیر مثبت پرتوی فرابنفش در کاهش میکروارگانیزم‌ها تأیید می‌شود.



شکل ۷ نمودار نتایج بررسی آماری شمارش میکربی در خط A پایلوت (میانگین حداکثر براساس توزیع t سطح اطمینان ۹۵٪)

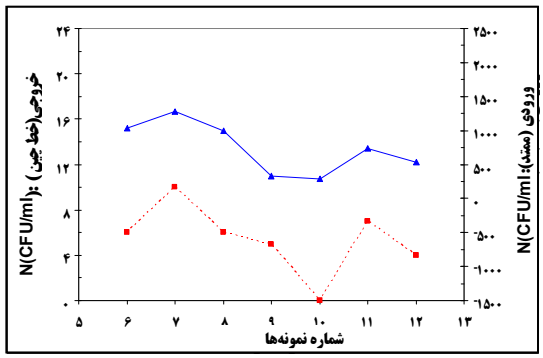


شکل ۸ نمودار نتایج بررسی آماری شمارش میکربی در خط B پایلوت (میانگین حداکثر براساس توزیع t سطح اطمینان ۹۵٪)

پس از بررسی‌های لازم ملاحظه می‌شود که تغییرات شاخص میکربی در ورودی خط A پایلوت پرتوی فرابنفش در خروجی آن تأثیر ندارد و در هر صورت شاخص میکربی در خروجی آن در حد صفر است. اما در مورد خط B پایلوت تغییرات شاخص میکربی در خروجی آن تقریباً تابع تغییرات ورودی است. نمودار این تغییرات در شکل ۹ نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹ تغییرات شاخص میکربی ـ ورودی و خروجی پایلوت پرتوی فرابنفش ـ خط B

۸- نتیجه‌گیری

براساس مباحث فوق و جداول و نمودارهای مربوط نتایج زیر حاصل می‌شود:

- مخزن سدیم هگزامتافسفات، عامل عمده ورود مواد میکربی به جریان آب پس از کلرزدایی است (که از علل عمده آن خنثی بودن این ماده در مقابل رشد میکربی و ذخیره بیش از دو هفته پس از هر بار تهیه است) و به‌علت بروز شرایط مناسب رشد افزایش جمعیت میکربی در صافیهای کارتریج رخ می‌دهد.
- در خروجی خط A (قبل از صافی کارتریج پایلوت) نتایج بسیار عالی و مبین حذف نزدیک به ۱۰۰٪ میکروارگانیزم‌ها تحت تأثیر پرتوی فرابنفش است درحالی‌که پس از صافی کارتریج پایلوت افزایش کمی در شاخص میکربی مشاهده می‌شود. این مبین رشد مجدد میکربی در صافی کارتریج پایلوت است.
- در خروجی خط B پایلوت پرتوی فرابنفش، شاخص میکربی نسبت به ورودی آن تا حد زیادی (۹۹/۳٪) کاهش نشان می‌دهد. این رقم با توجه به بالاتر بودن شاخص میکربی در ورودی آن (نسبت به خط A) مناسب است.
- همانطور که ذکر شد بر خلاف خط A در خط B پایلوت تغییرات شاخص میکربی در خروجی تابع تغییرات ورودی آن است. بر این اساس و پس از بررسیهای لازم مشخص می‌شود که تأثیر دستگاه پرتوی فرابنفش ـ در مواقعی که میکرب ورودی کمتر از حدود ۱۵۰ میکرب در هر میلی‌لیتر باشد ـ تقریباً کامل است اما در هر حال به‌منظور کاهش شاخص میکربی، آب ورودی به غشا لازم است اقدامات مربوط (گندزدایی کامل سیستم، گندزدایی مخزن هگزامتافسفات‌سدیم یا تعویض این ماده و غیره) به طور ادواری انجام شود تا دستگاه پرتوی فرابنفش بهترین بازدهی را داشته باشد.
- نتیجه نهایی آنکه پرتوی فرابنفش در حذف میکروارگانیزم‌های ورودی به واحد اسمز معکوس، کارایی لازم را دارد و با توجه به امکان آلودگی صافی کارتریج از راههای مختلف و رشد مجدد میکرب در آن، نصب سیستم پرتودهی پس از صافیهای کارتریج، ضریب اطمینان را افزایش خواهد داد.

۹- منابع

[1] Buros, O.K.; 1998; "The ABCs of Desalting"; International Desalination Association (IDA), Topsfield, Massachusetts, USA; Saline Water. Conversion Corporation; Second Edition.

[2] Kucera, J; Feb 1997; "Properly Apply Reverse Osmosis Chemical Engineering Progress"; pp 54-61, www.Rpi.edu.

[۳] چالکش امیری، م؛ ۱۳۸۱؛ «اصول تصفیه آب»؛ فصل دهم: کاربرد تکنولوژی غشاها در تصفیه آب و ضمیمهٔ شماره ۲۱: نگاهی دیگر به اسمز معکوس؛ چاپ سوم؛ انتشارات ارکان، اصفهان؛ شابک: ۷-۵۹-۶۲۲۷-۹۶٤.

[4] Gould, C; 1995; "Treating Industrial Water with Membrane Technology"; OSMONICS, Separation & Filtration Systems; www.gewater.com.

[5] Williams, S.K; et al.; Feb 2002; "Novel Anti-Scalant Dosing Control", Desalination, ELSEVIER; www.elsevier.com.

www.SID.ir

Archive of SID

[6] Cartwright, P.S; Mar 2002; "Fouling Phenomena- Clearing up the Confusion"; Water Conditioning & Purification; pp. 36-39.

[7] Ridgway, H.F; Fleming; H.C., 1996; Membrane Bio-Fouling; Chapter 6; Pp 6.1-6.62; in Mallevialle; J.; Odendaal, P.E.; M.R., Wiesner (Eds),Water Treatment Membrane Processes; McGraw-Hill, NewYork.

[8] Kronmiller, D.L; S. R, Dunham; July 1996; "The Inherent Risks of Using Generic Chemicals In RO Applications"; Reverse Osmosis (RO) Chemicals for Water Treatment; Professional Watter Technologies. Inc.; www.pwtinc.com.

[9] Penna, V.T.C; et al.; 2002; "Identification of Bacteria in Drinking and Purified Water During the Monitoring of a Typical Water Purification System"; Bio-Med Central; BMC Public Health.

[10] Walpole, R.E; R.H., Myers; 1978; "Probability and Statistics for Engineers and Scientists"; Second Edition; Macmilan Publishing; Inc; NewYork, Coliier Macmilan Publishers; London.

[11] James, R.; Dec 2003 (Date of Download); Ultraviolet Light Sterilizer, Clarifier or Both?, MORE ABOUT UV & OZONE; www. pondshop.com.

[12] Ultraviolet Disinfection Systems; Apr 2004 (Date of Download); "UV Water Filters, Sterilizer & Systems"; www.ohiopurewater.co.com.

[13] WATER HEALTH; Apr 2004 (Date of Download); "How UV Disinfection Works and Test Results"; A study on UV disinfection performance for bio-fouling control in RO membranes (case study: Water Treatment Plant in RAZI Petrochemical Complex).

www.SID.ir