OP 312

دستورعمل طراحی و اجرای سامانه‌های نمک زدایی

آبگیر و پیش‌تصفیه و سیستم اسمز معکوس (RO)

پاییز ۱۳۹۹

به نام یگانه خدایی که آب را آفرید

همان منشاء حیات را

بسم الله الرحمن الرحیم

دستورعمل طراحی و اجرای
سامانه‌های نمک‌زدایی
آبگیر و پیش‌تصفیه و سیستم (RO)

معاونت راهبری و نظارت بر بهره‌برداری

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

◆ استفاده از مطالب نشریه با ذکر منبع بلا مانع است.

امور طراحی و صفحه آرایی: انتشارات مکث نظر

MAX NAZAR 2020 MAX GROUP DESIGN STUDIO | CSR is our Strategy

تهیه و تنظیم:
اسامی در پایان به ترتیب حروف الفبا ذکر شده است.

فهرست مطالب

بخش اول: آبگیری ۴

بخش دوم: انواع رسوبات غشا و پیش‌تصفیه آنها ۱۳

بخش سوم: تشخیص گرفتگی و رسوب‌گذاری غشا ۲۱

بخش چهارم: فرآیندهای پیش‌تصفیه ۲۵

بخش پنجم: مقایسه فیلترهای با بستر گرانولی و غشاهای پیش‌تصفیه ۳۴

بخش ششم: رهنمودهایی برای انتخاب سیستم پیش‌تصفیه... ۴۸

بخش هفتم: طراحی سیستم اسمز معکوس ۵۶

بخش هشتم: دستورعمل انجام آزمایش شاخص تراکم سیلت (SDI=Silt Density Index)..... ۶۷

مقدمه

آب استحصالی از فرآیند نمک‌زدایی آب دریا، در سواحل خلیج فارس، عمان و همچنین دریای خزر از منابع عمده تامین آب شیرین در کشور می‌باشد. طراحی، اجرا و بهره‌برداری بهینه از سامانه‌های نمک‌زدایی به دلیل هزینه‌های بالای نصب، راهبری و نگهداری این سامانه‌ها، از اهداف مهم در راستای افزایش بهره‌وری در این تاسیسات است و از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین حجم سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در احداث و بهره‌برداری از این سامانه‌ها، افزایش تعداد آنها و وابستگی شهرها و روستاهای مناطق مختلف کشور به عملکرد آنها لزوم اهتمام ویژه در جهت مدیریت دانش در طراحی، اجرا، راهبری و بهره‌برداری از آنها را نشان می‌دهد.

این موضوع شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور را بر آن داشت تا در ادامه توسعه آموزش‌های کاربردی و مدیریت دانش، اقدام به تهیه و تدوین اولین دستور عمل طراحی و اجرای سامانه‌های نمک‌زدایی نماید که در ۸ فصل ملاحظات طراحی و اجرای سیستم‌های آبگیر، پیش‌تصفیه و سیستم اسمز معکوس(RO) را بیان می‌کند. دستورعمل بهره‌برداری از سامانه‌های نمک‌زدایی نیز در دست تهیه بوده و به زودی ارائه می‌گردد.

ضمن تشکر از زحمات جناب آقای مهندس طباطبایی و سرکار خانم دکتر تهرانی و همکاران در تهیه و تدوین این دستورعمل، امیدوارم دستورعمل مذکور گامی در جهت ارتقای عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی باشد.

ذکر این نکته ضروری است دریافت نظرات و پیشنهادات اصلاحی همکاران موجب ارتقای نسخه‌های آتی این دستورعمل خواهد شد.

سید حمیدرضا کشفی
معاون راهبری و نظارت بر بهره‌برداری
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
پاییز ۹۹

بخش اول: آبگیری

۱-۱- مقدمه

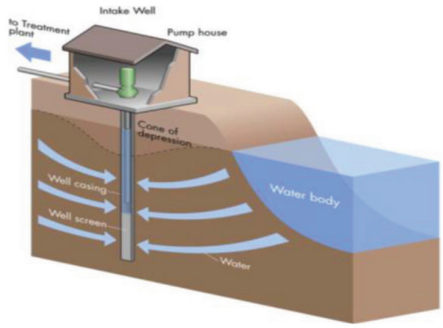
آبگیر یکی از اجزای اصلی تاسیسات نمک‌زدایی می‌باشد. هدف اصلی از احداث آبگیر، اطمینان از جریان ثابت و کافی و کیفیت مناسب آب خام درتمام طول عمر مفید تاسیسات نمک‌زدایی می‌باشد. در حال حاضر، دو نوع آبگیر پر کاربرد شامل ۱- آبگیرهای سطحی و ۲- آبگیرهای زیرسطحی (آب زیرزمینی، چاه) برای جمع آوری آب برای ورود به تاسیسات نمک‌زدایی وجود دارد. آبگیر سطحی، آب خام را به طور مستقیم از آب‌های سطحی (مانند اقیانوس، دریا، رودخانه شور و دریاچه) از طریق تاسیسات واقع در ساحل و یا دور از ساحل و خطوط انتقال به تاسیسات نمک‌زدایی منتقل می‌کند. آب خام جمع آوری شده توسط این نوع آبگیرها معمولاً حاوی آشغال‌ها، جامدات درشت و ریز و سیلت و موجودات آبزی (به عنوان مثال ماهی، جلبک، باکتری‌ها و غیره) است که نشان می‌دهد پیش‌تصفیه این نوع آبها پیچیده‌تر است. آبگیرهای زیرسطحی از آبخوان آب شور زیرزمینی یا آبخوان شور ساحلی برای جمع‌آوری آب خام برای تاسیسات نمک‌زدایی استفاده می‌کند. آب شور به دست آمده با استفاده از آبگیرهای زیرسطحی از طریق سفره آبی منتقل می‌شود که بطور طبیعی آشغال‌ها، موجودات دریایی و برخی از ارگانیسم‌ها را فیلتر می‌کند و بدین وسیله پتانسیل رسوب غشای RO کاهش می‌یابد. در نتیجه، استفاده از آبگیرهای زیرسطحی برای جمع آوری آب خام معمولاً نیاز به پیش‌تصفیه ساده‌تری نسبت به آب خام جمع‌آوری شده توسط آبگیرهای سطحی دارد.

۱-۲- آبگیرهای زیر سطحی

آبگیرهای زیر سطحی برای تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا، آب را از آبخوان شور نزدیک به ساحل (ساحلی) و یا از آبخوان‌های دور از ساحل زیر کف اقیانوس جمع‌آوری می‌کند. با توجه به تغییرات کیفیت آب و حجم آب‌های زیرزمینی شیرین که در ساحل تخلیه می‌شود، کیفیت آب در سفره‌های دور از ساحل با سفره‌های ساحلی متفاوت است. آب جمع‌آوری شده در آبگیرهای زیرسطحی از طریق فیلتراسیون کند در لایه‌های خاکی زیرین منطقه، پیش‌تصفیه می‌شود. انواع مختلفی از آبگیرهای زیرسطحی جهت جمع‌آوری آب خام برای تاسیسات نمک‌زدایی SWRO[1] وجود دارد: (۱) چاه‌های عمودی (۲) چاه‌های افقی (HDD) (۳) چاه‌های از نوع Ranney افقی و (۴) گالری‌های نفوذ.

۱-۲-۱- چاه‌های عمودی

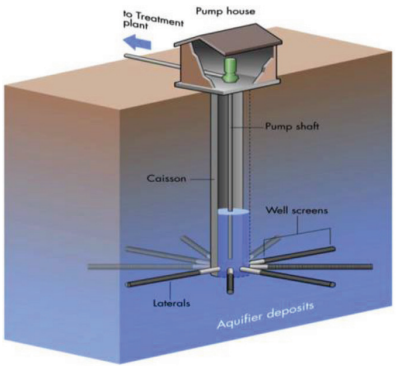
چاه‌های عمودی رایج‌ترین نوع مورد استفاده آبگیرهای زیرسطحی در حال حاضر است. چاه‌های عمودی از اجزای اصلی زیر تشکیل شده است: لوله، آشغالگیر، فیلتر، سرپوش چاه.



این چاه‌ها مجهز به پمپ توربینی شناور یا عمودی هستند که درون حفره چاه نصب شده‌اند. لوله چاه، لوله‌ای از جنس استیل یا غیر فلزی (به طور معمول فایبرگلاس) است. آشغالگیر قسمتی از آبگیر چاه است. عمق قرارگیری آشغالگیر، اندازه چشمه‌ها، قطر و طول، معیارهای اصلی طراحی آشغالگیر چاه هستند. سرعت ورودی چاه برای جلوگیری از ورود بیش از حد شن و ماسه و ذرات دیگر کنترل می‌شود، تا تأثیر منفی بر عمر مفید چاه و کیفیت آب و سیستم پیش‌تصفیه پایین دست نداشته باشد. عملکرد آشغالگیر با فیلتراسیون تقویت می‌شود که شامل شن و ماسه تمیز، یکنواخت و با دانه‌بندی مناسب است که بین منافذ ورودی آب به چاه و آشغالگیر قرار می‌گیرد تا بتواند آب زیرزمینی ورودی به چاه را فیلتر کند. برای جلوگیری از ورود خاک و سایر آلاینده‌ها به منطقه آشغالگیر، یک سرپوش در بالای فیلتر نصب شده است. سرپوش چاه، از چاه در برابر آلودگی محافظت می‌کند.

1. Seawater Reverse Osmosis

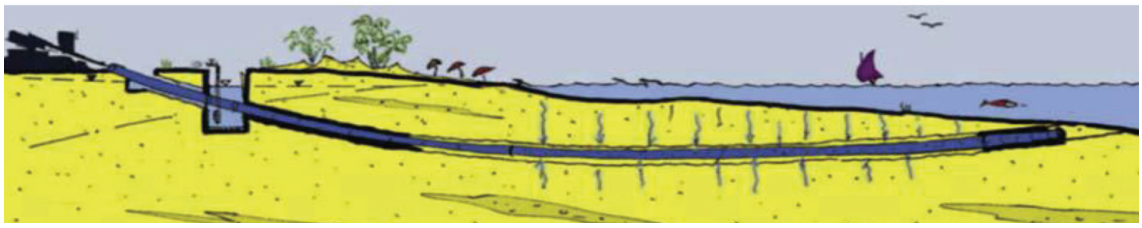
۱-۲-۲- چاه‌های از نوع Ranney افقی



این نوع چاه‌ها شامل تاسیسات بتنی است که با صفحه‌های جمع‌کننده پیش‌بینی شده (مانند شکل زیر)، به صورت افقی از درون چاه به طرف آبخوان اطراف آن، در زیر سطح زمین امتداد می‌یابد. از آنجا که صفحات عبور آب در چاه‌های جمع کننده به صورت افقی قرار می‌گیرند، سرعت بیشتری برای جمع‌آوری آب خام نسبت به بیشتر چاه‌های عمودی امکان‌پذیر است. یک مشکل مهم در مورد چاه‌های Ranney این است که اگر آب خام حاوی سولفید هیدروژن باشد، این ترکیب به احتمال زیاد اکسیده شده و می‌تواند باعث ایجاد رسوب در غشای RO شود.

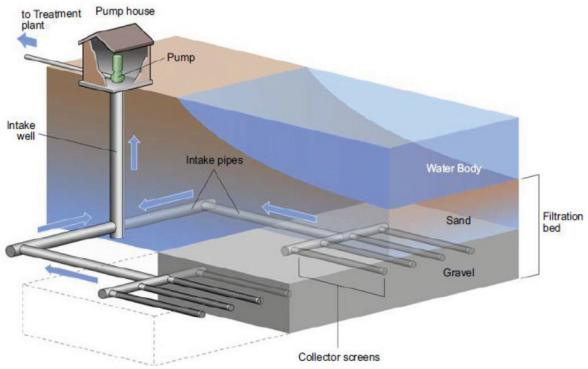
۱-۲-۳- چاه‌های افقی(HDD)

چاه‌های آبگیر HDD شامل چاه گمانه نسبتاً کم عمق با یک یا چند صفحه سوراخ‌دار افقی زاویه‌دار (معمولا متمایل در ۱۵-۲۰ درجه) می‌باشد. این نوع چاه‌ها عمدتاً در تاسیسات نمک‌زدایی از آب دریا کاربرد دارند. فیلتراسیون طبیعی بستر دریا سبب محافظت از تاسیسات نمک‌زدایی می‌شود. همچنین این سیستم سدی مؤثر در برابر جامدات سنگینی است که در هنگام شکوفایی جلبکی و نشت روغن ایجاد می‌شود.



۱-۲-۴- گالری‌های نفوذ

گالری‌های نفوذ شامل بستر فیلتراسیون شنی کند است که در قسمت زیرین منابع آب سطحی (مانند اقیانوس، دریاچه یا رودخانه) قرار گرفته است. گالری‌های نفوذ معمولاً زمانی اجرا می‌شوند که چاه‌های آبگیر متعارف عمودی یا افقی به دلیل شرایط نامساعد هیدروژئولوژیکی قابل استفاده نباشند. چنین سیستم‌های آبگیر زیرسطحی فقط در مکان‌هایی امکان‌پذیر است که حرکت طبیعی دوره‌ای آب بر روی بستر وجود داشته باشد. یکی از چالش‌های مهم در گالری‌های نفوذ، گرفتگی بیولوژیکی بستر فیلتراسیون است که ظرفیت تولید آنها را با گذشت زمان کاهش می‌دهد.



۱-۲-۵- ملاحظات امکان سنجی برای آبگیرهای زیرسطحی

موارد بررسی	توضیحات
موقعیت مکانی و بافت زمین‌شناسی محل احداث آبگیر	شرایط زمین‌شناسی که مناسب ساخت آبگیرهای زیرسطحی است، شامل بافت زمین‌شناسی از نوع شن و ماسه قابل نفوذ و سنگ آهک - یا دولومیت - که دارای قابلیت انتقال و عمق بالایی هستند می‌باشد. ارزیابی منابع بالقوه آلودگی منابع آب در مناطق تحت تاثیر آبگیرهای زیرسطحی، یک بخش مهم و ضروری برای ارزیابی امکان سنجی استفاده از آبگیرهای زیرسطحی است. همچنین ارزیابی پیچیدگی پیش‌تصفیه آب منبع به دست آمده از آبگیر از جمله مسائلی است که مختص شرایط مکانی خاص پروژه نمک‌زدایی معین می‌باشد و باید مورد بررسی قرار گیرد. بافت خاکی متخلخل درشت و بسیار نفوذپذیر (به عنوان مثال ماسه سنگ‌ها، سنگ‌های ساحلی و رسوبات آبرفتی، شن و ماسه درشت دانه و سنگ آهک) متصل به یک بستر رودخانه لب شور (برای آبگیرهای تاسیسات لب شور) یا به کف اقیانوس (برای آبگیر آب دریا) که عملکرد ویژه (انتقال) بیش از ۱۵۰۰ متر مکعب در روز و دارای منطقه حمل آب حداقل ۶ متر (۲۰ فوت) هستند، مناسب‌ترین مکان برای آبگیرهای زیرسطحی هستند.
نیاز به پیش‌تصفیه اضافی آب آبگیر زیرسطحی	آبگیرهای زیر سطحی به طور معمول از نظر کدورت آب شور و شاخص SDI از کیفیت بهتری نسبت به آبگیرهای سطحی برخوردار هستند. اغلب فرض بر این است که استفاده از آبگیرهای زیرسطحی نیاز به پیش‌تصفیه آب منبع شور را قبل از نمک‌زدایی RO از بین می‌برد.
تغییر کیفیت آب منبع	بطور کلی، آبگیرهای زیر سطحی، آب خوراک نسبتا پایدار از نظر TDS تولید می‌کنند، در عین حال می‌توانند عملکرد غیرقابل پیش‌بینی از غلظت TDS با نوسانات بیش از 30% میانگین داشته باشند. شوری آب منبع می‌تواند با گذشت زمان تحت تأثیر ورود آب شیرین به آبخوان ساحلی به طور غیرقابل پیش بینی تغییر کند. فشار خوراک سیستم SWRO مورد نیاز برای تولید جریان آب محصول هدف، برای هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دمای آب در محدوده دمای ۱۲-۴۰ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد. بهره‌برداری در دمای بالای آب خام (به طور معمول ۳۰ درجه سانتیگراد و بالاتر) اهداف کیفی آب محصول از نظر TDS، کلریدها، بور، سدیم و سایر الزامات کیفی را تامین نمی‌کند و ممکن است نیاز به نصب مراحل پیش‌تصفیه اضافی به صورت مرحله به مرحله یا کامل باشد. با این حال، آب آبگیرهای زیر سطحی ممکن است حاوی ترکیباتی باشد که تصفیه آن‌ها مشکل است. بخصوص هنگامی که تحت تأثیر آبهای زیرزمینی آلوده قرار دارند. ترکیبات نگران‌کننده را می‌توان بوسیله فن‌آوری‌های موجود از جمله فیلتراسیون کربن فعال، تابش اشعه ماوراءبنفش، اکسیداسیون پراکسید هیدروژن، ازن زنی و غیره تصفیه کرد. سیستم‌های پیش‌تصفیه ممکن است هزینه کلی تولید آب نمک‌زدایی را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.
غلظت اکسیژن	سطح DO آب آبگیری شده از تاسیسات زیرسطحی بسیار کم بوده و حدود ۰.۲-۱.۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. آب محصول سیستم RO و کنسانتره آن تقریباً غلظت DO آب خوراک را دارند. اگر کنسانتره با DO کم از تاسیسات نمک‌زدایی با آبگیر زیر سطحی به آب آزاد مانند اقیانوس، دریاچه یا رودخانه تخلیه شود، این آب باید مطابق با میانگین روزانه و حداقل الزامات تخلیه غلظت DO آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده، به ترتیب 4 و 5mg/l باشد. از آنجا که تاسیسات نمک‌زدایی بزرگ با استفاده از آبگیرهای زیرسطحی که آب خام با DO پایین را جمع می‌کنند، حجم قابل توجهی از کنسانتره با غلظت کم DO را تخلیه می کنند، این تخلیه می‌تواند باعث کاهش اکسیژن و مشکل برای آبزیان شود. بنابراین، کنسانتره با غلظت پایین DO قبل از تخلیه به آب سطحی مجدداً می‌بایست هوادهی شود.

۱-۲-٦- آبگیرهای زیرسطحی- اثرات زیست محیطی

در آبگیرهای زیرسطحی محبوس شدن[1] و عبور کردن[2] موجودات دریایی کمتر اتفاق می‌افتد. آب شور جمع‌آوری شده توسط این نوع از آبگیرها معمولا نیازی به آشغالگیری مکانیکی ندارد و بنابراین، آبگیرهای زیرسطحی باعث تأثیر مخرب بر روی موجودات آبزی منطقه آبگیر نمی‌شوند. استفاده از آبگیرهای زیرسطحی می‌تواند برخی اثرات زیست محیطی مانند از دست دادن زیستگاه ساحلی در هنگام ساخت و ساز را از بین ببرد. همچنین بسته به نوع روش ساخت و طراحی آبگیر می‌تواند تالاب‌های ساحلی اطراف را تحت تأثیر قرار دهد.

۱-۳- آبگیرهای سطحی

براساس محل ورودی آب خام، آبگیرهای سطحی معمولا به آبگیرهای واقع در ساحل و دور از ساحل، طبقه بندی می‌شوند.

۱-۳-۱- آبگیرهای سطحی واقع در ساحل

تا به امروز، آبگیرهای واقع در ساحل کاربرد مناسبی برای سامانه‌های بزرگ نمک‌زدایی آب دریا بصورت حرارتی یا هیبریدی را داشته‌اند. چنین آبگیرهایی معمولاً شامل کانال آبگیر بزرگ و عمیقی است که منتهی به یک حوضچه بتنی مجهز به آشغالگیرهای میله ای درشت، آشغالگیرهای کوچک و ایستگاه پمپاژ می‌باشد. بسته به شرایط ساحلی، این نوع آبگیرها در مناطق زیر می‌تواند در نظر گرفته شود: در ساحل شنی با شیب کم، بر روی ساحل صخره‌ای و یا در محوطه طبیعی یا مصنوعی (یعنی حوضه چرخش کشتی، تفرجگاه ساحلی، بندرگاه صنعتی یا تالاب). از سه محیط ساحلی، زمین‌هایی با بستر صخره‌ای برای ساخت آبگیرهای واقع در ساحل مناسب‌ترین مورد می‌باشد. عوامل اصلی مرتبط با امکان‌سنجی و کیفیت آب چنین آبگیرهایی عبارتند از: رژیم وزش باد ، تغییرات سطح آب، رژیم جزر و مد، عمق‌سنجی و جریان‌های ساحلی.

۱-۳-۲- آبگیرهای سطحی دور از ساحل

آبگیرهای سطحی دور از ساحل متداولترین نوع آبگیر ساخته شده برای سامانه‌های متوسط و بزرگ نمک‌زدایی آب دریا در سراسر جهان می‌باشد. این سیستم‌های انتقال آب سطحی شامل اجزای اصلی زیر است: ساختمان آبگیر دور از ساحل (ساختار ورودی دارای سرپوش کاهنده سرعت می‌باشد)، یک یا چند خط لوله انتقال یا تونل آبگیر، یک ساختمان آبگیر واقع در ساحل، آشغالگیر ریز، ایستگاه پمپاژ، تجهیزات الکتریکی، تجهیزات کنترلی و تجهیزات تزریق مواد شیمیایی.

معمولا ساختار آبگیر دور از ساحل، در چند صد تا چند هزار متر فاصله از ساحل واقع شده است. بهترین مکان ساختمان آبگیر دور از ساحل از نظر کیفیت آب در اعماق ۲۰ متر (٦٦ فوت) یا بیشتر (آبگیر عمیق) می‌باشد. به دلیل هزینه‌های بالای سازه‌های آبگیر عمیق و خطوط لوله طولانی، بسیاری از سامانه‌های نمک‌زدایی SWRO با آبگیرهای دور از ساحل، در مناطقی کم عمق در نزدیکی ساحل واقع شده‌اند. جاییکه عمق کف اقیانوس به طور معمول بین ۴ تا ۸ متر (۱۳-۲٦ فوت) است؛ چنین آبگیرهایی بعنوان آبگیرهای آب کم عمق شناخته می‌شوند.

---

۱. به حالتی که در آن موجودات دریایی بر روی فیلتر آبگیر محبوس شده و امکان حرکت ندارند.

۲. به حالتی که در آن موجودات دریایی از منفذ فیلتر عبور کرده و وارد تاسیسات می‌شوند.

۱-۳-۳- آبگیرهای مجاور نیروگاه

آبگیرهای سامانه نمک‌زدایی در مجاورت نیروگاه، به طور مستقیم به محل تخلیه نیروگاه ساحلی مجاور متصل می‌شود. این موضوع، امکان استفاده از آب خنک کننده نیروگاه را هم به عنوان منبع آب خام برای سامانه نمک‌زدایی و هم به عنوان آب اختلاطی برای کاهش شوری آب کنسانتره سامانه نمک‌زدایی قبل از تخلیه به اقیانوس ایجاد می‌کند. در نیروگاه‌های ساحلی، آب دریا وارد تأسیسات آبگیر نیروگاه می‌شود و پس از آشغالگیری از طریق کندانسورهای نیروگاه پمپ می‌شود تا خنک شود و از این طریق اتلاف حرارتی حاصل از فرآیند تولید برق را از بین ببرد. آب خنک تخلیه شده از کندانسورها به طور معمول ۵-۱۵ درجه سانتیگراد از آب منبع گرمتر است و معمولاً از طریق یک دهانه تخلیه جداگانه به اقیانوس منتقل می‌شود. پس از فرآیند پیش‌تصفیه سامانه نمک‌زدایی، آب در سیستم نمک‌زدایی غشای RO تصفیه می‌شود و دو جریان مهم زیر را تولید می‌کند: ۱- آب تصفیه شده که برای تامین آب آشامیدنی منتقل می‌شود و ۲- آب کنسانتره، که شوری آن معمولا دو برابر بیشتر از آب دریا می‌باشد. یک سامانه نمک‌زدایی که آبگیر آن به دهانه تخلیه نیروگاه متصل است، معمولاً احتیاج به احداث ساختمان جداگانه آبگیر، خط لوله و امکانات آشغالگیری (آشغالگیرهای میله‌ای و آشغالگیر ریز) جداگانه ندارد. از آنجا که هزینه ساخت و ساز ساختمان جدید آبگیر آب سطحی و دهانه تخلیه برای یک سامانه نمک‌زدایی به طور معمول ۲۰-۳۰٪ از کل هزینه ساخت سامانه است، وجود نیروگاه در مجاور آبگیر می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه ساخت و ساز فراهم آورد. به اشتراک گذاشتن زیرساخت‌های آبگیر نیز دارای مزایای زیست محیطی است زیرا از ساخت و سازهای جدید در منطقه آب‌های سطحی در نزدیکی سامانه نمک‌زدایی جلوگیری می‌کند. یکی دیگر از مزایای بارز وجود نیروگاه در مجاورت سامانه نمک‌زدایی، کاهش میزان به دام انداختن موجودات دریایی در مقایسه با ساخت و ساز جداگانه آبگیر سطحی است.

۱-۳-۴- انتخاب نوع آبگیر سطحی

مزیت مهم آبگیرهای ساحلی، این است که معمولاً کم هزینه‌ترین نوع آبگیر، به خصوص برای سامانه‌های بزرگ نمک‌زدایی هستند. چنین آبگیرهایی به طور معمول بدترین کیفیت آب را دارند زیرا اغلب برای جمع‌آوری آب از کل عمق طراحی می‌شوند و به دلیل اینکه در منطقه‌ای واقع شده‌اند که موج های شکننده بطور مداوم ذرات را از پایین به حالت تعلیق بالا می آورد، به صورت قابل توجهی کدورت آب در مقایسه با آبگیرهای عمیق‌تر بیشتر است. به این دلیل که آبگیرهای سطحی واقع در ساحل معمولاً کیفیت آب بدتری نسبت به آبگیرهای دور از ساحل دارند، سامانه‌های نمک‌زدایی با چنین آبگیرهایی دارای سیستم پیش‌تصفیه پیچیده چند مرحله‌ای هستند. با توجه به کیفیت پایین آب خام، آبگیرهای سطحی واقع در ساحل برای سامانه نمک‌زدایی RO مناسب نیست مگر اینکه محل سایت یا هزینه‌های خاص، نیاز به استفاده از این نوع آبگیر را اجباری کند. آبگیرهای واقع در ساحل اغلب گزینه اصلی برای سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی می‌باشد.

۱-۳-۵- ملاحظات امکان‌سنجی برای آبگیرهای سطحی

موارد بررسی	توضیحات
موقعیت مکانی و بافت زمین‌شناسی محل احداث آبگیر	عوامل اصلی تعیین‌کننده انتخاب محل آبگیرهای سطحی عبارتند از: پتانسیل فرسایش ساحل در منطقه آبگیری، محل و جهت جریان‌های آب زیرزمینی، حضور و محل گسل‌های لرزه‌ای فعال، توپوگرافی و زمین شناسی کف بدنه آبی، محل زیستگاه‌های حساس محیط‌زیستی در طول مسیر لوله آبگیر و در نزدیکی ورودی آبگیر، محل و اندازه دفع فاضلاب شهری و صنعتی در شعاع ۱ کیلومتری (۰/۶ مایل) از آبگیر، اندازه موج و عمق تأثیر موج، ترافیک کشتی و قایق، جزر و مد و ویژگی‌های باد در منطقه آبگیر. نوسانات روزانه و فصلی کیفیت آب منبع نیز باید هنگام تعیین محل ساختار آبگیر در نظر گرفته شود. در حداقل شرایط جزر و مد، دهانه ورودی باید حداقل ۳ متر (۱۰ فوت) زیر سطح آب فرو رود. علاوه بر این ، فاصله بین دهانه ورودی و کف اقیانوس نباید از ۳ متر (۱۰ فوت) کمتر باشد تا از حمل بیش از حد شن و ماسه به داخل تاسیسات پایین دست جلوگیری شود.
آشغالگیرهای ورودی	آشغالگیرهای ورودی معمولاً آشغالگیرهای میله ای درشت با فاصله بین میله های ۵۰-۳۰۰ میلی متر (۲ تا ۱۲ اینچ) می‌باشند. طول میله‌ها معمولاً بین ۱/۰ تا ۳/۰ متر (۳/۳-۹/۹ فوت) بوده و بر اساس حداکثر فاصله انتخاب شده بین درپوش(cap) کاهش سرعت در آشغالگیر و سطح آب تعیین می‌شود. حداکثر سرعت طراحی آشغالگیر بستگی به میزان حضور عروس دریایی(jellyfish) در آب منبع متفاوت است و معمولاً در محدوده ۰/۱۰-۰/۱۵ m/s می‌باشد.
مصالح آبگیر	آشغالگیرها و سازه آبگیر معمولاً از مصالح مقاوم در برابر خوردگی مانند آلیاژ نیکل مس، بتن یا فولاد ضد زنگ ساخته شده‌اند. میله‌های آشغالگیر یا از استیل ضد زنگ Cu / Ni ۹۰/۱۰ ساخته شده‌اند و یا برای ساختن آنها از استیل ضد زنگ دولایه برای آب دریا و استیل ضد زنگ تک‌لایه برای آبگیر آب لب شور استفاده می‌کنند.

۱-۳-۶- ملاحظات امکان‌سنجی برای آبگیرهای مجاور نیروگاه

برای اینکه این نوع آبگیرها مقرون به صرفه بوده و امکان اجرای آن وجود داشته باشد، جریان تخلیه آب خنک‌کننده نیروگاه باید از ظرفیت سامانه نمک‌زدایی بیشتر باشد و محل دهانه خروجی نیروگاه باید محلی در نظر گرفته شود که انتقال و بازچرخش آب کنسانتره در داخل آبگیر سامانه نمک‌زدایی اتفاق نیفتد. تأثیر عملیات نیروگاه بر روی کیفیت آب خنک‌کننده می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد زیرا این آب تخلیه شده به عنوان آب خام برای سامانه نمک‌زدایی استفاده می‌شود. یکی دیگر از مشکلات احتمالی محل آشغالگیر آبگیر نیروگاه است. در اکثر نیروگاه‌ها ضایعات آشغالگیری از آب خنک‌کننده آبگیر حذف شده و خارج از سایت دفع می‌شود. اما اگر این کار در نیروگاه انجام نشود، تأثیر بسزایی در فرآیند پیش‌تصفیه سامانه نمک‌زدایی دارد، که البته دارای راه‌حل-های نسبتاً ساده ای است: ۱- نصب تاسیسات آشغالگیر جداگانه برای سامانه نمک‌زدایی یا ۲- انتقال محل آشغالگیری آب نیروگاه به پایین دست آبگیر سامانه نمک‌زدایی.

۱-۳-۷- آبگیرهای سطحی - اثرات زیست محیطی

استفاده از آبگیر سطحی برای جمع‌آوری آب شور برای سامانه نمک‌زدایی منجر به انتقال برخی از موجودات آبزی (WRA ، 2011) در مقایسه با آبگیرهای زیرسطحی می‌شود. همچنین ممکن است برخی از موجودات آبزی به تأسیسات آشغالگیری برخورد کنند. اگر سرعت آب در آبگیر کمتر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه (۰/۵ fps) باشد، اثرات محبوس شدن و عبور کردن موجودات آبزی به آبگیرهای سطحی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد.

ارزیابی گزینه‌های آبگیر برای واحدهای SWRO

	چکیده‌ی گزینه‌های آبگیر				
	چاه‌های عمودی	گالری نفوذ	آبهای آزاد، با آشغالگیرهای ثابت دور از ساحل	آبهای آزاد با سرپوش سرعت، آشغالگیرهای مکانیکی ساحلی	خط ساحلی متعارف با آشغالگیرهای مکانیکی
امکان‌پذیری	محدود شده با توجه به زمین‌شناسی محلی	محدود شده با توجه به بررسی آب‌های زیرزمینی، شرایط دریایی دور از ساحل	متوسط-زیاد	زیاد	زیاد
کیفیت آب تولیدشده مناسب شرب	زیاد	زیاد	متوسط-زیاد	متوسط	کم
تاثیرات محیط‌زیستی	محبوس نشدن، عبور کردن	محبوس نشدن، عبور کردن، اما دارای تاثیراتی بر روی ساخت و ساز	محبوس نشدن، عبور کردن کم	محبوس شدن کم، عبور کردن متوسط	محبوس شدن و عبور کردن
انعطاف پذیری	کم، محدودیت‌های مکانی ممکن است باعث محدود شدن افزایش چاه‌ها گردد	کم	محدودیت‌های تولید با افزایش آشغالگیرها جبران می‌شود	متوسط	متوسط
قابلیت اطمینان	چاه‌ها را می‌توان احیا کرد و یا چاه‌های جدیدی افزود	پیش‌بینی دشوار، پاکسازی ممکن است تا حد اندکی مؤثر باشد	می‌توان بر plugging نظارت کرد و پاکسازی مؤثر است	می‌توان بر plugging نظارت کرد و پاکسازی مؤثر است	می‌توان بر plugging نظارت کرد و پاکسازی مؤثر است
تحمل نامنظمی‌های بهره‌برداری	کم	کم	آسیب پذیری متوسط در برابر حملات عروس‌های دریایی، شکوفه‌های جلبکی	آسیب پذیری متوسط نسبت به شکوفه‌های جلبکی	آسیب پذیری متوسط تا زیاد نسبت به حملات عروس‌های دریایی، شکوفه‌های جلبکی
نگهداری و تعمیرات	کم	در صورت نیاز، می‌تواند قابل توجه باشد	خط لوله Pig دوبار در سال، پاکسازی و بازرسی آشغالگیرها هر سه ماه یکبار	خط لوله Pig، دوبار در سال، تعمیر آشغالگیرها در صورت نیاز	تعمیر آشغالگیرها در صورت نیاز
خطر ساخت و ساز	متوسط	زیاد	کم - متوسط	کم - متوسط	کم
هزینه‌ی نسبی سرمایه‌گذاری	کم-متوسط	زیاد	متوسط - زیاد	متوسط - زیاد	متوسط

دسته‌بندی‌های ریخت‌شناسی زمین و امکان‌سنجی احداث انواع چاه در آن‌ها (از دعواه و همکاران (۲۰۱۴) مرتبط با خط ساحلی دریای سرخ عربستان و فلوریدا)

A. سواحل ماسه‌ای
A1. خط ساحل ماسه‌ای با ماسه نزدیک به ساحل یا ماسه اندکی گلی، مجموعه‌ی تپه‌های مرجانی دور از ساحل A2. خط سواحل ماسه‌ای، محدود، با هیچ تپه‌ای A3. جزیره‌ی دور از ساحل با رسوبات ماسه‌ای و تپه‌های نزدیک به ساحل A4. سواحل پرانرژی (نفوذپذیری بالا) A5. سواحل انرژی متوسط (نفوذپذیری متوسط) A6. سواحل کم انرژی (نفوذپذیری کم)
B. خطوط ساحلی سنگی
B1. خط ساحلی سنگی دارای سنگ آهک با ماسه نزدیک به ساحل، و مجموعه تپه‌های مرجانی دور از ساحل B2. خط ساحلی سنگی دارای سنگ آهک با رسوبات گلی نزدیک به ساحل B3. خط ساحلی سنگی دارای سنگ آهک، آب عمیق در نزدیکی ساحل، بدون تپه B4. دماغه‌ی سنگی با بستر سنگی دور از ساحل، بدون تپه B5. خط ساحلی سنگی، رسوبات wadi[1] در نزدیکی ساحل، تپه‌های دور از ساحل B6. صخره‌های سنگ آهکی
C. تلاقی‌های wadi
C1. رسوبات wadi (گردالهها[2]، سنگریزه و شن) در خط ساحلی، ماسه، شن و گل دور از ساحل بدون تپه C2. رسوبات خط ساحلی wadi، زمین سخت دریایی نزدیک به ساحل، ماسه ریز نزدیک به ساحل، تپه مرجانی دور از ساحل
D. هور، تالاب و مرداب
D1. خط ساحلی دارای هور و رسوبات گلی در نزدیکی ساحل D2. خط ساحلی گلی با رسوبات گلی تالاب، ماسه نزدیک به ساحل و مجموعه تپه‌های دور از ساحل D3. خط ساحلی گِلی/تالاب/هور supratidal بدون مجموعه تپه D4. خط ساحلی مرداب با رسوبات گلی نزدیک به ساحل
E. فلات کم عمق با تپه‌های کناره‌ای
E1. ساحل کم انرژی محدود E2. مرداب گلی محدود و باتلاق‌های مردابی
F. گلی و یا ترکیب گل و ماسه
F1. خطوط ساحلی باتلاقی/دلتایی F2. خطوط ساحلی مردابی F3. باتلاق‌های ساحلی
G. تلاقی‌های رودخانه یا کانال
G1. تلاقی‌های رودخانه G2. تلاقی‌های دهانه ی ورودی طبیعی G3. تلاقی‌های کانال مصنوعی
H. موارد دیگر
H1. مجموعه تپه‌ها در خط ساحلی در کنار دریای عمیق در منطقه‌ی بدون تپه نزدیک به ساحل H2. کانال‌های مصنوعی یا خط ساحلی شهری که به شکل مصنوعی انباشته شده و در کنار دریا عمیق قرار دارد. H3. کانال طبیعی

۱. آبراهه‌ای که به جز در فصول پرباران، خشک باشد.

2. boulder

همبستگی بین زمین‌شناسی ساحلی و امکان‌پذیری استفاده از آبگیرهای زیرسطحی گوناگون در امتداد خط ساحلی

نوع آبگیر	سامانه‌ی آبگیر زیرسطحی							
چاه/دالان	سامانه چاه						سامانه دالان	
نوع زمین شناسی ساحل	عمودی (عمیق)	عمودی (کم‌عمق)	عمودی	افقی	شعاعی (کلکتور)	زاویه‌ای	دالان ساحلی	دالان بستر دریا
A. سواحل ماسه‌ای								
A1	–	--	(b) ۱	۲	(b)۲	(b)۲	(d)۱	(d)۱
A2	–	–	(a)۱	۳	(b)۲	(a)۲	۴	(c)۱
A3	–	–	(a)۱	۲	(b)۲	(b)۲	(d)۱	(d)۱
A4	(c–a) ۱	(b،a)۱	–	۲	(c،b)۱	(c،b)۱	(d)۱	۳ ،(d–b)۱
A5	(b،a)۱	(b،a)۱	–	(c–a)۱	(c–a)۱	(b،a)۱	(c–a)۱	(d–a)۱
A6	(b،a)۱	۳	–	۴	۳	(c،b)۱	(d–b)۱	(d–b)۱
B. خطوط ساحلی سنگی								
B1	–	–	(b)۱	۲	(b)۱	(c)۱	(c)۱	(d)۱
B2	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	(c)۲
B3	–	–	۴	۴	۴	۳	۴	۴
B4	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
B5	–	–	(a)۱	۳	(b)۲	(a)۲	(c)۲	(c)۲
B6	(d–b)۱	(b،a)۱	–	۴	(d–b)۱	۳	۴	۳
C. تلاقی‌های Wadi								
C1	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
C2	–	–	(b)۱	۳	(c)۲	(b)۲	(c)۲	(c)۲
D. تالاب، هورها و مرداب								
D1	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
D2	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
D3	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
D4	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
E. فلات کم‌عمق با تپه‌های کناره‌ای								
E1	(a)۱	(b،a)۱	–	۲	(c)۱	۳	۴	(c–a)۱
E2	۴	۴	–	۴	۴	۴	۴	۴
F. گلی و یا ترکیب گل و ماسه								
F1	۴	۴	–	۴	۴	۴	۴	۴
F2	۴	۴	–	۴	۴	۴	۴	۴
F3	۱ (b ،a)[الف]	۴	–	۴	۴	(b ،a)۱[الف]	۴	۴
G. تلاقی‌های رودخانه یا کانال								
G1	۴	۴	–	۴	۴	۴	۴	۴
G2	۴	۴	–	۴	۴	۴	۴	۴
G3	۴	۴	–	۴	۴	۴	۴	۴
H. موارد دیگر								
H1	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
H2	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴
H3	–	–	۴	۴	۴	۴	۴	۴

ضریب امکان‌پذیری: ۱ قطعی، ۲ ممکن، ۳ قابل تردید، ۴ غیر ممکن

ظرفیت برآورد شده (متر مکعب در روز): (a) ظرفیت <۲۰،۰۰۰، (b) ۲۰،۰۰۰-۵۰،۰۰۰، (c) ۵۰،۰۰۰ تا ۱۰۰،۰۰۰ (d) نامحدود

[الف] در نقاطی که آبخوان زیرزمینی شامل نفوذپذیری بالا و آب دریا است.

بخش دوم: انواع رسوبات غشا و پیش‌تصفیه آنها

۲-۱- مقدمه:

آب شور توسط آبگیرهای زیرسطحی و آبگیرهای سطحی جمع‌آوری می‌شود. آبگیرهای زیرسطحی بصورت طبیعی پیش آشغالگیری و پیش فیلتراسیون را انجام داده و به موجب آن آشغال‌های درشت و ماسه‌ها و ذرات کلوئیدی آب حذف می‌شود. آبگیرهای سطحی نیز تجهیزاتی مانند آشغالگیرهای میله‌ای، آشغالگیرهای متحرک ریز یا استرینرها جهت پیش آشغالگیری آشغال‌های بزرگ، مواد شناور، موجودات آبزی بزرگ، ماسه‌های درشت، و مواد رشته‌ای دارا هستند. پس از آشغالگیری اولیه توسط تجهیزات آبگیر، آب شور معمولا دارای ۵ گروه اصلی زیر از ترکیباتی می‌باشد که مسبب گرفتگی غشا RO می‌باشند و بنابراین نیازمند حذف از طریق سیستم پیش‌تصفیه هستند.

عوامل گرفتگی	توضیح
گرفتگی ذره‌ای	عمدتا جامدات معلق و سیلت می‌باشند.
گرفتگی کلوییدی	ترکیباتی با اندازه نسبتا کوچک(۰/۲ µm-۱) که به شکل کاملا محلول نیستند (عمدتا موادی مانند رس).
گرفتگی مواد معدنی	ترکیبات غیرآلی(نمک‌های کلسیم، منیزیم، باریوم، و استرانسیوم) که سبب ترسیب و Scaling (کربنات کلسیم، سولفات و هیدروکسید منیزیم) یا انسداد غشا (مانند آهن و منگنز) می‌شود.
گرفتگی آلی طبیعی	مواد آلی طبیعی(NOM) که می‌تواند به غشا بچسبد و سبب گرفتگی غشا شود.
گرفتگی بیولوژیکی	میکروارگانیسم‌ها سبب تشکیل رسوب بیوفیلم می‌شوند که سبب کاهش انتقال آب از میان غشا می‌شود.

۲-۲- گرفتگی ذره‌ای:

تعریف: گرفتگی ذره‌ای شامل ذرات آلی و غیرآلی موجود در آب خام مانند آشغال‌های ریز، پلانکتون‌ها، ذرات و سیلت می‌باشد. جامدات معلق که نامحلول می‌باشند، در صورت عدم حذف توسط پیش‌تصفیه، پس از تجمع در سطح غشا سبب کاهش بهره‌وری غشا می‌شوند. این نوع ذرات بطور موثر توسط پیش فیلتراسیون حذف می‌گردند. در شرایط طراحی مطلوب سیستم پیش‌تصفیه، آب خوراک تولید شده ذرات بزرگتر از ۲۰ میکرومتر ندارد. در عین حال ذرات کوچکتر از ۰/۱ میکرومتر، برای سیستم پیش‌تصفیه بسیار چالش‌زا می‌باشند.

۲-۲-۱- روش‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری:

روش اندازه‌گیری	توضیحات
کدورت	کدورت یکی از پارامترهای کیفی آب است که نشان دهنده ذرات جامد معلق موجود در آب می‌باشد طبق توصیه مراجع بین‌المللی، برای جلوگیری از گرفتگی ذره‌ای غشای RO، مطلوب است کدورت آب خوراک غشای RO کمتر از NTU ۰/۱ باشد. کدورت پارامتر کمی مناسبی جهت توصیف پتانسیل آب برای ایجاد گرفتگی ذره‌ای یا دیگر عوامل گرفتگی غشا RO پایین دست نمی‌باشد و اطلاعات مربوط به نوع و اندازه ذرات آب خام را ارائه نمی‌دهد. گرچه اعداد مندرج در استانداردهای ملی متفاوت می باشد.
شاخص تراکم سیلت(SDI)- نحوه اندازه‌گیری این پارامتر به تفصیل در فصل ۸ توضیح داده شده است.	▪ این پارامتر نشانه‌ای از پتانسیل گرفتگی ذره‌ای آب خام می‌باشد. SDI نشانگر میزان کاهش شار گذرنده از فیلتر با اندازه و قطر استاندارد در فشار ثابت برای یک دوره زمانی معین می‌باشد. ▪ زمان استاندارد بین اندازه‌گیری‌های اول و دوم برای آزمایش SDI آب فیلتر شده (پیش‌تصفیه شده) ۱۵ دقیقه می‌باشد، این آزمایش به طور معمول به مدت ۵ یا ۱۰ دقیقه روی منبع آب تصفیه نشده بسته به غلظت جامدات انجام می‌شود. بر اساس فرمول SDI، حداکثر مقدار SDI_{15} ، ۶/۷ می‌باشد. این شرایط اگر زمان جمع‌آوری ۵۰۰ میلی‌لیتر پس از ۱۵ دقیقه از فیلتراسیون نامحدود باشد، رخ می‌دهد. ▪ معمولا، آب خام با SDI کمتر از ۴ پتانسیل گرفتگی ذره‌ای غشا را دارد. SDI_{15} آب خوراک در محدوده ۲-۴ نشان دهنده سیستم پیش‌تصفیه مطلوب می‌باشد و اگر سیستم پیش‌تصفیه در همه زمان‌ها، آبی با SDI_{15} کمتر از ۳ تولید کند، دارای راندمان مناسب برای حذف ذرات می‌باشد. آب خام با SDI_{15} کمتر از ۲ دارای پتانسیل گرفتگی ذره‌ای بسیار کمی بوده و به احتمال زیاد نیاز به نظافت غشای RO بیشتر از یکبار در هر ۶ ماه نیست (استاندارد نظافت غشای RO هر ۳-۴ ماه یک بار است.). آب خام با SDI_{15} کمتر از ۱، معمولا باعث رشد کمی در گرفتگی و DP[1] می‌شود و بدین ترتیب فواصل نظافت غشای RO، ۲۱ ماه یا بیشتر می شود. ▪ به منظور حفظ ضمانت عملکرد غشا، SDI_{15} آب خوراک باید کمتر از ۵ در هر تست و کمتر از ۴ در حداقل ۹۵٪ از دفعات آزمایش باشد. اگر SDI_{15} آب خوراک بالاتر از ۵ باشد، بدین معنا است که این آب دارای محتوای رسوبات ذره‌ای بسیار زیادی است و بنابراین به طور مستقیم برای نمک‌زدایی مناسب نمی‌باشد. برای آب دریا با SDI_{15} بالاتر از۵، اغلب تکمیل آزمایش SDI در فواصل کوتاه‌تر(۵، ۱۰، ۲/۵ دقیقه) مفید می‌باشد. ▪ رنگ و ظاهر پدهای SDI نیز حاکی از محتوای انواع رسوبات موجود در آب منبع و اثربخشی سیستم پیش‌تصفیه می‌باشد.
کل جامدات معلق(TSS)	غلظت کل جامدات معلق (TSS) معیار اندازه‌گیری وزن کل باقیمانده جامد موجود در آب است. این پارامتر معمولا اندازه بسیار دقیقتری از محتوای جامدات ذره‌ای واقعی در آب در مقایسه با کدورت فراهم می‌کند زیرا نشان دهنده وزن حقیقی کل ذرات موجود در نمونه است. بطور معمول، افزایش نسبت کل جامدات معلق به کدورت نشانگر تغییر جامدات ذره‌ای به سمت ذرات با اندازه کوچک‌تر می‌باشد. به عنوان مثال در طول شکوفایی غیر جلبکی، میزان این نسبت از یک نمونه پردازش شده مناسب معمولا محدوده ۱/۵-۲/۵ می‌باشد، یعنی آب با کدورت NTU ۲ غلظت TSS ۳-۱۵ mg/l را دارد. در طول شکوفایی زیاد جلبکی توسط جلبک‌های با اندازه ریز، TSS آب منبع می‌تواند بیش از ۱۰ برابر (یعنی ۱۴۰mg/l) افزایش یابد در حالیکه کدورت آب منبع می‌تواند تنها ۲ تا ۳ برابر شود.
نحوه توزیع ذرات	ذراتی با اندازه‌های کوچکتر از ۱ میکرومتر به مقدار ناچیزی توسط فیلتراسیون متعارف با بستر گرانولی و زلال‌سازی DAF[2] (سیستم شناورسازی با هوای محلول) (این سیستم در فصل چهارم - فرآیندهای پیش‌تصفیه - توضیح داده خواهد شد.) حذف می‌شوند. معمولا، سیستم پیش‌تصفیه هنگامی بخوبی عمل می‌کند که ذرات آب پیش‌تصفیه حاوی کمتر از ۱۰۰ ذره در هر میلیمتر برابر یا کوچکتر از ۲ میکرومتر بوده و حاوی ذرات با اندازه بزرگتر نباشد.

1. Differential pressure
2. Dissolved air floatation

۲-۲-۲- سطح آستانه رسوبات ذره‌ای:

پارامترهای کیفی آب برای پیش‌بینی پتانسیل گرفتگی ذره‌ای

پارامتر کیفی آب خوراک	مسائل پیش‌تصفیه و ملاحظات
کدورت (NTU)	- بالاتر از ۰/۱ NTU نشان‌دهنده‌ی پتانسیل بالای گرفتگی می‌باشد. - نمونه‌های بالاتر از ۵۰ NTU به مدت بیش‌تر از ۱ ساعت نیازمند ته‌نشینی یا پیش‌تصفیه DAF (سیستم شناورسازی با هوای محلول) قبل از فیلتراسیون هستند.
شاخص SDI_{15}	- سطح SDI_{15} آب دریا به طور مداوم زیر ۲ (در طول سال) نشان می‌دهد که هیچگونه پیش‌تصفیه‌ای نیاز نمی‌باشد. SDI_{15} بیش از ۴، پیش‌تصفیه ضروری می‌باشد.
کل جامدات معلق(mg/l)	- این پارامتر برای ارزیابی میزان مواد باقیمانده در طول پیش‌تصفیه نیاز میباشد. TSS - هنگامی که کدورت بیش از ۵ NTU باشد، با آن همبستگی ندارد.

۲-۳- گرفتگی کلوییدی

تعریف: عامل گرفتگی کلوییدی ترکیبات آلی و غیرآلی هستند که بصورت طبیعی در حالت معلق می‌باشند و ممکن است بر روی سطح غشا RO رسوب کنند و از این طریق سبب کاهش شار غشا با گذشت زمان شوند. اندازه ذرات جامدات کلوییدی ۱-۰/۰۰۱ میکرومتر می‌باشد. جهت جلوگیری از گرفتگی کلوییدی، تولیدکنندگان غشای RO، معمولا کدورت آب ورودی به سیستم RO را کمتر از ۰/۱ NTU و SDI_{15} را کمتر از ۴ پیشنهاد می‌کنند.

انواع رسوبات کلوییدی	توضیح
آهن و منگنز	اگر مقدار آهن و منگنز به ترتیب ۱ و ۰/۱ mg/l باشد، می‌توان آنها را توسط غشاهای RO بدون ایجاد گرفتگی حذف کرد. اگر آهن و منگنز به حالت اکسید شده باشند، برای جلوگیری از گرفتگی معدنی غشاها (Scaling)، باید به ترتیب به کمتر از ۰/۰۲-۰/۰۵ mg/l کاهش یابند. اگر آب خام حاوی کلر باشد، آهن کلوئیدی نقش کاتالیزور را در فرآیند اکسیداسیون کلر ایفا می‌کند و باعث افزایش آسیب به غشاهای RO حتی در مواردی که کلر باقیمانده در آب خام شور کم باشد، نیز می‌شود (به عنوان مثال، کمتر از ۰/۰۵ mg/l).
سیلیکا	سیلیکای کل (دی‌اکسید سیلیکون) در آب خام شامل سیلیکای فعال در شکل محلول و سیلیکای غیرفعال در شکل کلوییدی می‌باشد. سیلیس کلوییدی در آب شور می‌تواند سبب گرفتگی غشایی قابل توجهی شود. سیلیس غیرفعال تنها در صورتیکه سطح آن از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش یابد چالش برانگیز می‌گردد. عوامل گرفتگی کلوییدی می‌توانند توسط انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی و فیلتراسیون، همانند عوامل گرفتگی ذره‌ای حذف شوند.
پلیمرها	استفاده بیش از حد و یا اختلاط ناقص مواد پلیمری در انعقاد و لخته‌سازی آب شور قبل از زلال‌سازی یا فیلتراسیون و افزودن آن‌ها و منعقدکننده‌ها به آبهای شور با کدورت پایین، معمولا گرفتگی ذره‌ای و کلوییدی بر روی غشاهای RO را تسریع می‌کند.
هیدروکربن‌ها	هیدروکربن‌ها سبب تسریع گرفتگی غشای RO می‌شوند. بنابراین، مطلوب است که مقدار کل هیدروکربن‌ها(THC) در منبع آب خوراک RO کمتر از ۰/۰۲ mg/l حفظ شود. به جز زلال‌سازی DAF (سیستم شناورسازی با هوای محلول)، که توانایی کاهش THC را به کمتر از ۹۵٪ از سطح آب خام داراست، سایر سیستم‌های پیش‌تصفیه سبب حذف بسیار محدودی(۱۵٪-۵٪) از هیدروکربن‌ها می‌شوند.

۲-۳-۱- روش‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری

سیلیس، آهن کلوئیدی و منگنز توسط آزمایشگاه‌های استاندارد (APHA ، 2012) اندازه‌گیری می‌شوند. همچنین پارامترهای روغن و گریس و THC به عنوان پارامترهای اندازه‌گیری میزان هیدروکربن‌های موجود در منبع آب شور با استفاده از آنالیزور پایش آنلاین و یا روش‌های آزمایشگاهی تعیین می‌گردند.

۲-۳-۲- سطح آستانه گرفتگی کلوییدی

پارامترهای کیفی آب برای پیش‌بینی پتانسیل گرفتگی کلوییدی

پارامتر کیفیت آب منبع	مسائل پیش‌تصفیه و ملاحظات
آهن	▪ اگر آهن به شکل احیا شده باشد، غشاهای RO می‌توانند تا ۲/۰ میلی‌گرم در لیتر را تحمل کنند. ▪ اگر آهن به شکل اکسید شده باشد، غلظت آهن بیشتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر باعث تسریع در گرفتگی می‌گردد.
منگنز	▪ اگر منگنز به شکل احیا شده باشد، غشاهای RO میتوانند تا ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر را تحمل کنند. ▪ اگر منگنز به شکل اکسیده شده باشد، غلظت منگنز بیشتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر باعث تسریع در گرفتگی می‌گردد.
سیلیکا	غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر در آب کنسانتره ممکن است باعث تسریع در گرفتگی شود.
کل هیدروکربن‌ها	غلظت‌های بالاتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر باعث تسریع در گرفتگی می‌شود.

۲-۴- گرفتگی مواد معدنی (Scaling)

تعریف: تمام مواد معدنی موجود در آب شور در طی فرآیند نمک‌زدایی غشایی تغلیظ می‌شوند. با افزایش غلظت آن‌ها در طی فرآیند نمک‌زدایی، یون‌های کلسیم، منیزیم ،باریم، استرانسیم، سولفات و کربنات نمکی را تشکیل می‌دهند که می‌تواند بر روی سطح غشای RO رسوب کند. مواد معدنی که به طور معمول در هنگام نمک‌زدایی تشکیل می‌شوند، کربنات کلسیم، سولفات کلسیم، سولفات منیزیم، سولفات باریم و سولفات استرانسیم می‌باشند.

عوامل موثر بر پتانسیل گرفتگی مواد معدنی

فاکتور آب منبع	تاثیر بر روی پتانسیل scaling منبع آب	ملاحظات
افزایش غلظت TDS منبع آب	کاهش در پتانسیل scaling	آب دریا معمولا پتانسیل گرفتگی مواد معدنی در pH محیط و دمای کمتر از ۳۵ درجه سانتیگراد در صورتی که ریکاوری تاسیسات غشایی کمتر از ۴۵٪ باشد، ندارد.
افزایش غلظت Ca، Mg، Ba، Sr، Si، F، SO_4، CO_3، HCO_3	افزایش در پتانسیل scaling	$CaCO_3$ اسکالانت متداول در تاسیسات BWRO می‌باشد در حالیکه $CaSO_4$ و $MgSO_4$ اسکالانت متداول در تاسیسات SWRO می‌باشد.
افزایش pH	افزایش در پتانسیل scaling	افزایش pH آب دریا بیش از ۸/۶ باشد سبب افزایش سرعت گرفتگی مواد معدنی میشود.
افزایش دما	افزایش در پتانسیل scaling	زمانیکه دما از ۳۵ درجه سانتیگراد تجاوز کند گرفتگی مواد معدنی به طرز قابل توجهی تسریع می‌گردد.
افزایش ریکاوری سیستم RO	افزایش در پتانسیل scaling	اگر ریکاوری کمتر از ۴۵٪ باشد پتانسیل گرفتگی مواد معدنی کم می‌باشد.

۲-۴-۱- روش‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری

پارامترهایی که معمولاً برای پیش‌بینی پتانسیل منبع آب جهت تعیین گرفتگی معدنی از نوع کربنات کلسیم مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص اشباع لانژلیه (LSI) و شاخص اشباع استیف و دیویس (SDSI) می‌باشد. هر دو شاخص معادلات مرتبط به خود را دارند. شاخص LSI پتانسیل گرفتگی منبع آب را تنها در صورتیکه TDS آن کمتر از ۴۰۰۰ mg/lباشد پیش‌بینی می‌کند. برای منابع آب شور با TDS بالاتر، شاخص SDSI استفاده می‌شود.

۲-۴-۲- سطح آستانه گرفتگی مواد معدنی

سطح آستانه ترکیبات متداول در گرفتگی مواد معدنی

رسوب	حداکثر افزایش در کنسانتره در مقایسه با آب خوراک که احتمال گرفتگی غشای RO می‌باشد.
کربنات کلسیم، به صورت LSI بیان شده است، در منبع آب بدون scaling	+۰/۳
سولفات کلسیم	٪۲۳۰
سولفات استرانسیم	٪۸۰۰
سولفات باریم	٪۶۰۰۰
فلوراید کلسیم	٪۱۲۰۰۰

۲-۵- گرفتگی آلی طبیعی

تعریف: با توجه به منشاء آن‌ها، آب‌های شور می‌توانند حاوی ترکیبات آلی طبیعی یا مصنوعی (انسان‌ساز) و میکروارگانیسم‌های آبزی باشند. بسته به منبع آب، رسوبات غشایی RO به طور معمول به دو گروه مجزا تقسیم می‌شوند: رسوبات مواد آلی طبیعی (NOM) و رسوبات میکروبی (یا رسوبات زیستی). NOMها به طور معمول در آب‌های سطحی شور (آب لب شور یا آب دریا) موجود است و شامل ترکیباتی می‌شوند که با پوسیدگی طبیعی جلبک و سایر گیاهان و جانوران آبزی (به عنوان مثال پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها، روغن‌ها، رنگدانه‌ها (تانن ها) و مواد هومیک و فولیک (اسیدها)) تشکیل می‌شوند. حداکثر NOMها معمولاً در هنگام شکوفایی جلبک‌ها و یا هنگامی که محل آبگیر تاسیسات نمک‌زدایی در نزدیکی محل تلاقی با رودخانه یا یک منبع آب شیرین دیگر و یا در نزدیکی تخلیه تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشد، پدیدار می‌شود. با توجه به مقدار NOM موجود در آب، حذف آن می‌تواند توسط مقادیر بسیار کم (کمتر از ۲ mg/l) از مواد منعقدکننده اتفاق بیفتد و در مقادیر بالا به دوزهای بسیار زیاد از مواد منعقدکننده (بیش از ۲۰ mg/l) جهت حذف موثر نیاز است.

۲-۵-۱- روش‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری

روش	توضیح
کل کربن آلی(TOC)	این پارامتر، نشانگر پتانسیل آب خوراک برای ایجاد گرفتگی آلی طبیعی و گرفتگی بیولوژیکی بر روی غشای RO می‌باشد. بطور معمول، افزایش میزان TOC در آب خوراک، بالاتر از یک آستانه مشخص (۲/۵-۲ میلی‌گرم در لیتر) باعث تسریع در ایجاد گرفتگی بیولوژیکی در غشاهای RO می‌شود.
جذب UV ۲۵۴	یک روش غیرمستقیم برای سنجش NOMها می‌باشد. جذب UV ویژه(SUVA)[1] به صورت میزان جذب UV تقسیم بر غلظت کربن آلی محلول (DOC) در آب منبع می‌باشد. Edzwald و Haarhoff در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که SUVA می‌تواند به عنوان یک شاخص غیرمستقیم از بروز شکوفایی جلبکی در آب منبع مورد استفاده قرار گیرد. اگر SUVA از ۴ بزرگتر باشد، پس NOM به طور عمده از مواد هیومیکی تشکیل شده است و آب خام شرایط شکوفایی جلبکی را نشان نمی‌دهد. اگر SUVA بین ۲ تا ۴ باشد، NOM منبع آب مخلوطی از AOM[2] و مواد هیومیکی است و منبع آب خام، در مراحل اولیه شکوفایی جلبک می‌باشد. هنگامی که SUVA کمتر از ۲ باشد، NOM در آب منبع عمدتاً از AOM تشکیل شده و منبع آب شکوفایی جلبکی را تجربه می‌کند.

۲-۵-۲- سطح آستانه گرفتگی آلی طبیعی

پارامترهای کیفی آب برای پیش‌بینی پتانسیل گرفتگی مواد آلی طبیعی

پارامتر کیفی منبع آب	مسائل پیش‌تصفیه و ملاحظات
TOC(mg/l)	▪ اگر پایین تر از ۰/۵ mg/l باشد گرفتگی بیولوژیکی غیر محتمل می‌باشد. ▪ بیش از ۲ mg/l، گرفتگی بیولوژیکی بسیار محتمل می‌باشد.
$UV_{254}(cm^{-1})$	اگر کمتر از ۰/۵ cm^{-1} باشد، منبع آب شور پتانسیل گرفتگی مواد آلی و بیولوژیکی کمی دارد.
SUVA	▪ اگر بزرگتر از ۴ باشد، پس منبع آب تحت تأثیر مواد هیومیکی قرار دارد و گرفتگی بیولوژیکی بعید می‌باشد. ▪ اگر کوچکتر از ۲ باشد، منبع آب در حال تجربه شکوفایی جلبک بوده و گرفتگی بیولوژیکی محتمل است.

۲-۶- گرفتگی بیولوژیکی

تعریف: گرفتگی بیولوژیکی شامل میکروارگانیسم‌های آبزی و ترکیبات آلی دفع شده توسط آنها مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و لیپیدها که به عنوان مواد پلیمری خارج سلولی (EPS) شناخته می‌شوند، هستند. پدیده تجمع موجودات آبزی و فرآورده‌های متابولیکی آنها (EPS) در سطح غشا به عنوان گرفتگی بیولوژیکی، گرفتگی زیستی یا گرفتگی میکروبی شناخته شده است. بیوفیلمی که روی سطح غشا تشکیل می‌شود، مقاومت اضافی در برابر فشار اسمزی ایجاد می‌کند که به منظور حفظ تولید پایدار آب شیرین، می‌بایست برطرف گردد.

1. Specific UV absorbance
2. Algogenic organic matter

۲-۶-۱- روش‌ها و پارامترهای اندازه‌گیری گرفتگی بیولوژیکی

پارامتر	توضیح
کل کربن آلی(TOC)	غلظت TOC به عنوان شاخص پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی آب شور مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه غلظت TOC منبع آب شور از حد آستانه تجاوز کند (معمولا ۲ میلی‌گرم در لیتر) گرفتگی بیولوژیکی این آب به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد.
نسبت TOC:TN:TP	اگر نسبت‌ها بیش از ۲۰٪ از ۱: ۱: ۱ باشند، پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی منبع آب تا حدی بالا می‌رود که تولید EPS توسط باکتری‌ها را فعال میکند و آلودگی غشای RO را افزایش می‌دهد.
افزایش نرخ اختلاف فشار RO	متداولترین روش اندازه‌گیری مورد استفاده برای میزان گرفتگی بیولوژیکی غشاهایRO، DP سیستم RO می‌باشد (یعنی تفاوت بین فشار خوراک سیستم RO و فشار کنسانتره، DP). معمولاً در تاسیسات نمک‌زدایی، DP بطور مداوم رصد می‌شود. افزایش میزان DP، به ویژه در زمان شکوفایی جلبکی، اغلب نشان دهنده میزان گرفتگی بیولوژیکی غشاها می‌باشد.
کلروفیل a	غلظت کلروفیل a در آب خوراک شاخصی از جلبک‌های سبز در آب می‌باشد. به عنوان یک قانون، منبع آب با کلروفیل a کمتر از ۰/۵ میکروگرم در لیتر از پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی پایینی برخوردار هست و میزان جلبک‌ها نشانگر شرایط شکوفایی غیر جلبکی می‌باشد. در طول شکوفایی شدید جلبکی، میزان کلروفیل a می‌تواند از ۱۰ میکروگرم در لیتر فراتر رود.
تعداد و مشخصات جلبک	تعداد کل جلبک‌ها بصورت تعداد کل سلول‌های جلبکی موجود در ۱ میلی‌لیتر یا ۱ لیتر آب خوراک می‌باشد. تعداد کل جلبک‌ها را می‌توان با ابزارهای دقیق آنلاین یا در محیط آزمایشگاهی اندازه‌گیری کرد. تعداد زیاد جلبک‌ها در آب خوراک دارای سه تأثیر عملکردی مهم است: ۱. کاهش ظرفیت فیلتراسیون سیستم پیش‌تصفیه و کاهش راندمان حذف جامدات به دلیل اضافه بار فیلتر ۲. گرفتگی سریع فیلترهای کارتریج در نتیجه افزایش جامدات ریز (یعنی پیکو- و میکرو جلبک‌ها) در آب منبع و افزایش رشد زیاد آنها بر روی سطح فیلتر ۳. کاهش بهره‌وری و افزایش DP عناصر غشایی RO به دلیل گرفتگی بیولوژیکی. دانستن توزیع اندازه جلبک برای طراحی سیستم پیش‌تصفیه از اهمیت اساسی برخوردار است.

۲-۶-۲- سطح آستانه گرفتگی بیولوژیکی

پارامترهای کیفی آب برای پیش‌بینی پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی

پارامتر کیفیت منبع آب	مسائل پیش‌تصفیه و ملاحظات
کل کربن آلی(TOC)، mg/l	▪ در صورت وجود TOC<۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر، عوامل گرفتگی بیولوژیکی کم است و منبع آب دریا دارای حداقل پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی میباشد. ▪ در محدوده ۲-۰/۵ میلی‌گرم در لیتر، آب پتانسیل گرفتگی متوسطی دارد. اگر TOC > 2.0 میلی‌گرم در لیتر باشد، پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی زیاد است.
نسبت TOC:TN:TP	▪ اگر این نسبت در حدود ۲۰٪ از ۱: ۱: ۱ باشد، آب از پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی کمی برخوردار است. ▪ هر یک از نسبت‌های بیش از ۱:۲:۱ نشانه ای از منبع آب خام با عدم تعادل مواد مغذی و پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی زیاد است.
افزایش نرخ اختلاف فشار(DP) RO	▪ اگر DP کمتر از ۰/۱ بار در ماه افزایش یابد، آب منبع پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی بسیار پایینی دارد. ▪ اگر افزایش DP برابر ۰/۴-۰/۱ بار در ماه باشد، آب از پتانسیل گرفتگی متوسط برخوردار است. ▪ اگر میزان DP بیش از ۱ بار در ماه افزایش یابد، منبع آب پتانسیل گرفتگی بالایی دارد.
کلروفیل a	▪ این پارامتر شاخصی از وقوع شکوفایی جلبکی می‌باشد. ▪ اگر آب حاوی کمتر از ۰/۵ µg/l کلروفیل a باشد، منبع آب در شرایط شروع شکوفایی جلبکی می‌باشد. ▪ زمان وقوع شکوفایی جلبکی سنگین، کلروفیل a معمولا به بیش از 4 µg/l افزایش می‌یابد.

آستانه‌ی شمارش جلبکی معمول برای توصیف شدت شکوفایی جلبکی و پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی

تعداد جلبک کل، سلول/ لیتر	شدت شکوفایی جلبکی	پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی منبع آب شور
<۱۰۰۰۰	شرایط غیر شکوفایی جلبکی	حداقل
۱۰۰۰۰-۲۰۰۰۰	شدت پایین شکوفایی جلبکی	کم
۲۰۰۰۰-۴۰۰۰۰	شکوفایی جلبکی متوسط	متوسط
۴۰۰۰۰-۶۰۰۰۰	شکوفایی جلبکی زیاد	زیاد
>۶۰۰۰۰	شکوفایی جلبکی شدید	خیلی زیاد

۲-۷- جمع‌بندی

راهنمای کلی آب مورد پذیرش برای ورودی به سیستم‌های RO و آب‌های تغلیظ شده

پارامتر	واحد	مقادیر راهنما
ذرات و کلوئیدها	SDI	۵ >
کدورت	NTU	۰,۳
کربنات کلسیم	LSI	۰ >
فلزات: آهن، منگنز، آلومینیوم	ppm	۰/۰۵ >
باریم، استرانسیم	ppm	۰/۰۵ >
سولفید هیدروژن	ppm	۰/۱ >
میکروب‌ها	CFU/ml	۱۰۰۰ >
سیلیکا(محلول)	ppm	۱۴۰ - ۲۰۰
مواد آلی (TOC)	ppm	۳ >
رنگ	APHA	۳ >
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	ppm	۱۰ >
pH، ممبران‌های CA	واحد pH	۴ - ٦
pH، ممبران‌های PA	واحد pH	۲ - ۱۲
کلر آزاد، ممبران‌های CA	ppm	۱ >
کلر آزاد، ممبران‌های PA	ppm	۰/۰۲ >
دما، ممبران‌های CA	°C	۳۰ >
دما، ممبران‌های PA	°C	۴۵ >

*** این جدول با استانداردهای ۱۰۵۳، ۲۰۷۰۴ و ۲۰۷۰۵، مطابقت داده شده است.**

بخش سوم: تشخیص گرفتگی و رسوب‌گذاری غشا

۳-۱- هدف از تشخیص گرفتگی و scaling غشا

هدف از تشخیص گرفتگی و scaling غشا، شناسایی دلایلی برای عملکرد غیر طبیعی غشاهای RO می‌باشد. گرفتگی غشا تأثیر مستقیمی بر تمامی اهداف عملکرد تاسیسات دارد زیرا تولید آب محصول سیستم RO را با گذشت زمان کاهش می‌دهد، انرژی مورد نیاز برای تولید جریان آب محصول را افزایش می‌دهد و نیاز به تمیز کردن و جایگزینی غشا را تسریع می‌بخشد. هدف اصلی از تشخیص گرفتگی غشای سیستم RO، شناسایی انواع گرفتگی است که بیشترین تأثیر را بر عملکرد غشا RO دارند.

۳-۲- پدیده‌های شاخص که در گرفتگی غشایی محتمل هستند:

۱- تسریع در افزایش اختلاف فشار (DP) ورودی و خروجی به دلیل مسدود شدن فضای اسپیسرهای آب خوراک/ کنسانتره، توسط کلوئیدها و ذرات، رشد زیستی یا ته‌نشینی رسوبات معدنی.

۲- افزایش فشار آب خوراک برای حفظ تولید آب محصول سیستم RO

۳- کاهش شار به دلیل:

- جذب مواد آلی در سطح غشا مانند پلیمر مصرف نشده که به آب خام اضافه می‌شود و همچنین تجمعNOMها بر روی سطح غشا.
- تجمع ذرات جامد و مواد منعقدکننده مصرف نشده در اسپیسرهای غشا.
- تجمع بیوفیلم در فضاهای غشایی
- تشکیل و تجمع رسوبات معدنی بر روی قسمت کنسانتره عناصر غشایی.

انواع scaling/گرفتگی و اثرات آن‌ها بر روی عملکرد سیستم RO

انواع گرفتگی	تاثیر بر روی اختلاف فشار (DP)	تأثیر بر فشار ورودی مورد نیاز برای حفظ تولید	تأثیر در عبور نمک
رسوبات ذرات جامد	افزایش سریع	افزایش سریع	افزایش سریع
گرفتگی کلوییدی (مانند مصرف بیش از حد پلیمر پیش‌تصفیه)	افزایش تدریجی	افزایش حداقل	افزایش اندک
گرفتگی هیدروکربنی/روغن و گریس	افزایش سریع	افزایش سریع	افزایش اندک
گرفتگی اکسید فلزی (Zn،Ni،Cu،Mn،Fe)	افزایش سریع	افزایش سریع	افزایش سریع
گرفتگی سیلیکا	افزایش اندک	افزایش	افزایش اندک
گرفتگی NOM	افزایش تدریجی	افزایش	کاهش
گرفتگی معدنی	افزایش متوسط	افزایش اندک	افزایش قابل توجهی ندارد
گرفتگی Antiscalant	افزایش اندک	افزایش	افزایش اندک
گرفتگی میکروبی(گرفتگی بیولوژیکی)	افزایش با نرخ بالا	افزایش با نرخ بالا	افزایش اندک

۳-۳- روند معمول تشخیص:

در ابتدا صحت غشا RO و نوع گرفتگی آن، سپس انجام نمونه برداری از مجاری معیوب، بوسیله‌ی بازرسی از عناصر جلو

و عقب (انتهایی) این مجاری، تشخیص داده می‌شود. بازرسی چشمی به موازات تجزیه و تحلیل داده‌های عملکردی اجزای اصلی تاسیسات نمک‌زدایی انجام می‌شود. پس از اینکه مجاری معیوب با جمع آوری نمونه و بازرسی چشمی مشخص می‌شوند، بازرسی مجاری برای شناسایی عناصر غشایی آسیب دیده و/ یا سایر اجزای داخل مجاری (حلقه‌های O، مهر و موم کنسانتره و غیره) انجام می‌گیرد.

۳-۳-۱- بازرسی چشمی، بررسی داده‌های عملکرد، و نمونه‌برداری مجاری آب تصفیه شده:

بازرسی چشمی مشاهدات زیر را شامل می‌شود:

۱- رنگ، کف، پتانسیل اکسیداسیون و احیا (ORP)، شوری و کدورت منبع آب شور.۲- ظاهر آب پس از هر فرآیند تصفیه (به عنوان مثال، آشغالگیر آبگیر، ته نشینی/ فیلتراسیون پیش‌تصفیه، فیلتراسیون کارتریج و آب محصول RO). ۳- ته‌نشینی و جمع‌آوری جامدات در تاسیسات پیش‌تصفیه ۴- رنگ و بوی پد SDI و مقادیر SDI قبل و بعد از فیلترهای پیش‌تصفیه و فیلترهای کارتریج. ۵- شرایط مخازن ذخیره موقت(سپتاژ/ بوها، تجمع جامدات). ٦- رنگ، بو و ظاهر فیلتر کارتریج به همراه سوابق جایگزینی.۷- هدایت الکتریکی آب محصول المان‌های شاخه معیوب RO. ۸- ظاهر عناصر جلو و انتهایی برای المان‌های فشاری با هدایت الکتریکی ضعیف.

هدف از تجزیه و تحلیل داده‌های عملکردی:

۱- مشکل فوری است (به عنوان مثال، هنگام راه‌اندازی/ تعطیلی)، مربوط به ابزار است ، یا مربوط به وسایل مکانیکی/ تجهیزات است. ۲- مشکل تدریجی است- گرفتگی غشایی یا تخریب به مرور زمان رخ داده است.۳- عبور نمک افزایش یافته است - به عنوان مثال، کدام المان/ خط RO عبور بیش از حد نمک را دارند. ۴- تولید تاسیسات کاهش یافته است و/ یا فشار ورودی از زمان آخرین تمیزکردن غشا افزایش یافته است.۵- تاریخچه نگهداری غشاء به تغییرات چشمگیر اشاره می کند در: الف. تواتر تمیز کردن با مواد شیمیایی، ب. تواتر تعویض غشا. ٦- مشکلاتی در تجهیزات و کیفیت آب خام به وجود آمده است. ۷- ابزارآلات و ثبت سوابق کالیبراسیون، نقص مکرر تجهیزات پایش را نشان می‌دهد.

بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها در بالا، اجازه می‌دهد تا تعیین کنیم که آیا چالش های عملکرد سیستم RO مربوط به: ۱- مشکلات مربوط به کاهش صحت المانها یا مجرا یا ۲- مشکلات مربوط به کاهش بهره‌وری غشاها و کاهش جریان عادی محصول تاسیسات است یا خیر.

تشخیص سلامت غشاها شامل دو مرحله است: ۱- تکمیل مشخصات پروفیل هدایت الکتریکی برای کلیه المان‌های فشاری در خط معیوب RO جهت شناسایی اینکه کدام المان دارای بالاترین میزان هدایت الکتریکی/ بیشترین انحراف از متوسط هدایت الکتریکی می‌باشد.۲- بررسی المان‌های مشکل دار برای شناسایی اینکه کدام عناصر غشایی خاص یا سایر اجزای داخلی (به عنوان مثال، حلقه‌های O، اتصالات داخلی ، مهر و موم کنسانتره و ..) درون المان دارای نقص هستند.

۳-۳-۲- کاوش المان‌ها:

کاوش المان‌ها با جمع آوری آب تصفیه‌شده از تمام المان‌ها، تجزیه و تحلیل هدایت الکتریکی نمونه‌ها جهت شناسایی المانی با هدایت الکتریکی متفاوت تکمیل می‌شود. برای المانی که میزان شوری آن به طرز قابل توجهی بالاتر از میانگین شوری سایر المان‌های خط RO هستند، آزمایش کاوش المان صورت می‌گیرد.

داده‌های حاصل از آزمایش کاوش المان باید با در نظر گرفتن قوانین زیر که مشتق شده از تجربه عملیاتی می‌باشند تفسیر شود: ۱- هدایت الکتریکی اولین عنصر غشایی در المان به طور معمول حدود دو برابر کمتر از آخرین عنصر

غشایی است. ۲- با حرکت پروب به سمت پایین دست جریان، پیش‌بینی می‌شود که هدایت الکتریکی به طور یکنواخت افزایش یابد.۳- افزایش ناگهانی هدایت الکتریکی نشان دهنده نشتی یا عملکرد ضعیف عنصر است. ۴- آب خوراک از طریق اتصال دهنده‌های داخلی با حلقه‌های O نصب شده بر روی لوله‌های آب تصفیه‌شده و مهر و موم کنسانتره از آب محصول جدا شده است. اگر شکسته شوند، آب خوراک وارد اتصال‌دهنده داخلی آب محصول می‌شود و شوری آن را افزایش می‌دهد. ۵- اگر یک عنصر غشایی معیوب باشد، نشت داشته باشد یا از نظر شیمیایی آسیب دیده باشد، شوری افزایش می‌یابد.٦- افت فشار بالا باعث نشت خط یا تلسکوپینگ می‌شود.

از آزمایش صحت و درستی غشاها می‌توان برای کشف سه نوع مشکل زیر استفاده کرد: ۱- عدم کارایی هریک از عناصر RO.۲- از بین رفتن صحت اتصالات داخلی غشا: الف: حلقه‌های O ب:مهر و موم کنسانتره ۳- آسیب غشا: الف: شکستن/ فروپاشی غشا ب: تلسکوپینگ غشا.

۳-۴- کالبد شکافی(تشریح) غشا:

کالبد شکافی غشایی یکی از متداولترین روش‌ها برای شناسایی ماهیت و منشأ گرفتگی غشا RO می‌باشد. روش کالبد شکافی غشایی شامل فعالیت‌های زیر است: ۱- بازرسی چشمی خارجی از غشاها ۲- اندازه‌گیری وزن غشاها ۳- آزمایش‌های حباب و خلاء غشاهای انتخاب شده ۴- تست عملکرد غشایی استاندارد ۵- تست تمیز کردن غشاها ٦- آزمایش رنگ ،۷- بازرسی داخلی و آزمایش ۸- آزمایش سلولی ۹- SEM ۱۰- EDaX ۱۱- طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) تبدیل فوریه ، ۱۲- کاهش وزن در تست احتراق ، و ۱۳- آزمایش فوجیوارا.

عملیات دسته بندی شده در جدول زیر برای عملکرد سیستم و بهینه‌سازی و به حداقل رساندن هزینه‌های بهره‌برداری شامل تمیزکاری غشاء و جایگزینی آن حیاتی می‌باشد.

دسته‌بندی کلی عملیات نگهداری غشاء

آیتم‌های نگهداری پیشگیرانه	روزانه	هفتگی	ماهانه	فصلی
اطلاعات کیفی روزانه	×			
SDI	×	×*		
آنالیز آب (جریان نفوذی – برگشتی)			×	
تعادل جرمی			×	
بررسی فیلترهای ۵ میکرون		×**		
بررسی و کالیبره کردن سنسورها			×	
بررسی و کالیبره کردن همه سنسورها				×
بررسی واحدهای پیش‌تصفیه در حال بهره‌برداری (مانند فیلترها، سختی گیرها و ...)			×	
کالیبره کردن پمپ‌های تغذیه شیمیایی				×
نگهداری همه پمپ‌ها			×	
شستشوی غشاء				×

* بعد از شروع به کار سیستم و رسیدن به تعادل

** دو هفته یکبار

راهنمای پیشنهادی تمیزکاری برای گرفتگی و رسوب زدگی در دو نوع مختلف از RO

نوع گرفتگی	Dow-Film Tec	Hydranautics
رسوب سولفاته	سود ۰/۱ ٪، pH = ۱۲، دما ۳۰ °C	سدیم تری پلی فسفات ۲ ٪، pH = ۱۰، دما ۴۵ °C
رسوب کربناته	هیدروکلریک اسید ۰/۲ ٪، pH = ۲، دما ۳۰ °C	هیدروکلریک اسید ۰/۵ ٪، pH = ۲/۵، دما ۴۵ °C
رسوب سیلیکایی	سود ۰/۱ ٪، pH = ۱۲، دما ۳۵ °C	سود ۰/۱ ٪، pH = ۱۱/۵، دما ۳۵ °C
گرفتگی آهن	سدیم هیدروسولفات ۱ ٪، pH = ۵، دما ۳۰ °C	سدیم هیدروسولفات ۱ ٪، pH = ۱۱/۵، دما ۳۵ °C
گرفتگی آلی	سود ۰/۱ ٪، pH = ۱۲، دما ۳۰ °C به همراه هیدروکلریک اسید ۰/۲ ٪، pH = ۲، دما ۴۵ °C	سود ۰/۱ ٪ به علاوه سدیم دو دسیل سولفات ۰/۰۳ ٪، pH = ۱۱/۵، دما ۳۵ °C
بیوفولینگ	سود ۰/۱ ٪، pH = ۱۲، دما ۳۰ °C	سود ۰/۱ ٪ به علاوه سدیم دو دسیل سولفات ۰/۰۳ ٪، pH = ۱۱/۵، دما ۳۵ °C

بخش چهارم: فرآیندهای پیش‌تصفیه

۴-۱- مقدمه

پیش‌تصفیه مناسب، یکی از راهکارهای اساسی برای بهره‌برداری موفق و مقرون به صرفه از سیستم‌های RO می‌باشد. تکنولوژی‌ها و روش‌های پیش‌تصفیه را می‌توان در ۴ نوع کلی به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

۱- مکانیکی

۲- شیمیایی

۳- شیمیایی – مکانیکی

۴- ترکیبی

۴-۲- پیش‌تصفیه با استفاده از آشغالگیری

آشغالگیری اولین مرحله از هر تأسیسات نمک‌زدایی می‌باشد. با توجه به نوع و کاربرد، از آنها در سیستم‌های ورودی و یا در تجهیزات جانمایی شده در پایین دست جریان‌های ورودی به سیستم‌های اسمز معکوس (RO) استفاده می‌گردد. هدف اصلی آشغالگیری حذف ذرات جامد بزرگ موجود در منابع آب شور به منظور حفاظت از دیگر تجهیزات پیش‌تصفیه و یا سیستم RO و جلوگیری از آسیب ساختاری، تشدید گرفتگی و انسداد فیلترها و کاهش ظرفیت آب تصفیه شده تولیدی می‌باشد.

آبگیرهای سطحی معمولا با آشغالگیرهای میله‌ای درشت به همراه آشغالگیر کوچکتر (دهانه ریز) با فاصله بین میله‌ای ۱ – ۱۰ mm (۰/۰۴ – ۰/۴ in) مجهز شده‌اند که از ورود موجودات آبزی بزرگ (مانند ماهی، خرچنگ و ...) به تأسیسات نمک‌زدایی جلوگیری می‌کند. در حالیکه آشغالگیرهای درشت همیشه به صورت ثابت می‌باشند، آشغالگیرهای ریز می‌توانند در دو نوع ثابت و متحرک در نظر گرفته شوند.

پس از آشغالگیری آب خام به طور معمول از فیلترهای پیش‌تصفیه ریزتر عبور می‌کند که معمولاً اندازه منافذ باز فیلترها (اندازه حفرات) بین ۰/۰۱ – ۰/۰۴ µm برای غشاهای میکرو و اولترا و ۰/۲۵ – ۱/۲ mm برای فیلترهای گرانولی می‌باشد.

۴-۳- انواع آشغالگیرها

۴-۳-۱-آشغالگیرهای دهانه باز

در این نوع آشغالگیرها معمولا فاصله بین میله‌ها بین ۵۰ – ۱۵۰ mm (۲ – ۶ in) می‌باشد و هدف استفاده از این نوع آشغالگیرها حذف ذرات با اندازه بزرگ و موجودات آبزی در ورودی تأسیسات آبگیرها می‌باشد. سرعت جریان طراحی برای آشغالگیرهای تمیز معمولاً ۰/۱ m/s (۰/۳۳ fps)[1] است.

به طور معمول، آشغالگیرهای میله‌ای از استیل دو لایه ضخیم و یا آلیاژهای مس – نیکل (این نوع جنس ترجیح داده می‌شود) برای جلوگیری از رشد موجودات دریایی ساخته می‌شود. رشد صدف‌ها بر روی آشغالگیر می‌تواند سبب کوچکتر شدن فضای باز بین میله‌ها به کمتر از ۵۰ ٪ گردد. در نتیجه آشغالگیرها باید به صورت دستی هر چند سال یکبار تمیز گردند، سرعت جریان عبوری از آشغالگیر بین ۱ تا ۲ سال بعد از نصب، ۰/۱ m/s (۰/۳۳ fps) به حدود ۰/۱۵ – ۰/۱۲ m/s (۰/۵ – ۰/۴ fps) افزایش یابد.

1. Foot per second

شکل ۱: برج ورودی عمودی با آشغالگیر درشت

۴-۳-۲-آشغالگیر ریز

۴-۳-۲-۱-آشغالگیرهای چرخان

آشغالگیرهای میله‌ای خود تمیز شونده به صورت مکانیکی معمولا بین ۱۰ mm – ۳ فضای باز دارند. آن‌ها به صورت عمودی در کانال‌های ورودی جریان‌های پایین دست آشغالگیرهای درشت نصب شده و مجهز به تمیزکننده‌های گردان با نازل‌های پاشش آب به منظور حذف ذرات از سطح آنها می باشند. این نازل‌ها به صورت دوره‌ای آب شستشو را که توسط پمپ‌ها با دبی ۶۸ m3/h – ۴۵ (۳۰۰ gpm – ۲۰۰) با فشار ۷ bar – ۴ (۱۰۰ psi – ۶۰) تأمین می‌گردد، به سطح آشغالگیر اسپری می‌کنند.

شکل ۲: آشغالگیر درشت ورودی ساحل

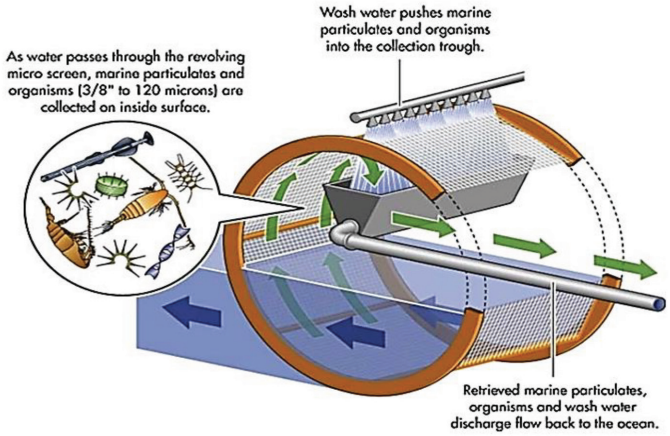
۴-۳-۲-۲-آشغالگیرهای صفحه‌ای

معمولا آشغالگیرهای صفحه‌ای در ۰/۲ m – ۰/۱ (۰/۶۶ ft – ۰/۳۳) اختلاف ارتفاع آب برای کاهش ۳۰ ٪ منطقه غربالگری طراحی می‌گردد. اکثر آشغالگیرهای صفحه‌ای تجاری با سرعت عبوری ۱۰ m/min – ۲ (۳۳ ft/min – ۶/۶) در بازار موجود می‌باشند. این نوع آشغالگیرها معمولا برای دو سرعت جریان یا سرعت‌های مختلف بهره‌برداری طراحی می‌گردند. فاکتور مساحت مؤثر طراحی آشغالگیر برای آشغالگیرهای صفحه‌ای معمولا ۰/۶ – ۰/۵ می‌باشد (۶۰ – ۵۰ ٪). منطقه غربالگری منطقه فیلتراسیون فعال است که برای تعیین سرعت جریان عبوری استفاده می‌شود).

این آشغالگیرهای ریز به منظور حفظ سرعت جریان عبوری کمتر از ۰/۱۵ m/s (۰/۵ fps) طراحی شده و معمولا در سرعت‌های ۰/۱ m/s – ۰/۰۶ (۰/۳۳ fps – ۰/۱۸) بهره‌برداری می‌شوند.

۴-۳-۲-۳- آشغالگیرهای درام[1] (استوانه‌ای)

آشغالگیرهای استوانه ای دارای ظرفیت‌های تا ۳،۰۰۰،۰۰۰ m^3/day (۲۷۰ MGD) می‌باشند. مشابه آشغالگیرهای صفحه‌ای، آنها هم در اشکال تک محور، با خروجی دوگانه از بیرون به داخل و از داخل به بیرون و همچنین با الگوی جریان ورودی دوگانه – خروجی واحد (بیرون به داخل) در دسترس می‌باشند.



شکل ۳: شماتیک آشغالگیرهای استوانه‌ای

تفاوت بزرگ بین درام اسکرین و آشغالگیرهای صفحه‌ای این است که دومی ۳ – ۲/۵ برابر اثر زمانی کمتر دارد. بنابراین، اگر فضای در دسترس بهینه باشد، آشغالگیر صفحه‌ای می‌تواند گزینه مناسب‌تری باشد. علاوه براین، آشغالگیرهای صفحه‌ای به طور معمول ۴۰ – ۳۰ ٪ هزینه‌ی کمتری دارند. اما هزینه نگهداری و تعمیرات آنها بیشتر است.

۴-۴- فیلترهای کارتریج

فیلترهای کارتریج در رده میکروفیلترها با اندازه اسمی منافذ ۲۵ µm – ۱ بوده و از فیبرهای باریک پلاستیک (معمولا پلی پروپیلن) ساخته می‌شوند که به دور یک لوله مرکزی به شکل و اندازه کارتریج‌های استاندارد پیچانده می‌شوند.

فیلترهای کارتریج استاندارد برای تأسیسات نمک‌زدایی RO به طور معمول ۱۵۲۴ cm – ۱۰۱/۶ (۶۰ in – ۴۰) طول داشته و در محفظه‌های تحت فشار افقی و یا عمودی نصب می‌گردند. کارتریج‌ها برای حذف ذرات ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ µm دسته‌بندی می‌شوند و بیشترین سایز مورد استفاده در این زمینه ۵ µm می‌باشد.

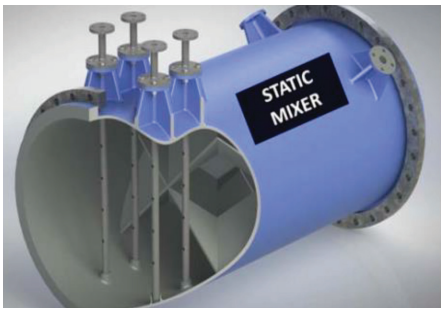
سیستم‌های فیلتراسیون کارتریجی معمولا برای بارگذاری هیدرولیکی ۲۵۰ mm / ۰/۳ Lps – ۰/۲ (۱۰ – in / ۵ gpm – ۳) طراحی می‌گردند. افت فشار فیلتر کارتریج تمیز معمولا کمتر از ۰/۲ bar (۲/۸ psi) می‌باشد. عموما، کارتریج ها زمانیکه اختلاف فشار فیلتر به ۱ bar – ۰/۷ (۱۴ psi – ۱۰) برسد، تعویض می‌شوند. زمان بهره‌برداری قبل از جایگزینی، بستگی به کیفیت منبع آب و درجه پیش‌تصفیه دارد. معمولا، جایگزینی کارتریج‌ها هر ۸ – ۶ هفته یکبار می‌باشد. با این وجود، اگر آب دریا دارای کیفیت خیلی خوبی باشد (SD_{15} همواره کمتر از ۲ باشد) فیلتر کارتریج حتی ممکن است تا ۶ ماه نیز نیاز به تعویض نداشته باشد.

1. Drum screens

۴-۵- بهینه‌سازی آب شور

به منظور کاهش پتانسیل گرفتگی منبع تأمین آب شور، این آب قبل از اسمز معکوس (RO) توسط مواد شیمیایی مختلف از قبیل مواد منعقدکننده، ممانعت‌کننده‌های رسوب‌زدگی، اکسیدکننده‌ها (مانند کلر و دی اکسید کلر)، ترکیبات کاهش‌دهنده اکسیدان (مانند متا بی سولفیت سدیم) و مواد شیمیایی تنظیم کننده pH (مانند اسید و باز) بهینه‌سازی می‌گردد.

استفاده از مواد منعقدکننده برای عملکرد مؤثر و مداوم سیستم‌های فیلتراسیون پیش‌تصفیه با بستر گرانولی بسیار مهم می‌باشد. کواگولاسیون سبب کاهش بار سطحی ذرات موجود در منبع آب شده و تجمع آن‌ها در اندازه‌های بزرگ‌تر را آسان می‌کند تا ته‌نشینی توسط فیلترهای بستر گرانولی راحت تر انجام گیرد. دو نوع از سیستم‌های اختلاط سریع که به صورت گسترده در تأسیسات نمک‌زدایی مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل همزن‌های استاتیک در خط تزریق مواد شیمیایی و همزن‌های مکانیکی نصب شده در حوض‌های انعقاد (شکل‌های شماره ۴ و ۵) می‌باشد.



شکل ۴: همزن استاتیک در خط شکل

۵: همزن مکانیکی در تانک انعقاد

به عنوان یک قاعده کلی، در شرایطی که شکوفایی جلبکی وجود ندارد، ۱ mg/L کلرور فریک برای هر ۱ NTU کدورت در منبع آب شور توصیه می‌گردد. در طول دوره شکوفایی جلبکی یا بارندگی‌های شدید، توصیه می‌شود میزان تزریق ماده منعقدکننده به طور تقریبی به ۲ – ۱/۵ برابر میزان آن نسبت به شرایط متداول به منظور حذف جامدات و مواد آلی افزایش داده شود. لازم به ذکر است که مصرف بیش از حد ماده منعقدکننده نامطلوب است زیرا باعث کاهش عمر مفید فیلترهای کارتریج در پایین دست و تسریع گرفتگی المان‌های غشاء RO می‌شود.

یکی از شایع‌ترین چالش‌ها در افزودن مواد پلیمری منعقدکننده، مصرف بیش از حد آن است. نتیجه استفاده بیش از حد این مواد در مقادیر بالاتر از ۱ mg/L وجود مقدار زیادی از پلیمر استفاده نشده در آب تصفیه شده است. چنین پلیمرهایی معمولاً (اگر از فیلتراسیون مستقیم برای پیش‌تصفیه استفاده شود) روی سطح فیلترهای کارتریج و روی المان‌های RO جمع شده و باعث گرفتگی زودرس آن‌ها می‌شوند. برای تأیید عدم استفاده بیش از حد مواد پلیمری منعقدکننده، توصیه می‌شود به طور دوره‌ای سطح فیلترهای کارتریج مورد بازرسی قرار گیرد و از تشکیل بیوفیلم شفاف تا زرد رنگ روی سطح فیلترهای کارتریج که به صورت لایه نازک قابل مشاهده می‌باشد، جلوگیری گردد.

یکی دیگر از مشکلات رایج در مورد مواد پلیمری منعقدکننده، وجود مواد آلی قابل تجزیه و فلزات (به عنوان مثال ، مس، نیکل) در این مواد می‌باشد، ناخالصی‌هایی که می‌توانند باعث ایجاد گرفتگی یا آسیب در غشاهای RO شوند. برای تعیین سهم نسبی این مواد در کربن آلی(TOC) در منبع تأمین، توصیه می‌شود غلظت TOC آب منبع شور را قبل و بعد از افزودن این مواد به آن در یک دوز مورد نظر اندازه‌گیری کنید. مواد پلیمری منعقدکننده مناسب برای سیستم‌های

نمک‌زدایی RO نباید بیش از TOC ۰/۲ mg/L را افزایش دهند. افزایش بیش از ۰/۵ mg/L در TOC می‌تواند منجر به تسریع گرفتگی بیولوژیکی غشای RO و جایگزینی فیلترهای کارتریج گردد.

یکی از پارامترهای مهم مرتبط با پتانسیل رسوب‌گذاری آب‌های شور، قدرت یونی آنهاست. هرچه قدرت یونی (یعنی غلظت کل مواد جامد محلول (TDS)) منبع آب بیشتر باشد، آستانه بازیابی سیستم RO که در آن رسوب‌زدگی در شرایط دمایی مشابه و وجود ترکیب معدنی رخ می‌دهد، بالاتر است.

یکی دیگر از مهمترین فاکتورهای مرتبط با پتانسیل رسوب‌گذاری منابع آبی، دما است که معمولاً با افزایش دمای آب منبع، پتانسیل رسوب‌گذاری کربنات کلسیم افزایش می‌یابد. در آب دریا، رسوب‌گذاری زمانی که دمای آب از ۳۵ درجه سانتیگراد بیشتر شود، بطور قابل توجهی تسریع می‌شود.

کنترل رسوب‌گذاری بستگی به نمک معدنی خاصی دارد که در سطح غشا ته‌نشین می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان از رسوب‌گذاری کربنات کلسیم از طریق اسیدی کردن منبع آب جلوگیری کرد. اسیدها، یون‌های کربنات CO_3^{2-} را به یون‌های بی‌کربنات محلول و اسید کربنیک و در نهایت به دی اکسید کربن تبدیل می‌کنند. برای این منظور اسیدهای تجاری موجود، قبل از استفاده تا حدود ۲۰ ٪ و یا کمتر رقیق‌سازی می‌شوند تا پتانسیل خوردگی لوله‌های فلزی و تجهیزات نصب شده به حداقل ممکن کاهش یابد.

برای جلوگیری از ایجاد رسوبات کربنات کلسیم و همچنین دیگر رسوبات، اغلب مواد شیمیایی ضد رسوب تجاری (آنتی اسکالانت) به منبع آب اضافه می‌شوند و یا به عنوان یک روش کمکی، عوامل ایجاد رسوب با سخت‌گیری یا استفاده از تأسیسات پیش‌تصفیه نانوفیلتراسیون در بالادست سیستم RO حذف می‌شوند. برخی مواقع، از سیستم‌های RO به منظور حذف بور نیز استفاده می‌شود. در اینگونه موارد، رایج‌ترین روش به منظور افزایش راندمان حذف بور، افزایش pH محیط از شرایط معمول (۸/۳ – ۷/۸) به حدود ۱۱ – ۸/۸ می‌باشد. در این مقادیر بالای pH، گرفتگی ناشی از scaling غشاهای RO بسیار محتمل می‌باشد. بنابراین، استفاده از مواد آنتی اسکالانت در این شرایط ضروری می‌باشد.

با توجه به اینکه غشاء RO در اثر قرارگیری در معرض اکسیدان‌ها از قبیل کلر تخریب می‌گردد، زمانیکه منبع آب حاوی کلر و یا دیگر اکسید کننده های قوی باشد، این اکسید کننده‌ها باید از منبع آبی حذف گردند. معمولا غشاء RO بعد از در معرض قرارگرفتن ۱۰۰۰ – ۲۰۰ hr با مقدار کلر آزاد ۱ mg/L دچار تخریب برگشت‌ناپذیر می‌گردد. اگر pH آب قلیایی باشد، تخریب غشاء تسریع می‌شود.

رایج‌ترین ماده شیمیایی مورد استفاده برای کاهش این نوع اکسیدکننده‌ها متا بی سولفیت سدیم ($Na_2S_2O_5$) می‌باشد. این ماده زمانی که به آب شور اضافه می‌شود ایجاد سدیم بی سولفیت ($NaHSO_3$) می کند که سبب کاهش اسید هیپوکلرو و تبدیل آن به اسید سولفوریک (H_2SO_4)، اسید هیدروکلریک (HCl) و سدیم بی سولفات (Na_2SO_4) می‌شود و همگی این ترکیبات ترکیبات غیر اکسید کننده می‌باشند:

$$Na_2S_2O_5 + H_2O \rightarrow 2NaHSO_3$$
$$2NaHSO_3 + 2HOCl \rightarrow H_2SO_4 + 2HCl + Na_2SO_4$$

به طور معمول ۳ mg/L متا بی سولفیت سدیم برای حذف ۱ mg/L کلر آزاد لازم می‌باشد. برای بهینه‌سازی مقدار مورد نیاز متا بی سولفیت سدیم مورد نیاز از ORP[1] منبع آب شور در ورودی به سیستم RO استفاده می‌شود، که به منظور محافظت از غشاء RO این مقدار باید در حدود کمتر از ۲۰۰ mV نگهداری گردد.

---

۱. پتانسیل اکسایش کاهش

ویژگی‌های مواد شیمیایی متداول مورد استفاده برای بهینه‌سازی منبع آبی

ماده شیمیایی	کاربرد متداول	غلظت متداول محصول (٪)	جرم حجمی (kg/L)	حدود غلظت مورد استفاده (٪)
کلرور فریک مایع	انعقاد	۴۰	۱/۴۲	۵
اسید سولفوریک	تنظیم pH	۹۸	۱/۸۳	۲۰
سدیم هیپوکلریت	کنترل رشد میکروبی	۱۳	۱/۲۳	۵
سدیم متا بی سولفیت	کنترل میزان اکسیدانت	۹۹	۱/۴۸	۲۰
آنتی اسکالانت	کنترل رسوب‌گذاری	۹۹	۱	۲۰
سدیم هیدروکسید	تنظیم pH	۵۰	۱/۵۲۵	۲۰

۴-۶- حذف شن، ته‌نشینی و شناورسازی با هوای محلول (DAF)

هدف حذف شن، ته‌نشینی و سیستم‌های پیش‌تصفیه شناورسازی با هوای محلول (DAF) به حداقل رساندن ذرات از قبیل شن، رسوبات و مواد جامد جمع‌آوری شده توسط تأسیسات آبگیر و حفاظت از تجهیزات فیلتراسیون در پایین دست جریان از بار زیاد مواد جامد می‌باشد.

با توجه به اندازه تأسیسات نمک‌زدایی، به طور گسترده از تجهیزات حذف شن از قبیل صافی‌ها در اندازه ۵۰۰ – ۲۰۰ µm استفاده می‌شود. صافی‌های در این اندازه می‌توانند ذرات شن و ماسه ۰/۱ mm و یا بزرگتر را حذف کنند.

ته‌نشینی معمولا در بالادست فیلترهای با بستر گرانولی و فیلترهای غشایی استفاده می‌شود. زمانیکه آب خام دارای میانگین کدورت روزانه بالاتر از ۳۰ NTU باشد و یا کدورت‌های ۵۰ NTU یا بیشتر به صورت دوره‌ای و یا به مدت بیش از چند ساعت ادامه داشته باشد، حوضچه‌های ته‌نشینی برای پیش‌تصفیه منابع آبی شور برای تولید آب با کدورت کمتر از ۵ NTU و SDI_{15} کمتر از ۶ طراحی می‌گردد.

پارامترهای کلیدی برای طراحی حوضچه‌های ته‌نشینی	
حداقل تعداد حوضچه‌ها	۴
عمق آب	۳ – ۴/۵ m (۱۰ – ۱۵ ft)
متوسط سرعت جریان	۰/۳ – ۱/۱ m/min (۱ – ۳/۶ m/min)
زمان ماند	۲ – ۴ h
نرخ بارگذاری سطحی (سطح ته‌نشینی)	۱ – ۲ m^3/m^2h (۰/۴ – ۰/۸ gpm/ft^2)
نسبت طول به عرض	حداقل ۱ : ۴
نسبت عمق به طول	حداقل ۱۵ : ۱
سرعت جمع‌کننده لجن	۰/۴ – ۰/۸ m/min (برای مسیر جمع‌آوری)

معیارهای طراحی حوضچه‌های ته‌نشینی با لاملا	
حداقل تعداد حوضچه‌ها	۲
عمق آب	۳/۵ – ۵ m (۱۱/۵ – ۱۶/۴ ft)
متوسط سرعت جریان	۰/۳ – ۱/۱ m/min (۱ – ۳/۶ m/min)
زمان ماند	۰/۲ – ۰/۴ h
نرخ بارگذاری سطحی (مدول لاملا)	۱ – ۲ m^3/m^2h (۰/۴ – ۰/۸ gpm/ft^2)
نرخ بارگذاری سطحی (سطح ته‌نشینی)	۴ – ۸ m^3/m^2h (۱/۶ – ۳/۲ gpm/ft^2)
سرعت جمع‌کننده لجن	۰/۴ – ۰/۸ m/min (برای مسیر جمع‌آوری)

۴-۶-۱- شناورسازی با هوای محلول[1] (DAF)

سیستم شناورسازی با هوای محلول برای حذف ذرات شناور عامل گرفتگی از قبیل جلبک، روغن، چربی یا دیگر آلاینده‌هایی که نمی‌توانند به طور مؤثر توسط ته‌نشینی یا فیلتراسیون حذف شوند استفاده می‌شود. سیستم‌های DAF به طور معمول توانایی تولید خروجی با کدورت کمتر از ۰/۵ NTU را دارد. در اینگونه سیستم‌ها، آبی که از واحد ته‌نشینی خارج شده و به واحد DAF منتقل می‌شود با جریان هوای اشباع ۱۵ – ۱۰ ٪ مخلوط می‌گردد.

اغلب ۱۲ – ۸ g/m^3 هوا به منظور عملکرد مؤثر DAF نیاز می‌باشد. به عنوان یک قانون کلی، میزان هوا براساس وزن هوا به جامدات معلق برابر ۱ : ۰/۱۲ در نظر گرفته می‌شود. این میزان هوا با فشار ۸ – ۶ bar به آب عبوری از سلول‌های دستگاه تزریق می‌شود.

کل انرژی مورد نیاز برای سیستم‌های DAF معمولا ۰/۰۷۵ – ۰/۰۵ kWh / ۱۰۰۰۰ m^3/day آب تصفیه شده می‌باشد که به طور قابل توجهی بیشتر از انرژی مورد استفاده در سیستم‌های ته‌نشینی (۰/۰۳ – ۰/۰۱ kWh / ۱۰۰۰۰ m^3/day) می‌باشد.

به دلیل چگالی و گرانروی بالاتر آب دریا نسبت به آب خام، ۳۰ – ۲۰ ٪ هوای اشباع و فشار بیشتر در سیستم‌های DAF باید در نظر گرفته شود. در نتیجه، در حالیکه فشار مورد نیاز آب خام بازچرخش شده در سیستم DAF نسبت به آب تازه حدود ۶ bar – ۴ می‌باشد، فشار واقعی مورد نیاز برای آب دریا در بهره‌برداری از DAF با راندمان بالا و حذف ذرات ریز حدود ۸ bar – ۶ خواهد بود.

پارامترهای کلیدی برای طراحی حوض‌های انعقاد – لخته‌سازی، حوض شناورسازی و سیستم بازیافت متداول ته‌نشینی DAF در جدول زیر نشان داده شده است:

استاتیک میکسر در خط (یا حوض انعقاد):	
گرادیان سرعت (G × T)	۵۰۰ – ۱۶۰۰ s^{-1}
مخزن لخته سازی:	
زمان تماس	۱۰ – ۲۰ min
حوضچه‌های لخته‌ساز در هر سری	۲ – ۴
عمق آب	۳/۵ – ۴/۵ m (۱۱/۵ – ۱۵ ft)

1 Dissolved air flotation

نوع همزن	شافت عمودی با پره‌های هیدروفیلی
مساحت پره‌ها / مساحت تانک	٪ ۰/۱ – ۰/۲
سرعت شافت	۴۰ – ۶۰ rpm
حوض شناورسازی:	
حداقل تعداد حوض‌ها	۲
عرض حوض	۳ – ۱۰ m (۱۰ – ۳۳ ft)
طول حوض	۸ – ۱۲ m (۲۶ – ۳۹ ft)
عمق حوض	۸ – ۱۲ m (۸ – ۱۶ ft)
نسبت طول به عرض	۱ به ۱/۵ – ۲/۵
نرخ بارگذاری سطحی	۲۰ – ۳۵ m^3/m^2h (۸ – ۱۴ gpm/ft^2)
سیستم بازیافت آب تصفیه شده:	
نسبت بازیافت	۱۰ – ۱۵ ٪ جریان ورودی
بارگذاری هوا	بارگذاری هوا g/m^3
نرخ بارگذای اشباع‌کننده	۶۰ – ۸۰ m^3/m^2h (۲۵ – ۳۳ gpm/ft^2)
فشار بهره‌برداری	۶ – ۸ Bar (۸۷ – ۱۱۶ psi)

۴-۷- فیلترهای با بستر گرانولی

در مواردی که منبع آب حاوی مقادیر زیادی ترکیبات آلی (غلظت TOC بالاتر از ٦ mg/L) و مواد جامد معلق (میانگین کدورت ماهانه بیش از ۲۰ NTU باشد)، از سیستم‌های تصفیه دو مرحله‌ای استفاده می‌شود. تحت این ساختار، اولین مرحله فیلتراسیون برای حذف مواد جامد درشت و مواد آلی معلق، طراحی می‌گردد. فیلترهای مرحله دوم برای حذف جامدات ریز، ماسه و بخشی از مواد آلی محلول موجود در آب شور طراحی می‌شود.

کیفیت مورد نظر آب پیش‌تصفیه

پارامتر	غلظت / سطح	واحد
کدورت (میانگین روزانه/حداکثر)	۰/۱ – ۰/۵ >	NTU
SDI_{15}	۳ > (در ۹۵٪ موارد)	-
	۵ > (در همه موارد)	
TOC	۱ >	mg/L
pH (حداقل/ حداکثر)	۴ / ۹	-
ORP	کمتر از ۲۰۰	mV
کلر باقیمانده	۰/۰۲ ≥	mg/L
کل هیدروکربن‌ها	۰/۰۴ ≥	mg/L

۴-۷-۱- شستشوی معکوس فیلتر

توالی شستشوی معکوس فیلتر به طور معمول هر ۴۸ h – ۲۴ می‌باشد. فیلترهای عمیق تر، ظرفیت بالاتری در نگهداشت ذرات داشته و بنابراین دوره فیلتراسیون طولانی‌تری دارند. طول دوره واقعی چرخه فیلتراسیون تنها به عمق و نرخ بارگذاری فیلترها وابسته نبوده و علاوه براین موارد به اندازه ذرات در منبع آب شور نیز بستگی دارد.

حجم بکواش معمولا ٦ – ۲ ٪ آب ورودی می‌باشد. استفاده از خروجی تغلیظ شده RO به جای خروجی فیلتر شده در شستشوی فیلترها می‌تواند سبب کاهش حجم آب بکواش و انرژی مورد نیاز پمپ‌ها در تأسیسات نمک‌زدایی گردد. با این وجود، به خاطر ماهیت خورندگی پساب تغلیظ شده، بکواش با استفاده از خروجی تغلیظ شده RO معمولا به کار گرفته نمی‌شود.

به طور معمول، توالی بکواش شامل سه مرحله می‌باشد: ۱) شستشو با هوا ۲) شستشو با آب و هوا ۳) شستشوی نهایی مصالح با آب. طول هر مرحله از شستشو وابسته به میزان ذرات آب ورودی و عمق مصالح بستر در فیلتر می‌باشد و معمولا کل زمان شست و شو ۲۰ – ۱۵ دقیقه می‌باشد.

برخی مواقع، زمانی که کیفیت آب فیلتر شده از حالت پایدار شروع به کاهش کند و از حد آستانه قابل قبول برای بهره‌برداری از غشاء RO در خصوص کدورت آب فیلتر شده فراتر رود (معمولا کدورت بیشتر از ۰/۵ NTU) و یا SDI_{15} (معمولا بیشتر از ۵ – ۴)، شستشوی فیلتر ضروری می‌باشد.

۴-۷-۲- انواع فیلتر و پیکره‌بندی آن‌ها:

فیلترهای یک، دو و چند لایه:

فیلترهای تک لایه به خاطر محدودیت در توانایی عملکردی در شرایط مختلف آب خام معمولا برای پیش‌تصفیه آب‌های شور استفاده نمی‌شوند. معمولا این فیلترها را می‌توان برای تأسیسات نمک‌زدایی با آب‌های زیرسطحی، برای تولید آب با کدورت کمتر از ۲ NTU، TSS کمتر از ۳ mg/L و SDI_{15} کمتر از ٦ استفاده کرد. در اکثر تأسیسات نمک‌زدایی در سراسر جهان معمولا از فیلترهای ۲ لایه با لایه بالایی از جنس آنتراسیت و لایه زیری از جنس ماسه استفاده می‌کنند.

از فیلترهای سه لایه برای پیش‌تصفیه آب‌های شور فقط زمانی استفاده می‌شود که کیفیت آب خام به طور قابل توجهی متفاوت باشد و منطقه ورودی جریان به طور مکرر شاهد شکوفایی جلبکی[1] با جلبک‌های کوچک (میانگین اندازه سلول جلبک کمتر از ۲۰ µm) و / یا لجن بسیار ریز باشد.

فیلتر یک و دو مرحله‌ای:

فیلتراسیون دو مرحله‌ای معمولاً هنگامی استفاده می‌شود که منبع آب دارای کدورت زیاد (معمولاً بالاتر از ۲۰ NTU) و مواد آلی (TOC > ٦ mg/l) برای مدت طولانی باشد (یعنی هفته‌ها یا ماه‌ها).

فیلترهای یک مرحله‌ای با دو لایه مصالح توانایی حذف ۳۰–۲۰ ٪ TOC موجود در آب دریا را دارند در حالیکه سیستم‌های دو مرحله‌ای با فیلترهای دولایه عمیق، به دلیل افزایش انعقاد لخته‌های ریز و بیوفیلتراسیون توانایی حذف ٦۰–۴۰٪ از TOC آب را دارا می‌باشند.

1. algal blooms

بخش پنجم: مقایسه فیلترهای با بستر گرانولی و غشاهای پیش‌تصفیه

۵-۱- مقدمه:

فن‌آوری‌های فیلتراسیون غشایی در مقایسه با سیستم‌های فیلتراسیون بستر گرانولی متعارف دارای چندین مزیت هستند. فیلتراسیون بستر گرانولی نیز یک فرآیند پیش‌تصفیه شناخته شده با کاربرد وسیع می‌باشد. بنابراین، انتخاب نوع فرآیند پیش‌تصفیه آب شور باید براساس یک تحلیل دقیق هزینه - سود انجام گیرد. هنگام انتخاب بین فیلتراسیون بستر گرانولی و فیلتراسیون پیش‌تصفیه غشایی، موارد زیادی باید مورد توجه قرار گیرد. سیستم‌های غشایی پیش‌تصفیه معمول در فرآیند نمک‌زدایی، MF و UF می‌باشند که اندازه‌ی منافذ ۰٫۰۴ – ۰٫۱ میکرومتر برای MF و ۰٫۰۲ – ۰٫۰۱ میکرومتر برای UF می‌باشد.

۵-۲- مراحل فیلتراسیون سیستم غشایی MF و UF

فرآیندهای پیش‌تصفیه غشایی در چهار دسته فعالیت تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- فرآیند جریان (processing)

۲- شستشوی غشاها (backwash)

۳- تمیز کردن غشاها (Cleaning)

۴- تست یکپارچگی (Integrity Testing)

۵-۲-۱- فرآیندجریان

با توجه به خروجی جریان، نوع فرآیند به دو نوع جریان مستقیم و جریان برگشتی تقسیم می‌شود. در جریان مستقیم تمام آب از غشاها عبور می‌کند. در جریان برگشتی بخشی از جریان خروجی به سیستم خوراک برگشت داده می‌شود. سیستم جریان مستقیم نیازمند شستشوی متناوب بوده و از طریق دو حالت ۱- کنترل فشار روی ممبران (TMP) و ۲- بررسی جریان فلوک‌های خروجی قابل کنترل می‌باشد.

۵-۲-۱-۱- جریان عبوری از غشا

جریان غشایی (شار غشایی) میزان آب فیلتر شده توسط غشاء می‌باشد. واحد این پارامتر لیتر مترمربع در ساعت یا گالن فوت مربع در روز می‌باشد. در پیش‌تصفیه این جریان بین Lmh ۴۰-۸۰ طراحی می‌شود. با افزایش شار عبوری از غشاها و تجمع مواد جامد در سطح غشاء، گرفتگی منافذ آن بیشتر خواهد شد. مدت زمان عبور جریان از روی غشا باید به گونه‌ای انتخاب شود که رسوب‌گذاری به حداقل مقدار برسد. این زمان با توجه به فشار روی غشاء و حداکثر فشار پمپ‌های تغذیه کنترل می‌شود. با افزایش رسوب‌گذاری روی غشاء شار عبوری کاهش خواهد یافت.

۵-۲-۱-۲- فشار غشاء

نشان‌دهنده‌ی اختلاف فشار ورودی و خروجی روی غشاء می‌باشد (TMP). این فشار بر رسوب‌گذاری غشاها و دوره کارکرد فیلتراسیون موثر است. واحد آن TMP، PSI یا KPa می‌باشد. در سیستم‌های پیش‌تصفیه TMP بین (۰٫۲-۱) بار می‌باشد. این فشار برای سیستم‌های تحت فشار، بالای ۱ بار و برای سیستم‌های تحت خلا کمتر از ۱ بار می‌باشد. افزایش فشار باعث افزایش خرابی الیاف غشا می‌گردد. فشار روی الیاف توسط تولید کننده متناسب با جنس الیاف و انعطاف پذیری آن تعریف می‌شود و می‌تواند تا ۲٫۵ بار افزایش یابد.

۵-۲-۱-۳- نفوذ پذیری غشاء

سومین پارامتر مهم در غشاها، نفوذپذیری آن‌ها می‌باشد. این ضریب برای فیلترهای MF و UF برای فرآیندهای پیش‌تصفیه آب شور در حدود ۷۵-۵۰۰ Lmh/bar یا ۵-۲۰ gfd/Psi می‌باشد. این ضریب در ۲۵ lmh/bar یا ۱ gfd/psi اندازه‌گیری می‌شود.

۵-۲-۲- شستشوی غشاء

در طول دوره کارکرد غشاء، مواد جامد موجب گرفتگی غشاء می‌گردد. با رسیدن TMP به آستانه حداکثر، شار عبوری از غشاء کاهش می‌یابد و کیفیت آب فیلتر شده کم می‌شود. در این هنگام عملیات بکواش بطور منظم با توجه به پیشنهادات کارخانه سازنده بین هر ۲۰ تا ۱۲۰ دقیقه و به مدت ۳۰ تا ۶۰ ثانیه انجام می‌گردد. چنانچه مطابق دستورالعمل سازنده بکواش غشاء انجام نشود، ممبران در معرض رسوبات برگشت ناپذیر قرار می‌گیرد و می‌بایست غشای آن تعویض گردد. زمان شستشو براساس مقدار مواد جامد و پتانسیل رسوب‌گذاری تنظیم می‌گردد. این زمان برای آب‌های با شوری بالا و پتانسیل رسوب‌گذاری زیاد می‌تواند به هر ۲۰ دقیقه کاهش یابد. برای آب‌های زیرزمینی با بار آلی کم این زمان تا ۶۰ دقیقه افزایش می‌یابد.

شستشوی غشاء چند مرحله‌ای است، برای سیستم‌های UF و MF، ترکیبی از آب فیلتر شده و هوا می‌باشد، تا جایی که ذرات از روی سطح غشاء جدا شود. عملیات بکواش در سیستم غشایی از اهمیت بالایی برخوردار است. در سیستم غشایی هر ۳۰ دقیقه یکبار و برای سیستم‌های فیلتراسیون گرانولی هر ۲۴ ساعت یکبار شستشو انجام می‌گردد. در سیستم بکواش با آب و هوا از هیچ ماده شیمیایی برای تمیز کردن غشاء استفاده نمی‌شود. با افزایش بار آلی و تشکیل بیوفیلم نیز بایستی از شستشوی شیمیایی پیشرفته (CEB)، یکبار یا دوبار در روز استفاده شود. در فرآیند CEB غشاها برای چند دقیقه در مواد شیمیایی مانند اسیدها، قلیاها و متا بی سولفیت سدیم نگهداری و سپس شستشو می‌شوند. میزان این مواد شیمیایی بستگی به نوع بارآلی و بیو فیلم تشکیل شده روی غشاء دارد. با افزایش کارکرد غشاء رسوبات بطور کامل توسط CEB از بین نمی‌روند. با افزایش TMP بین ۰٫۷ تا ۰٫۸ بار برای سیستم تحت خلا و ۱٫۵ تا ۲٫۵ بار برای سیستم تحت فشار، ماژول‌ها را با مواد شیمیایی شستشو می‌دهند که به این فرآیند CIP گفته می‌شود. CIP هر یک ماه یکبار و با استفاده از اسید با PH کم مانند اسید سیتریک یا اسید سولفوریک و سپس با محلول با PH بالا همچون هیدروکسید سدیم و هیپوکلریت سدیم بین ۴ تا ۲۴ ساعت شستشو می‌شوند. غشاها پس از شستشو در مدار بهره‌برداری قرار می‌گیرند. برای عملکرد بهتر، برخی اوقات از مواد شیمیایی تمیز کننده مانند بیوکسیدها برای از بین بردن رسوبات خاص مانند چربی‌ها و گریس‌ها استفاده می‌شود.

برای از بین بردن بیوفیلم‌های میکروبی نیز از دوز بالای کلر بیش از ۵۰۰ mg/lit استفاده می‌شود. در این صورت می‌بایست از ممبران‌های مقاوم در مقابل کلر استفاده نمود.

۵-۲-۳- تمیز کردن غشاها

رسوبات معدنی انباشته شده روی غشاها مانند آهن، منگنز و کلوئیدها توسط اسیدسیتریک، اسیدسولفوریک یا اسیدهیدروکلریک، رسوبات آلی توسط هیدروکسید سدیم و رسوبات بیولوژیکی مانند جلبک‌ها نیز با استفاده از هیپوکلریت سدیم یا اسیدپراستیک و سورفاکتانت‌ها تمیز می‌شوند.

۵-۲-۴- تست یکپارچگی غشاها

کلیه سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی باید تحت تست یکپارچگی قرار گیرند. این تست برای پی‌بردن به این موضوع

می‌باشد که غشاء یکپارچه است و شکستگی و سوراخی در غشاء وجود ندارد. در این تست برای اطمینان از عدم وجود شکستگی و یا سوراخ در غشا می‌باشد. در این تست آب از سیستم خارج شده و سیستم توسط هوا به فشار ۱-۰/۳ بار می‌رسد در صورتیکه فشار هوا در ۵ دقیقه ۱۰ درصد کاهش یابد غشاء ممبران می‌بایست تعویض گردد این تست برای سازندهای مختلف متفاوت می‌باشد. علاوه بر این تست روش‌های دیگری همچون؛ آزمون خلاء، تست حباب و جریان انتشار هوا نیز وجود دارد.

علاوه بر تست آفلاین تست‌های آنلاین نیز با شمارش روزنه‌های غشاء، اندازه‌گیری کدورت پساب فیلتر و یا روش‌های التراسونیک وجود دارد. معمول‌ترین روش، سنجش مدام کدورت پساب ماژول‌ها می‌باشد.

۵-۳- قسمت‌های مهم سیستم پیش‌تصفیه

۵-۳-۱- مجاری

بصورت مخازن با محفظه‌های توخالی هستند که برای نگهداری الیاف غشاء، لوله مارپیچ و ... استفاده می‌شود. مجموع این وسل‌ها به همراه قفسه‌ها و .... ماژول را شامل می‌گردد.

۵-۳-۲- ممبران فیلترها

۵-۳-۲-۱- مواد تشکیل دهنده ممبران‌ها

غشاها معمولاً از جنس پلی اترسولفون (PES)، پلی وینیلیدین دی فلوراید (PVDF) و پلی سولفون (PS) ساخته می‌شوند. بیشتر این مواد آبدوست هستند PESها، آبدوست‌ترین این مواد هستند. مواد آبدوست دو مزیت دارند:

۱- به سرعت مرطوب می‌شوند و قابلیت نفوذ آنها افزایش می‌یابد.

۲- مقاومت بالاتری نسبت به گسستگی دارند.

متداول‌ترین مواد غشایی PVDF و PES می‌باشند. بطور کلی PES از نفوذپذیری بالاتر ولی از از دوام و مقاومت کمتر در مقابل کلر برخوردار است. در مقابل غشاهای PVDF مقاومت بالاتری دارند.

انعطاف‌پذیری و مقاومت در برابر فشار از ویژگی‌های بارز غشاها می‌باشند. به ویژه در شستشو با هوا که به همراه شوک برروی الیاف غشاء می‌باشد. این نوع شستشو روی غشاهای از جنس PES موجب شکست فیبر غشاء و ایجاد حفرات گلدانی در سطح غشاء می‌شود. به همین دلیل PES را فقط با آب بکواش می‌کنند.

سیستم‌های پیش‌تصفیه می‌بایست در فشارهای بالا طراحی شوند و تحمل فشار بالا از ۲٫۷ تا ۵ بار را داشته باشند. سیستم‌های پیش‌تصفیه که از غشاهای جنس PES استفاده می‌کنند، معمولاً دچار شکست مکرر سطح غشاء می‌شوند (به دلیل تغییرات فشار در فرآیند اسمز معکوس تا ۵ بار). به همین دلیل از غشاهای PVDF به دلیل مقاومت بیشتر استفاده می‌شود. هزینه غشاهای PVDF بالاتر و از نفوذپذیری کمتری برخوردارند و به دلیل سطح منافذ کمتر نسبت به فیلتر PES کیفیت آب خروجی از آنها پایینتر می‌باشد. تجربه نشان داده است غشاهای PVDF برای تصفیه آب‌های شور با پتانسیل رسوب‌گذاری بالا و تشکیل بیوفیلم مناسب‌تر می‌باشند.

۵-۳-۲-۲- شکل هندسی غشاها

غشاهای پیش‌تصفیه آب شور شکل توخالی، لوله‌ای و مارپیچ دارند. غشاهای فیبر توخالی معمولاً از چند صد تا چند هزار فیبر غشایی تشکیل شده است که در انتها با اپوکسی با رزین پلی اورتان پوشیده می‌شوند و در ماژول‌های جداگانه محصور می‌گردند. قطر داخلی فیبرها از ۰٫۴ تا ۱٫۵ میلیمتر می‌باشد.

با توجه به نوع غشا، جهت جریان از داخل به خارج و یا از خارج به داخل می‌باشد. الگوی جریان به خارج معمولاً نسبت به مقدار بار جامد در آب شور حساسیت کمتری دارد. در غشاهای لوله‌ای قطر داخلی آنها نسبت به فیبرهای توخالی بیشتر است (۱-۲٫۵ سانتیمتر) این لوله‌ها در داخل پلاستیک تقویت شده با فایبر گلاس یا لوله‌های استنلس استیل قرار می‌گیرد که در دو انتهای لوله واشر وجود دارد.

مزایای غشا فیبر توخالی:

۱- مساحت سطح بالا نسبت به حجم

۲- شستشوی راحت‌تر

۳- تصفیه در فشار ورودی TMP از ۰٫۲ تا ۱ بار

۴- افت فشار کمتر از بین دیگر ماژول‌های غشایی (۰٫۱ – ۱ بار)

مزایای غشای لوله‌ای:

۱- تصفیه آب‌های با ذرات جامد بالاتر با توجه به قطر داخلی بیشتر آن‌ها

۲- سرعت تقریباً ۲ برابر در عبور جریان

۵-۳-۳- امکانات و تجهیزات پیش‌تصفیه

کلیه سیستم‌های پیش‌تصفیه شامل ۳ نوع امکانات شستشو می‌باشند:

۱- سیستم شستشو یا بکواش

۲- سیستم CIP

۳- سیستم شستشوی شیمیایی

سیستم بکواش از یک مخزن آب فیلتر شده و پمپ، کمپرسور هوا و لوله اتصال تشکیل شده است.

سیستم CIP پیش‌تصفیه شبیه سیستم CIP در فرآیند RO می‌باشد.

در برخی از سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی از مواد منعقدکننده، پودر کربن فعال و اسید استفاده می‌کنند.

۵-۴- انواع و اقسام فیلترهای پیش‌تصفیه غشایی:

بسته به نوع نیروی موثر فیلتراسیون، فیلترهای پیش‌تصفیه غشایی به دو دسته تحت فشار و تحت خلا تقسیم می‌شوند.

۵-۴-۱- سیستم‌های غشایی تحت فشار

سیستم‌های غشایی تحت فشار UF و MF همانند سیستم‌های RO در pressure vessel های مختلف نصب می گردند.

سیستم‌های تحت فشار بسته به جهت آب ورودی به ممبران به دو نوع سیستم فشار از خارج به فیدهای ممبران که به آن PDO (تحت فشار خارجی) و فشار از داخل که به آنها PDI (تحت فشار داخلی) گفته می‌شود تقسیم می‌گردد. معمولاً در تمیز کردن سطح ممبران‌ها در PDO از آب تصفیه شده و برای PDI از ترکیب هوا و آب تصفیه شده استفاده می‌شود.

سیستم PDO در فشار کاری بالاتری در دبی مشابه نسبت به سیستم PDI طراحی می‌گردد. المان‌های ممبران‌های تحت فشار بصورت افقی و عمودی نصب می‌گردند.

۵-۴-۲- سیستم‌های غشایی تحت خلا

در این سیستم، ماژول‌های فیلتر غشایی UF و MF در مخازن روباز غوطه‌ور می‌شوند. بازرسی و نگهداری این سیستم بسیار ساده می‌باشد و هریک از مخازن را می‌توان به صورت جداگانه تمیز، بازرسی و نگهداری نمود.

۵-۴-۳- مقایسه سیستم‌های غشایی تحت فشار و تحت خلا

سیستم‌های غشایی تحت فشار در فشار کاری مثبت ۲٫۵- ۰٫۲ بار و سیستم‌های فشار منفی تحت خلا در فشار کاری ۰٫۸-۰٫۲ بار عمل می‌کنند.

۵-۴-۳-۱- مقایسه تغییرات کیفیت آب

سیستم‌های غشایی برای منابع آب شور و منابع با کیفیت متغیر کدورت مانند آب‌های سطحی مناسب‌ترند. این سیستم‌ها تاثیر نوسانات کیفیت آب را کاهش می‌دهد.

سیستم‌های غشایی تحت فشار در مقابل بار مواد جامد ورودی به شدت حساس می‌باشند و می‌بایست پیوسته شستشو شوند. برای رفع این نقص تولیدکنندگان غشاها، ماژول‌هایی با چگالی الیاف متغیر می‌سازند این نوع غشاها دارای الیاف کمتر و حفرات بیشتری می‌باشند. تا بار عبوری جامدات افزایش یابد.

زمان ماند هیدرولیکی سیستم‌های تحت خلا بین ۱۰ تا ۱۵ دقیقه می‌باشد. این سیستم‌ها در دماهای پایین‌تر نسبت به سیستم‌های تحت فشار کارایی بهتری دارد ولی حساسیت دمایی آن بیشتر است. سیستم‌های تحت فشار برای آب شور با حداقل دمای متوسط ماهانه ۱۵ درجه سانتیگراد، کارایی دارد.

هرچند هر دو سیستم با TMP (فشار عبور هیدرولیکی) بین ۰٫۷ تا ۰٫۸ بار کار می‌کنند ولی سیستم‌های تحت فشار با توجه به هزینه‌های پایین تر، پر کاربردتر هستند. این سیستم‌ها برای منابع آب زیرزمینی به دلیل تغییرات کمتر کدورت آب کاراترند و قابلیت تغییرات بالاتر TMP را دارند.

۵-۴-۳-۲- فضای کاری سیستم پیش‌تصفیه

بطور کلی سیستم پیش‌تصفیه غشایی تحت خلا ۱۰ تا ۲۰ درصد، فضای کمتری نسبت به مدل غشایی تحت فشار اشغال می‌کند. این سیستم در دبی طراحی یکسان و بار مواد جامد بالا، ۲۰ تا ۳۰ درصد شار بیشتری را از خود عبور می‌دهند.

۵-۴-۳-۳- تجهیزات و هزینه‌های مورد نیاز انرژی و ساخت

این موضوع، به اندازه سیستم و میزان شوری منبع آب بستگی دارد. سیستم‌های غشایی تحت فشار در مقیاس کوچک نسبت به سیستم تحت خلا به خاطر مونتاژ راحتر و قابل حمل ارجحیت دارد ولی با تغییرات کیفیت آب و افزایش شوری این سیستم هزینه‌بر خواهد بود.

در دمای بین ۱۸ تا ۳۵ درجه سانتیگراد، سیستم‌های غشایی تحت خلا ۱۰ تا ۳۰ درصد مصرف انرژی کمتری نسبت به سیستم تحت فشار دارد.

۵-۵- عملکرد فیلتر

۵-۵-۱- حذف مواد جامد

سیستم‌های غشاییUF و MF برای حذف کدورت و از بین بردن مواد غیر محلول و کلوئیدی بسیار موثر هستند. با این سیستم کدورت را می‌توان تا زیر ۰٫۱ NTU کاهش داد. افزایش کدورت و مواد جامد، تواتر تمیز کردن و شستشو را

افزایش می‌دهد. چنانچه کدورت آب ورودی بیش از ۵۰ NTU بوده و منبع سیلتی داشته باشد، علاوه بر سیستم‌های غشایی UF و MF، نیاز به یک سیستم پیش‌تصفیه مانند حوضچه‌های لاملا و یا سیستم DAF در بالادست می‌باشد.

۵-۵-۲- حذف مواد ارگانیک

سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی نمی‌توانند مقدار قابل توجهی از مواد آلی را حذف نمایند. ورود این مواد به سیستم RO می‌تواند باعث ایجاد بستر زیستی در غشای RO شود.

فیلترهای گرانولی با توجه به میزان بارسطحی و و عمق بستر می‌تواند ۲۰ تا ۴۰ درصد از میکرو ارگانیزم‌های آب ورودی را کاهش دهد.

سیستم‌های غشایی UF و MF کارایی بسیار پایینی در حذف روغن و گریس دارند که ورود آن به سیستم RO مشکلات اساسی را برای سیستم ایجاد می‌نماید.

۵-۵-۳- حذف میکروارگانیسم‌ها

۵-۵-۳-۱- حذف جلبک

غشاهای UF و MF می‌توانند تمام جلبک‌ها را حذف نمایند. میزان حذف این جلبک‌ها در منابع آب شور وابسته به عواملی همچون تعداد جلبک‌ها در هر لیتر (کمتر از ۲۰۰۰۰ سلول در لیتر)، نوع غشاء و میزان TMP می‌باشد.

۵-۵-۳-۲- حذف باکتری‌ها و ویروس‌ها

هر دو سیستم غشایی MF و UF می‌توانند عوامل بیماری زا مانند Giardia و Cryptosporidium را حذف نمایند. غشاهای UF با اندازه موثر ۰٫۰۱ تا ۰٫۰۲ میلی‌متر می‌توانند بیش از ۴ نوع ویروس با درصد حذف ۹۹٫۹۹ درصد را از بین ببرد و غشای MF با اندازه موثر ۰٫۰۳ میلی‌متر بخش کمتری از ویروس‌ها را حذف می‌کنند.

۵-۶- برنامه‌ریزی و طراحی

دو فاکتور مهم در طراحی غشاهای UF و MF کدورت و بار آلی آب ورودی می‌باشند. سیلتی بودن آب می‌تواند موجب گرفتگی غشاها و غیر قابل استفاده شدن آن‌ها شود.

۵-۶-۱- کدورت آب

کیفیت آب تاثیر بسیار مهمی در ساختار و فرآیند تجهیزات پیش‌تصفیه غشایی دارد. آب شور با کدورت بالا عملکرد سیستم را کاهش و شستشوی آن را افزایش می‌دهد. برای کاهش کدورت می‌توان از روش‌های شناورسازی با هوا (DAF) و فیلترهای با بستر گرانولی استفاده کرد. این سیستم برای کدورت متوسط سالانه بین ۲۰ تا ۵۰ NTU و SDI بین ۵ تا ۱۶ به خوبی عمل می‌کند. چنانچه آب ورودی دارای کدورت بالا و سیلتی با بستر شکوفایی مکرر جلبک باشد، نیازمند سیستم‌های ته نشینی، سیستم حذف مواد جامد DAF و فیلترهای درشت دانه می‌باشند. لازمه این کار انجام آزمایشات دوره‌ای است.

۵-۶-۲- بار آلی منبع آب

این مورد نیز مانند کدورت بالا می‌تواند منجر به عبور دبی کم و کارایی پایین سیستم پیش‌تصفیه غشایی گردد. اگر منابع ارگانیک آب از مواد آلی طبیعی تشکیل شده باشد، می‌تواند به راحتی با انعقاد و لخته‌سازی حذف شوند. اگر منبع آبی دارای دوره شکوفایی جلبک شدید باشد، با افزودن ماده منعقدکننده بیش از ۸۰ درصد مواد ارگانیک، حذف نمی‌شوند. برای TOC بالای ۲ میلی‌گرم در لیتر سیستم‌های پیش‌تصفیه محافظه کارانه‌تر طراحی می‌شوند.

(برای شار کمتر از ٦٥ Imh در سیستم‌های تحت فشار و کمتر از ۴۰ Imh در سیستم‌های تحت خلاء، بازیابی سیستم به ۹۰ درصد کاهش می‌یابد.

۵-٦-۳- دما

ویسکوزیته آب شور با کاهش دما افزایش می‌یابد. ویسکوزیته بر توانایی غشاء در تولید آب فیلتر شده تاثیر می‌گذارد بطوری‌که ویسکوزیته بالاتر باعث افزایش مصرف انرژی و فشار کاری بالاتر سیستم می‌شود. سیستم می‌بایست همواره برای حداقل ماهانه دما طراحی گردد. برای مثال اگر سیستم برای دبی ۸۰ لیتر بر ثانیه و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد طراحی گردد و حداقل دمای ماهانه ۱۵ درجه سانتیگراد شود، شار عبوری سیستم تا ۱۵ درصد یعنی تا ٦٨ لیتر بر ساعت کاهش می‌یابد.

۵-٦-۴- تجربه در مورد نمونه‌های موجود

در حال حاضر، کمتر از ۱۰ درصد از سامانه‌های نمک‌زدایی در سراسر جهان، سیستم پیش‌تصفیه غشایی دارند. تجربه استفاده از سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی MF و UF به کمتر از ۲۰ سال می‌رسد. بررسی عملکرد سیستم پیش‌تصفیه در ۱۰ سامانه آب شرب در ایالات متحده با استفاده از UF و MF انجام شده است. اطلاعات ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی به طور کلی موفقیت‌آمیز بوده‌اند ولی باید با دقت طراحی و توسط نیروی ماهر و آموزش دیده بهره‌برداری شوند.

جدول ۱: تجربه‌های فیلترهای غشایی (UF و MF)

ردیف	مشکلات سیستم غشایی	ریشه مسئله	درس آموخته
۱	کارکرد کمتر از ظرفیت طراحی	▪ دبی کمتر از میزان پیش بینی ▪ عدم توجه به آزمایشات کیفی آب خام	▪ نیاز به آزمایشات پایلوت در زمان تغییرات شدید کیفیت آب ▪ در نظر گرفتن ضریب ایمنی با توجه به نتایج آزمایشات
۲	▪ افزایش تعداد دفعات شتشوی فیلتر ▪ خرابی زیاد و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (O&M)	▪ رسوب‌گذاری بیش از حد غشاء ▪ عدم توجه به آزمایشات کیفی آب خام	▪ نیاز به آزمایشات پایلوت در زمان تغییرات شدید کیفیت آب توجه به سیستم پیش‌تصفیه در هنگام طراحی سامانه
۳	کارکرد کمتر از ظرفیت طراحی	نیاز به غشای کمکی و سیستم پشتیبانی	نیاز به استفاده از سیستم جایگزین
۴	هزینه بالای تعویض ممبران	▪ عمر پایین غشاها ▪ رسوب‌گذاری غشا و عدم وجود آگاهی	▪ توجه به مشخصات غشای تولیدی ▪ توجه به سیستم پیش‌تصفیه در هنگام طراحی سامانه
۵	▪ خرابی زیاد و نگهداری نامناسب ▪ کارکرد کمتر از ظرفیت پیش بینی شده	▪ شکستگی زیاد فیبر غشاها ▪ رسوب‌گذاری زیاد غشاء و تغییر کیفیت آب	▪ ایجاد تجربه در تعویض ممبران غشاها ▪ شیمی آب و کیفیت غشاء

ردیف	مشکلات سیستم غشایی	ریشه مسئله	درس آموخته
۶	کارکرد کمتر از ظرفیت طراحی	▪ خرابی زیاد ممبران ▪ زمان نامناسب باز و بسته کردن شیرآلات ▪ عدم انجام تست یکپارچگی ▪ نیاز به ظرفیت غشایی بیشتر	▪ بررسی مجدد فرآیند عملیاتی با احتمال بدترین اتفاقات ممکن
۷	هزینه‌های زیاد بهره‌برداری و نگهداری	شستشوی شیمیایی مکرر بیش از میزان پیش‌بینی	▪ نیاز به آزمایشات پایلوت در زمان تغییرات شدید کیفیت آب در نظر گرفتن ضریب ایمنی با توجه به نتایج آزمایشات
۸	خرابی زیاد سیستم	▪ بستن نامناسب غشاها ▪ آزمایش سیستم قبل از شروع کارکرد	▪ عدم استفاده از ممبرانها بدون انجام آزمایشات کیفی
۹	مشکلات عملیاتی سیستم	آموزش پرسنل کاربر	آموزش پرسنل به ویژه توسط شرکت‌های سازنده
۱۰	▪ خرابی زیاد ▪ کارکرد کمتر از ظرفیت پیش‌بینی شده	▪ عدم انجام تست یکپارچگی و خرابی غشاء ▪ نشت هوا از واشرها و دریچه‌ها	▪ ایجاد اطمینان از استفاده از تجهیزات استاندارد ▪ تهیه ضمانت کارخانه سازنده

۵-۷- مثال طراحی

۵-۷-۱- سیستم UF تحت خلا

این مثال با پیش فرض اولیه سیستم UF تحت خلاء می‌باشد. سیستم پیش‌تصفیه غشایی UF برای ۵۰۰۰۰ متر مکعب در روز برای نمک‌زدایی آب دریا با نسبت بازیابی ۴۳ درصد برای سیستم RO و ۵ درصد جریان برگشتی (۹۵ درصد بازیابی سیستم UF) طراحی شده است. همچنین سیستم پیش‌تصفیه غشایی دارای فیلتر دیسکی ۱۰۰ میلی‌متر در بالادست می‌باشد. کدورت آب بین ۰٫۳ تا ۱۰ NTU متغیر است. کل مواد جامد معلق بین ۱۵-۵ میلی‌گرم بر لیتر و در بعضی مواقع تا ۲۰ نیز میرسد، حداکثر تعداد جلبک‌ها در منبع آب ۲۰۰۰۰ سلول در میلی‌لیتر و میزان هیدروکربن کمتر از ۰٫۰۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

[(50000 m^3/day/43%)x 1.05=122093 m^3/day]

پارامترهای اصلی طراحی به شرح زیر می‌باشند:

مشخصات منابع آب	
دبی جریان	122093 m^3/day
دما (میانگین متوسط ماهانه/حداقل ماهانه)	20^0 C/ 15^0 C
کدورت (حداکثر میانگین سالانه / روزانه حداکثر)	1,5 Ntu/10 Ntu
تعداد جلبک‌ها (میانگین حداکثر سالانه / روزانه)	200/20000 cell/ml
اهداف کیفی پیش‌تصفیه آب شور	
کدورت (میانگین / ماکزیمم)	0.05 Ntu / 0.3 Ntu
SDI_{15}	کمتر از ۳ در ۹۵ درصد مواقع/ ۵
پارامترهای طراحی شده پیش‌تصفیه تحت خلا، غشای ممبران UF	
مدل ممبران (المنت ۸ اینچی)	ZW 1000 –V3
متوسط شار عبوری (با میانگین دمای ۲۰ درجه سانتیگراد)	40 l/m^3h
ضریب تصحیح دما برای حداقل، متوسط ماهانه دما ۱۵ درجه سانتیگراد	۱,۱۵
دبی طراحی با حداقل میانگین ماهانه درجه حرارت از ۱۵ درجه سانتیگراد	45 L/m^3h/1,15=39.1 L/m^3h
کل سطح غشای مورد نیاز	((122093m^3/day*1000)/(39.1L/m^3h*24h))=130108 m^2=130108m^2
تعداد ماژول‌های ممبران در ۵۵,۲ متر مربع	130108m^2/55.2m^2=2357
تعداد وسل‌های غشایی در ۴۸ ماژول	2357/48=49

این مخزن با احتساب یک سیستم رزرو (۵+۱) طراحی می‌شود. تنظیمات نهایی سیستم UF شامل ۱۰ مخزن است که در ٦ کانکس قرار می‌گیرد که ۵ مورد فعال و کانکس ٦ رزرو می‌باشد.

(122093*1000/10*5*48*55.2*24)=38.4

این مقدار در محدوده قابل قبول ۴۵-۳۰ L/m^2 h می‌باشند که توسط آزمایشات پایلوت تعیین می‌گردد.

۵-۷-۲- سیستم پیش‌تصفیه UF تحت فشار

این مثال مراحل اصلی و معیار طراحی مدل تحت فشار را نشان می‌دهد. سیستم پیش‌تصفیه آب UF با همان دبی و کیفیت مطابق جدول قبل می‌باشد.

این سیستم با ضریب ایمنی ۷ درصد و سیستم بکواش و رزرو در نظر گرفته شده است.

(122093*1000/(8*120*48*2*40/24))=66.2

این مقدار در محدوده قابل قبول ۷۵-۵۰ L/m^2 h می باشند که توسط آزمایشات پایلوت تعیین می‌گردد.

مشخصات منابع آب	
دبی جریان	122093 m^3/day
دما (میانگین متوسط ماهانه/حداقل ماهانه)	20^0 C/ 15^0 C
کدورت (حداکثر میانگین سالانه / روزانه حداکثر)	1.5 Ntu/10 Ntu
تعداد جلبکها (میانگین حداکثر سالانه / روزانه)	200/20000 cell/ml
اهداف کیفی پیش‌تصفیه آب شور	
کدورت (میانگین / ماکزیمم)	0.05 Ntu / 0.3 Ntu
SDI_{15}	کمتر از ۳ در ۹۵ درصد مواقع/ ۵
پارامترهای طراحی شده پیش‌تصفیه تحت فشار، غشای ممبران UF برند SEAGUARD	
مدل ممبران (المنت ۸ اینچی)	SEAGUARD 40
متوسط شار عبوری (با میانگین دمای ۲۰ درجه سانتیگراد)	65 l/m^3h
ضریب تصحیح دما برای حداقل، متوسط ماهانه دما ۱۵ درجه سانتیگراد	1.15
دبی طراحی با حداقل میانگین ماهانه درجه حرارت از ۱۵ درجه سانتیگراد	65 L/m3h/1,15=56.5 L/m3h
کل سطح غشای مورد نیاز	((122093m^3/day*1000)/(56.5L/m^3h*24h))=90039 m^2
تعداد ماژول‌های ممبران در ۴۰ متر مربع	90039m^2/40m^2=2251
تعداد وسل‌های غشایی در ۲ ماژول	2251/2=1125

۵-۸- تأثیر کیفیت آب بر عملکرد:

فیلتراسیون غشایی قابلیت بیشتری در حذف ذرات نسبت به فیلتراسیون بستر متعارف دارد. از آنجا که فرآیند جداسازی ذرات بر اساس فیلتراسیون غشایی با اندازه منافذ نسبتاً یکنواخت می‌باشد، راندمان حذف ذرات نسبت به بستر فیلتراسیون با بسترگرانولی بهتر و پایدارتر می‌باشد.

فن‌آوری‌های فیلتراسیون غشایی از مشکلات ناشی از تغییرات فصلی در کدورت، رنگ، آلودگی پاتوژن و اندازه و نوع ذرات آب کمتر تاثیر می‌پذیرد زیرا مکانیسم تصفیه آنها حذف ذرات از طریق غشاهای ریز می‌باشد (Pearce، 2011). در نتیجه برای عملکرد مناسب و ثابت آن‌ها، انعقاد و لخته سازی آب خام اهمیت کمتری دارد.

در مقابل، عملکرد پیش‌تصفیه سیستم‌های فیلتراسیون با بسترگرانولی وابسته به چگونگی انعقاد و لخته‌سازی آب خام قبل از فرآیند فیلتراسیون می‌باشد. بنابراین، در آبگیرهای دارای تغییرات فصلی زیاد و میزان زیاد پاتوژن‌ها و غلظت بالای ذرات ریز و مواد آلی، فن‌آوری های فیلتراسیون غشایی عملکرد بهتری دارند. اما اگر آب خام لازم برای سامانه نمک‌زدایی از یک آبگیر سطحی دور از منطقه تحت تاثیر جزر و مد و در عمق کافی جمع‌آوری شود و در معرض تغییرات کیفی و فصلی محدودی باشد (معمولا عمق ۱۰ متر/ ۳۳ فوت یا عمیق تر)، فیلتراسیون با بسترگرانولی جایگزین

مقرون به صرفه‌تری است. دمای آب خام در هنگام انتخاب سیستم پیش‌تصفیه عامل بسیار مهمی می‌باشد. استفاده از سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی تحت خلا معمولاً نسبت به فیلتراسیون با بسترگرانولی متعارف برای آب خام با دمای کمتر از ۱۵ درجه سانتیگراد کم‌هزینه‌تر است زیرا عملکرد فیلتراسیون غشایی تحت خلا به طرز چشمگیری با افزایش ویسکوزیته آب خام در دمای پایین کاهش می‌یابد. (AWWA ، 2007).

مورد دیگری که استفاده از فیلتراسیون با بستر گرانولی مقرون به صرفه است، زمانی است که منبع آب در معرض تغییرات ناگهانی و غیرقابل پیش‌بینی آلاینده‌های خاص مانند pH، لکه‌های شیمیایی، لکه‌های روغن و گریس و در معرض مکرر تغییر دمای آب باشد. آب خام به طور طبیعی حاوی ذراتی است که می‌تواند در هنگام تماس با غشاهای MF و UF، به آنها آسیب برساند (Ransome et al.، 2015). برای از بین بردن این ذرات، سیستم آبگیر سامانه RO باید دارای سیستم آشغالگیر با اندازه مش ۱۲۰ میلی‌متر یا کمتر قبل از سیستم پیش‌تصفیه غشایی باشد. سیستم‌های پیش‌تصفیه با بسترگرانولی متعارف نسبت به این ذرات موجود در آب حساس نیستند و نیازی به سیستم آشغالگیر قبل از فیلترها ندارند. معمولا، آشغالگیرهای مکانیکی با اندازه مش ۳-۱۰ میلی‌متر، برای محافظت از سیستم‌های پیش‌تصفیه با بسترگرانولی متعارف کافی است. استفاده از پیش‌تصفیه غشایی، نیاز و هزینه نصب و بهره‌برداری از سیستم فیلتر کارتریج را قبل از پمپ‌های خوراک RO کاهش می‌دهد. اما، فیلترهای کارتریج در هنگام استفاده از سیستم فیلتراسیون با بستر گرانولی برای پیش‌تصفیه، برای محافظت از غشاهای RO در برابر صدمات ناشی از فرار ذرات شن و ماسه ریز مورد نیاز هستند. اندازه‌ی غشاهای MF و UF معمولاً چندین مرتبه از فیلترهای کارتریج کوچکتر هستند و بنابراین، اگر یکپارچگی غشای پیش‌تصفیه مناسب باشد، فیلتر کارتریج لازم نخواهد بود. اما اگر سیستم پیش‌تصفیه غشایی از غشاهای MF یا UF با کیفیت پایین استفاده کند که از دوام محدودی برخوردار بوده و به راحتی در حین فشار هیدرولیک شکسته شود یا بدلیل آشغالگیر نامناسب سوراخ شود، استفاده از فیلترهای کارتریج توصیه می‌شود. وقوع شکوفایی بلند مدت و مکرر جلبک‌ها در منطقه آبگیر، عامل مهم دیگری در انتخاب فرآیند پیش‌تصفیه در نظر گرفته می‌شود. همچنین بسیاری از جلبک‌های دریایی ریز، نمی‌توانند در برابر فشار خارجی بیشتر از ۰/۳-۰/۶ بار (۴-۸ psi) مقاومت کرده و سلول‌های آن‌ها در معرض فشار یا خلا فیلترهای MF-UF متلاشی می‌شوند.

هنگامی که سلول‌های جلبک متلاشی می‌شوند، ترکیبات آلی تجزیه‌پذیر داخل سلولی آن‌ها آزاد شده و باعث تسریع در رشد و تشکیل بیوفیلم باکتریایی بر روی غشاهای RO می‌شود. تشکیل این بیوفیلم تسریع یافته باعث ایجاد رسوبات سنگین در غشاهای RO می‌شود و می‌تواند در طی چند هفته از آغاز شکوفایی جلبکی، منجر به کاهش قابل توجهی از ظرفیت تولید سامانه نمک‌زدایی شود. در چنین شرایطی، فیلتراسیون با بسترگرانولی ثقلی نسبت به پیش‌تصفیه غشایی ارجحیت دارد. زیرا این امکان را فراهم می‌کند که جلبک‌ها از آب خام با حداقل متلاشی شدن سلول‌های خود جدا شوند. در نتیجه، در آبگیرهای کم عمق، که در معرض شکوفایی جلبکی با شدت زیاد هستند فیلترهای با بستر گرانولی ثقلی عملکرد بهتری نسبت به فیلترهای UF یا MF برای پیش‌تصفیه آب‌های شور، دارند.

۵-۹- کمیت و کیفیت پسماند تولید شده

سیستم‌های پیش‌تصفیه متعارف و غشایی با توجه به نوع، کیفیت و کمیت پسماند تولید شده در طول فرآیند فیلتراسیون تفاوت زیادی دارند (جدول شماره ۲). به طور معمول، سیستم‌های فیلتراسیون با بسترگرانولی تنها پسماند مایع حاصل از بکواش فیلتر، تولید می‌کنند. حجم این پسماند در سامانه نمک‌زدایی با طراحی و بهره‌برداری مناسب بین ۳ تا ۶ درصد از کل حجم آب خام می‌باشد. علاوه بر کلوئیدهای آب خام، پسماند همچنین دارای ماده منعقدکننده نیز می‌باشد.

جدول شماره ۲: مقایسه جریان پسماند سیستم پیش‌تصفیه با بستر گرانولی و غشایی

جریان پسماند (درصد آب خام)	فیلتراسیون با بستر گرانولی	فیلتراسیون غشایی
آب شستشوی آشغالگیر درشت	۰/۱- ۰/۲	۰/۱- ۰/۲
آب شستشوی آشغالگیر ریز	ندارد (مورد نیاز نیست)	۰/۵- ۱/۵
آب شستشوی فیلتر (ریجکت)	۳/۰- ۶/۰	۵/۰- ۱۰/۰
Chemically enhanced backwash شستشوس شیمیایی غشا	ندارد (لازم نیست)	۴/۲- ۰/۰
مواد شیمیایی تمیزکننده غشاها	ندارد (لازم نیست)	۰۵ /۰۳ -۰/۰
مجموع	۳/۱۰ – ۶/۲۰	۵/۸۳ – ۱۲/۱۵

سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی دو جریان پسماند مایع تولید می‌کنند: (۱) آب بکواش فیلترها (ریجکت) و (۲) شستشوی شیمیایی غشاها (CEB). حجم آب بکواش فیلترهای غشایی معمولا ۵-۱۰٪ حجم آب خام می‌باشد، که تقریباً دو برابر حجم آب بکواش فیلترهای سیستم‌های پیش‌تصفیه با بستر گرانولی است.

جریان پسماند دیگری که فقط با پیش‌تصفیه غشایی در ارتباط است در زمان تمیز کردن شیمیایی غشاهای پیش‌تصفیه تولید می‌شود. تمیز کردن شیمیایی که نظافت در محل (CIP) نامیده می‌شود و در طی آن غشاها در محلول اسید هیدروکلریک، اسید سیتریک، هیدروکسید سدیم، بیوسایدها و سورفاکتانت‌ها قرار می‌گیرند و برای حفظ عملکرد و بهره‌وری غشا بسیار مهم است و معمولاً یک بار در هر ۱-۳ ماه مورد نیاز می‌باشد. CIP جریان پسماندی ایجاد می کند که ۰/۰۳-۰/۰۵ ٪ از حجم آب خام را شامل می‌شود.

جریان‌های پسماند تولید شده در طول نظافت غشای CEB و CIP باید قبل از تخلیه، در محل مخزن خنثی‌سازی پیش‌تصفیه گردد. هزینه‌های تصفیه و دفع پسماند مواد شیمیایی تمیز کننده غشا، هنگام مقایسه سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی و با بسترگرانولی باید در نظر گرفته شود.

۱۰-۵- مصرف مواد شیمیایی

معمولا، هزینه مواد شیمیایی در فیلتراسیون با بسترگرانولی حدود ۴-۶٪ از کل هزینه‌های سالانه O&M تولید آب نمک‌زدایی شده می‌باشد. سیستم‌های پیش‌تصفیه با بستر گرانولی نسبت به سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی ۵۰-۱۰۰٪ بیشتر از مواد شیمیایی مانند نمک‌های آهن و یا پلیمرها برای حذف رسوبات ذره‌ای و کلوئیدی استفاده می‌کنند (Prihasto و همکاران ، ۲۰۰۹).

سیستم‌های پیش‌تصفیه با بستر گرانولی از هیچ ماده شیمیایی برای تمیز کردن بستر فیلتراسیون استفاده نمی‌کنند (بجز افزودن گاه به گاه کلر). در مقابل، سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی از مقدار قابل توجهی از مواد شیمیایی تمیز کننده غشا برای CEB و CIP استفاده می‌کنند که از نظر کل هزینه‌های شیمیایی سالانه با کل هزینه‌های مواد شیمیایی مورد استفاده در فیلترهای با بستر گرانولی قابل مقایسه است. هزینه مواد شیمیایی باید در تجزیه و تحلیل هزینه- سود سیستم پیش‌تصفیه سامانه نمک‌زدایی در نظر گرفته شود.

یکی دیگر از عواملی که باید در مصرف مواد شیمیایی سامانه و تجزیه و تحلیل هزینه‌ها به آن توجه شود دوره تمیز کردن سیستم RO و هزینه‌های آن است.

برای کنترل رسوب‌گذاری زیستی در فیلتراسیون پیش‌تصفیه و RO، گاهی اوقات فیلترهای با بستر گرانولی با آب کلردار حاوی ۱/۵-۵/۰ میلی‌گرم در لیتر کلر شستشو می‌شوند. این به اصطلاح "شوک" کلرزنی معمولاً یک بار در ماه به مدت ۴-۶ ساعت انجام می‌شود.

بکواش تقویت شده شیمیایی با دوز کلر ۲۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر روی تمام غشاهای پیش‌تصفیه حداقل یک بار در روز به مدت ۲۰-۳۰ دقیقه انجام می‌شود. از آن‌جا که فرآیند CEB در بیشتر سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی شامل بکواش آب-هوا می‌باشد، کلر در هوای اطراف محصور می‌شود و می‌تواند باعث خوردگی تجهیزات سازه‌ها شود. بنابراین، استفاده از پوشش‌های محافظتی و مواد مناسب مقاوم در برابر خوردگی بسیار مهم می‌باشد.

کلرزدایی آب منبع فیلتر شده با بی سولفات سدیم پس از تمیز کردن CEB بسیار مهم است و در مقایسه با بستر گرانولی و پیش‌تصفیه آب منبع غشایی باید به هزینه اضافی شیمیایی کلرزدایی توجه شود.

۵-۱۱- مصرف انرژی

سیستم‌های پیش‌تصفیه با بستر گرانولی از انرژی کمی برای جدا کردن ذرات از آب خام استفاده می‌کنند. سامانه‌های بزرگ نمک‌زدایی RO معمولا شامل فرآیندهای پیش‌تصفیه فیلتراسیون با بستر گرانولی ثقلی تک مرحله‌ای می‌باشد که نیازمند حداقل انرژی - معمولا کمتر از ۰/۰۵ کیلو وات ساعت در متر مکعب - می‌باشد. از طرف دیگر، سیستم‌های پیش‌تصفیه غشایی (تحت فشار یا تحت خلا)، تقریباً چهار تا شش برابر بیشتر از سیستم‌های با بستر گرانولی (۰/۲ تا ۰/۴ کیلو وات ساعت در متر مکعب) برای حذف ذرات از آب خام انرژی مصرف می‌کنند. البته برای بکواش غشا و پمپاژ آب خام نیز انرژی مصرف می‌شود. برای مقایسه هزینه سیستم پیش‌تصفیه غشایی در مقابل پیش‌تصفیه متعارف در یک نمونه خاص، کل مصرف انرژی مورد توجه قرار می‌گیرد.

۵-۱۲- جمع‌بندی

جدول ۳: روش‌های پیش‌تصفیه مکانیکی RO و موارد مورد بررسی در هر روش

روش‌های پیش‌تصفیه	موارد مورد بررسی
ته نشینی	جامدات معلق – کلوئیدها - مواد آلی – رنگ – SDI
فیلتراسیون چند لایه	کدورت – جامدات معلق ۱۰ – ۲ میکرون - SDI
فیلتراسیون ریز با راندمان بالا	جامدات معلق کمتر از ۰/۲۵ میکرون
فیلترهای کربنی	کل کربن آلی – کلر
فیلترهای سبز	آهن – منگنز – سولفید هیدروژن
سختی‌گیرهای سدیمی	سختی – آهن محلول
لامپ UV	مواد آلی – میکروارگانیسم‌ها
غشاهای UF و MF	میکروارگانیسم‌ها – جلبک‌ها – رنگ

جدول ۴: روش‌های پیش‌تصفیه شیمیایی RO و موارد مورد بررسی در هر روش

پیش‌تصفیه شیمیایی	انواع	مقادیر مورد استفاده	موارد مورد بررسی
کلر	انواع ترکیبات کلر	۰/۰۲ ppm >	میکروارگانیسم‌ها - کل کربن آلی - رنگ
ازن	-	-	میکروارگانیسم‌ها - کل کربن آلی - رنگ
آنتی اسکالانت	sodium hexametaphosphate (SHMP)	-	سختی - سیلیکا
	polyacrylic acid (PAA)	-	
	hydroyethylidene diphosphonate (HEDP)	-	
متا بی سولفیت سدیم *	-	۲ mg به ازای هر میلی‌گرم کلر آزاد	اکسید کننده (کلرآزاد)
بیوسایدهای غیر اکسید کننده	سدیم بی سولفیت	۵۰۰ - ۱۰۰۰ ppm	میکروارگانیسم‌ها
	DBNPA(2,2-dibromo-3-nitrilopropionamide)	۱ – ۲ ppm	

* نگهداری متا بی سولفیت سدیم وابسته به نوع آن می‌باشد. نوع جامد آن بین ٦ – ۴ ماه قابل نگهداری می‌باشد. اما در حالت محلول، مدت زمان نگهداری وابسته به غلظت محلول می‌باشد:

غلظت ۱۰ ٪ وزنی = ۱ هفته

غلظت ۲۰ ٪ وزنی = ۱ ماه

غلظت ۳۰ ٪ وزنی = ٦ ماه

بخش ششم: رهنمودهایی برای انتخاب سیستم پیش‌تصفیه

٦-١-مقدمه

همانطور که در بخش ۲ نشان داده شد، منبع آب شور حاوی پنج نوع از رسوبات است که بسته به غلظت آنها می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر عملیات سامانه‌های نمک‌زدایی داشته باشد: (۱) ذره‌ای، (۲) کلوئیدی، (۳) معدنی، (۴) مواد آلی طبیعی، و (۵) میکروبی. هدف از پیش‌تصفیه، کاهش انواع رسوبات موجود در آب سطحی می‌باشد که توسط اسمز معکوس (RO) امکان نمک‌زدایی مطمئن، کارآمد و مقرون به صرفه را فراهم می‌کند. با این حال، انتخاب و وضعیت سیستم پیش‌تصفیه عمدتاً بر اساس غلظت رسوبات ذره‌ای، کلوئیدی، مواد آلی طبیعی و میکروبی می‌باشد. رسوبات(scaling) معدنی عاملی تعیین کننده جهت انتخاب سیستم پیش‌تصفیه در نظر گرفته نمی‌شود زیرا تمامی آب‌های شور در سطوحی دارای ترکیباتی هستند که می‌توانند عملکرد سیستم RO را تحت تأثیر قرار دهند و بنابراین، تمام سامانه‌های نمک‌زدایی مجهز به سیستم‌های افزودن ضد رسوب (antiscalant) می-باشند.

در روش‌های پیش‌تصفیه ، میزان رسوبات ذره‌ای توسط پارامتر کدورت و شاخص SDI آب شور اندازه‌گیری می‌شود. گرفتگی کلوئیدی توسط مقدار کل هیدروکربن‌ها (THC) و آهن و منگنز موجود در آب منعکس می‌گردد و گرفتگی مواد آلی طبیعی و میکروبی توسط غلظت کل کربن آلی (TOC) اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این، گرفتگی میکروبی ایجاد شده به دلیل شکوفایی جلبکی با توجه به غلظت کل سلول‌های جلبکی موجود در آب منبع شور در نظر گرفته می‌شود.

٦-٢- رهنمود برای انتخاب پیش‌تصفیه

موقعیت یا ساختار پیش‌تصفیه غشایی و فن‌آوری توصیه شده برای شرایط ویژه سایت یک پروژه نمک‌زدایی معین، بر اساس نوع آبگیر سامانه نمک‌زدایی و کیفیت آب منبع طبقه‌بندی می‌شوند.

٦-٢-١-سامانه‌های با آبگیر زیر سطحی

همانطور که در فصل ۱ نشان داده شده است، آبگیرهای زیرسطحی (به عنوان مثال، چاه‌های ساحلی، چاه‌های افقی، گالری‌های نفوذ و ....) معمولاً آب شور با کیفیت بهتری را نسبت به آبگیرهای سطحی جمع آوری می کنند زیرا آب آن‌ها بطور طبیعی از طریق رسوبات کف، پیش فیلتر می‌شود. در نتیجه، آب شور جمع‌آوری شده توسط آبگیرهای زیرسطحی، کیفیتی مطابق با جدول زیر دارد.

کیفیت معمول آب در سامانه‌های با آبگیرهای زیرسطحی

پارامتر کیفیت آب منبع	مقدار
کدورت، NTU	<۰/۵
SDI_{15}	< ۳/۰
کل کربن آلی، mg/l	<۱/۰
کل هیدروکربن ها،mg/l	<۰/۰۱
آهن کل ، mg/l	<۰/۰۵
منگنز کل ،mg/l	<۰/۰۲
جلبک، cell/L	۰/۰

چنین کیفیتی با کیفیت آب پیش‌تصفیه شده هدف مندرج در جدول فصل دوم مطابقت دارد و به طور مستقیم به منظور پردازش از طریق سیستم‌های RO بدون پیش‌تصفیه اضافی به جز افزودن مواد رسوب‌گیر (antiscalant) مناسب می‌باشد. بنابراین، سیستم‌های پیش‌تصفیه جایگزینی که برای این کیفیت آب بسیار مناسب می‌باشند عبارتند از:

- فیلترهای کارتریج به تنهایی
- فیلترهای کارتریج و فیلترهای تحت فشار گرانولی با بستر دولایه تک مرحله‌ای با میزان بارگذاری ۱۶-۲۵ m^3/m^2h (۷-۱۰ gpm/ft^2)
- فیلترهای اولترا فیلتراسیون/ میکروفیلتراسیون (UF / MF) تحت فشار با شار طراحی ۱۰۰-۱۲۰ Lmh (۶۰-۷۰ gfd)

در بیشتر آبگیرهای زیرسطحی جمع‌آوری‌کننده آب شور، فیلتراسیون کارتریج کافی است و هیچ پیش‌تصفیه اضافی (به جز برای افزودن مواد رسوب گیر[1]) لازم نیست (ووتچکوف ، ۲۰۱۰). در این حالت، فیلترهای کارتریج عمدتاً در جهت به دام انداختن ذرات شن و ماسه کوچک یا ذرات سیلت عمل می‌کنند.

ترکیبی از فیلتراسیون کارتریج و فیلترهای تحت فشار گرانولی با بستر دو لایه تک مرحله‌ای معمولاً فقط در مواردی استفاده می‌شود که انتظار می‌رود کیفیت آب منبع به صورت فصلی تغییر کند و یا اگر سفره‌های ساحلی نامحدود باشند و بصورت هیدرولیکی به منابع بالقوه آلودگی متصل باشند که در طول عمر مفید سامانه نمک‌زدایی ثابت می‌باشد. در چنین شرایطی، فیلترهای پیش‌تصفیه اغلب بدون افزودن ماده منعقدکننده راهبری می‌شوند.

علاوه بر این، فیلترهای تحت فشار، گاهی اوقات جهت کاهش تناوب (CIP) سیستم RO و افزایش عمر مفید غشاهای RO نصب می‌شوند. تجربه عملی نشان می‌دهد که نصب سیستم فیلتراسیون تحت فشار با بسترگرانولی در مقابل فیلترهای کارتریج، امکان افزایش زمان بین دو CIP سیستم RO را از ۶ ماه یک بار به هر ۱۲ ماه یک بار و افزایش عمر مفید غشاهای RO را از ۷ به ۱۰ سال را می‌دهد. آنالیز هزینه‌ای بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری اضافی برای نصب فیلترهای پیش‌تصفیه و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری (O&M) برای CIP و جایگزینی غشاهای RO، زمانیکه هزینه CIP نسبتا بالا بوده و یا سامانه نمک‌زدایی در مکانی دورافتاده باشد، موجه است.

استفاده از فیلترهای پیش‌تصفیه UF یا MF تحت فشار به جای فیلترهای بستر گرانولی تحت فشار معمولاً پرهزینه‌تر بوده و تنها در صورتی عملی می‌باشد که به صورت دوره‌ای، آب خام حاوی آلاینده‌هایی از جمله آهن و منگنز باشد که با غشاها آسانتر حذف می‌گردد. لازم به ذکر است که آب شور برخی از سامانه‌های نمک‌زدایی با آبگیرهای زیرسطحی حاوی آهن و منگنز نیز گاهی بیش از میزان استاندارد می‌باشد. چنین شرایطی معمولاً زمانی اتفاق می‌افتد که آبگیرهای زیرسطحی سامانه‌ی نمک‌زدایی در نزدیکی مدخل یا خور رودخانه بزرگی که وارد آب شور می‌شود (به عنوان مثال اقیانوس یا دریا) واقع شود. در این حالت، برای محافظت از غشاهای RO در برابر گرفتگی کلوئیدی، آهن و منگنز می‌بایست (معمولا توسط کلرزنی یا افزودن پرمنگنات) اکسید شده، ته نشین شود و توسط فیلتراسیون حذف گردند. در این حالت، گزینه پیش‌تصفیه ترجیحی، فیلتراسیون UF یا MF می‌باشد. از طرف دیگر، می‌توان از فیلتراسیون بستر گرانولی تحت فشار با بستر مخصوص شن و ماسه سبز جهت حذف آهن و منگنز استفاده نمود.

۶-۲-۲- سامانه‌های با آبگیر سطحی و کیفیت آب مناسب

معمولاً سامانه‌های نمک‌زدایی با آبگیرهای سطحی عمیق (به عنوان مثال، آبگیرهایی با عمق ۱۵ متر (۵۰ فوت) یا پایین‌تر نسبت به سطح آب) کیفیت آب عالی را تولید می‌کنند.

1. Anti-Scaling

کیفیت معمول آب در سامانه‌های با آبگیرهای سطحی عمیق

پارامتر کیفیت آب منبع	مقدار
کدورت، NTU	۱۰/۰-۰/۵
SDI_{15}	۸-۱۰
کل کربن آلی، mg/l	۱/۰-۰/۵
کل هیدروکربن‌ها، mg/l	<۰/۰۱
آهن کل، mg/l	<۰/۰۵
منگنز کل، mg/l	<۰/۰۲
جلبک، cell/L	۱۰۰-۲۰۰۰۰

اگرچه کیفیت آب تولید شده توسط آبگیرهای سطحی عمیق خوب است، اما بازهم چنین آب‌های شوری، نیاز به پیش‌تصفیه دارند که عمدتاً با هدف کاهش گرفتگی ذره‌ای انجام می‌شود. پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی و کلوئیدی چنین آب‌هایی نسبتاً کم می‌باشد و معمولا مقدار هیدروکربن‌ها که می‌تواند سبب ایجاد مشکلات گرفتگی کلوئیدی در غشای RO شود در این عمق کمتر است.

تجربه عملی نشان می‌دهد که مناسب‌ترین پیش‌تصفیه برای سامانه‌های نمک‌زدایی با آبگیرهای عمیق و کیفیت آب مناسب عبارتند از:

- فیلترهای بستر دوگانه گرانولی تحت فشار تک مرحله‌ای با نرخ بارگذاری ۱۴-۲۰ m^3/m^2h (۸-۶ gpm/ft^2) و فیلترهای کارتریج.
- فیلترهای UF/MF تحت فشار با شار طراحی ۷۰-۸۰ Lmh (۴۱-۴۷ gfd)
- فیلترهای UF/MF خلا با شار طراحی ۵۰-۶۰ Lmh (۲۹-۳۵ gfd)

رایج‌ترین فرآیند پیش‌تصفیه برای سامانه‌های نمک‌زدایی با کیفیت آب نشان داده شده در جدول فوق تا به امروز، ترکیبی از فیلترهای بستر گرانولی تحت فشار و فیلترهای کارتریج بوده است. اگرچه به جای فیلترهای تحت فشار، می‌توان از فیلترهای بستر گرانولی ثقلی استفاده کرد، اما معمولاً این نوع فیلترها برای این نوع کیفیت آب مقرون به صرفه نیست. معمولا آب دریا در اعماق بالاتر از ۱۵ متر (۵۰ فوت) حاوی مقدار زیادی جلبک نیستند.

لازم به ذکر است که همه آبگیرهای سطحی عمیق همیشه کیفیت آب را به همان خوبی که در جدول فوق ارائه شده است، ندارند. اگر آبگیر سطحی در مسیر جریان زیر آبی، نزدیک نقطه تلاقی با یک رودخانه، در منطقه جزر و مد یا در منطقه‌ای با ترافیک دریایی مکرر (به عنوان مثال، بندر یا کانال کشتی) واقع شود، کیفیت ستون آب منبع به صورت مداوم تغییر می‌یابد و آلودگي آب سطحی از طریق کل ستون آب پخش مي‌شود و منجر به کاهش کیفیت آب جمع‌آوري شده توسط آبگیر سامانه نمک‌زدایی مي‌شود. بنابراین، حتی زمانیکه سامانه نمک‌زدایی دارای آبگیر عمیق باشد، می‌بایست کیفیت آب در مجاورت آبگیر مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت باید مناسب‌ترین فرآیند سیستم پیش‌تصفیه مورد استفاده قرار گیرد.

۶-۲-۳- سامانه‌های با آبگیر سطحی در معرض شکوفایی جلبکی متوسط

این نوع سامانه‌های نمک‌زدایی متداول‌ترین نوع در دنیا هستند. چنین سامانه‌هایی معمولاً دارای آبگیرهایی با عمق متوسط می‌باشند. جاییکه در آن کیفیت آب منبع به طور دوره‌ای تحت تأثیر شکوفایی جلبکی متوسط قرار دارد. کیفیت آب معمول برای چنین سامانه‌های نمک‌زدایی در جدول زیر نشان داده شده است.

کیفیت معمول آب در سامانه‌های با آبگیرهای در معرض شکوفایی جلبکی متوسط

پارامتر کیفیت آب منبع	مقدار
کدورت، NTU	۲۰-۲
SDI_{15}	۱۰-۱۸
کل کربن آلی، mg/l	۱/۵-۰/۵
کل هیدروکربن‌ها، mg/l	<۰/۰۲
آهن کل، mg/l	<۰/۰۵
منگنز کل، mg/l	<۰/۰۲
جلبک، cell/L	۵۰-۴۰۰۰۰

مؤثرترین و مقرون به صرفه‌ترین گزینه‌های پیش‌تصفیه برای سامانه‌های نمک‌زدایی با کیفیت آب تحت تأثیر شکوفایی جلبکی متوسط عبارتند از:

- فیلترهای دولایه با بستر گرانولی ثقلی تک مرحله‌ای با نرخ بارگذاری از ۸-۱۰ $m^3/m^2 h$ (۳-۴ gpm/ft^2) و فیلترهای کاتریج.
- فیلترهای UF/MF تحت فشار با شار طراحی ۵۰-۶۰ Lmh (۲۹-۳۵ gfd)
- فیلترهای UF/MF خلا با شار طراحی ۳۰-۴۰ Lmh (۱۸-۲۳ gfd)

اگرچه هر سه فرآیند پیش‌تصفیه گفته شده در مقیاس کامل در سراسر جهان وجود دارند، در حال حاضر بیش از ۹۰٪ سامانه‌های نمک‌زدایی با کیفیت‌های ذکر شده از ترکیب فیلترهای با بستر گرانولی ثقلی و فیلترهای کارتریج استفاده می‌کنند.

۶-۲-۴- سامانه‌های با آبگیر سطحی در معرض شکوفایی جلبکی زیاد

سامانه‌های نمک‌زدایی واقع در مناطق استوایی و گرمسیری جهان بیشتر در معرض شکوفایی جلبکی زیاد و باران‌های سنگین قرار دارند که می‌تواند برای دوره‌های طولانی مدت، ۲-۴ ماه در سال به طول انجامد. این رویدادهای طبیعی تأثیر عمیقی بر کیفیت آب ورودی به سامانه‌های نمک‌زدایی دارد و مدیریت موفقیت‌آمیز آنها مستلزم استفاده از سیستم‌های پیچیده‌تر و اغلب سیستم‌های چند مرحله‌ای پیش‌تصفیه می‌باشد. جدول زیر کیفیت آب خام معمول سامانه‌های نمک‌زدایی را نشان می‌دهد، جاییکه آبگیرها دارای عمق کم (۸-۶ m/ ۲۶-۲۰ ft) یا عمق متوسط (۸-۱۵ m/ ۲۶-۵۰ ft) بوده و در معرض شکوفایی جلبکی زیاد قرار دارند.

کیفیت معمول آب سامانه‌های با آبگیرهای در معرض شکوفایی جلبکی زیاد

پارامتر کیفیت آب منبع	مقدار
کدورت، NTU	۳۰-۲
SDI_{15}	۱۲-۲۴
کل کربن آلی، mg/l	۸/۰-۰/۵
کل هیدروکربن‌ها، mg/l	<۰/۰۲
کل آهن، mg/l	<۰/۰۵
کل منگنز، mg/l	<۰/۰۲
جلبک، cell/L	۱۰۰-۶۰۰۰

به دلیل وجود پتانسیل گرفتگی بیولوژیکی و ذره‌ای بالای منابع آب شور که در معرض شکوفایی جلبکی زیاد و یا وقوع باران‌های فصلی طولانی مدت قرار دارند، پیش‌تصفیه موفقیت‌آمیز چنین آب‌هایی مستلزم استفاده از یکی از انواع سیستم‌های فیلتراسیون دو مرحله‌ای است:

- فیلترهای دولایه بستر گرانولی ثقلی با نرخ بارگذاری ۸-۱۲ m^3/m^2 h (۳-۵ fpm/ft^2)، فیلترهای دولایه بستر گرانولی تحت فشار با نرخ بارگذاری ۱۴-۲۰ m^3/m^2 h (۶-۸ gpm/ft^2) و فیلترهای کاتریج
- ته نشینی و زلال‌سازهای سیستم شناورسازی با هوای محلول(DAF)، فیلترهای دولایه بستر گرانولی ثقلی تک مرحله‌ای با نرخ بارگذاری ۶-۸ m^3/m^2 h (۲/۵-۳/۵ gpm/ft^2) و فیلترهای کاتریج
- فیلترهای دولایه بستر گرانولی ثقلی با نرخ بارگذاری ۱۰-۱۲ m^3/m^2 h (۴-۵ gpm/ft^2) و فیلترهای UF/MF تحت فشار با شار طراحی ۷۰-۸۰ Lmh (۴۱-۴۷ gfd)
- فیلترهای دولایه بستر گرانولی ثقلی با نرخ بارگذاری ۱۰-۱۲ m^3/m^2 h (۴-۵ gpm/ft^2) و فیلترهای UF/MF تحت خلا با شار طراحی ۵۰-۶۰ Lmh (۲۹-۳۵ gfd)
- زلال‌ساز DAF و فیلترهای UF/MF تحت فشار با شار طراحی ۵۰-۶۰ Lmh (۲۹-۳۵ gfd)
- زلال‌ساز DAF و فیلترهای UF/MF تحت خلا با شار طراحی ۳۰-۴۰ Lmh (۱۸-۲۳ gfd)

موثرترین و مقرون به صرفه‌ترین فرآیند برای شرایط خاص سایت یک پروژه نمک‌زدایی معین، باید بر اساس تجزیه و تحلیل هزینه چرخه حیات (طول عمر) گزینه های مختلف بررسی شود. در حال حاضر فرآیند پیش‌تصفیه‌ای که وسیع‌ترین کاربرد را داراست، ترکیبی از فیلترهای ثقلی دولایه و فیلترهای تحت فشار دولایه و به دنبال آن فیلترهای کارتریج می‌باشد.

انتخاب فیلترهای با بستر گرانولی ثقلی یا DAF به عنوان اولین مرحله پیش‌تصفیه، عمدتا به سه عامل بستگی دارد: (۱) زمانیکه کدورت آب منبع از ۱۰ NTU بیشتر می‌شود (۲) افزایش جلبک‌ها در آب منبع؛ و (۳) محتوای THC در آب. لازم به ذکر است که زلال‌سازهای DAF هنگام تصفیه آب‌های با کدورت کمتر از ۱۰ NTU عملکرد خوبی ندارند. اگر تجزیه و تحلیل کیفیت آب برای یک پروژه معین نشان دهد که دوره‌های زمانی با کدورت بیش از ۱۰ NTU کمتر از ۲ هفته در سال ادامه پیدا می‌کند، فیلترهای بستر گرانولی ثقلی انتخاب بهتری برای اولین مرحله از پیش‌تصفیه آب منبع محسوب می‌شوند.

بیش از ۱۰ سال تجربه استفاده از سیستم DAF برای پیش‌تصفیه آب دریا در مناطق استوایی و گرمسیری جهان نشان می‌دهد که فیلترهای با بستر گرانولی ثقلی، حذف بهتر میکروجلبک‌ها (جلبک‌هایی با اندازه کمتر از ۲۰ میکرومتر) را نسبت به زلال‌سازهای DAF نشان می‌دهد. بنابراین، انتخاب هر یک از این فرآیندها، باید بر اساس پروفیل جلبکی تکمیل شده در منطقه آبگیر در طول فصل شکوفایی زیاد جلبک باشد.

اگر آبگیر سامانه نمک‌زدایی در بنادر صنعتی یا تفریحی واقع شده باشد، که در معرض ریزش مداوم روغن قرار دارد، استفاده از DAF به عنوان اولین مرحله پیش‌تصفیه، بهتر است. زیرا DAF می‌تواند راندمان حذف THC به مراتب بالاتری را نسبت به فیلتراسیون (۹۵٪-۹۹٪ در مقابل ۱۰٪-۱۵٪) فراهم کند. هنگامی که غلظت THC در آب منبع از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند، بستر های گرانولی و فیلترهای UF / MF نمی‌توانند محافظت مؤثری از غشاهای RO در برابر گرفتگی کلوئیدی ناشی از نشت روغن داشته باشند.

۶-۲-۵- سامانه‌های با آبگیر سطحی در معرض شکوفایی جلبکی شدید

تجربیات قبلی نشان می‌دهد که برخی از آب‌های شور، مانند خلیج فارس و دریای سرخ، می‌توانند شکوفایی شدید

جلبکی را تجربه کنند که در طی آن میزان جلبک موجود در آب دریا از ۶۰۰۰۰ سلول جلبک/ لیتر تجاوز کند. به عنوان مثال چنین شکوفایی جلبکی در خلیج فارس در زمستان سال ۲۰۰۹، هنگامی که میزان جلبک در آب دریا بیش از ۱ میلیون سلول در لیتر بوده و بیش از ۴ ماه ادامه داشته، رخ داده است. در طی این رویداد شکوفایی جلبکی، که تکرار آن هر ۱۰ سال یکبار است، کل کربن آلی (TOC) موجود در آب دریا از ۸ میلی‌گرم در لیتر فراتر رفته و کدورت بین ۲۰ تا ۳۰ NTU متغیر بوده است. شکوفایی شدید جلبک توسط میکروجلبک‌های Cochlodinium polykrikoides ایجاد شده است که سلول‌های آن‌ها اندازه بین ۵ تا ۲۰ میلی‌متر دارند و زلال‌سازهای DAF در زمینه حذف آنها راندمان مناسبی ندارند. این شکوفایی جلبکی باعث خاموش شدن کلیه سامانه‌های نمک‌زدایی SWRO در خلیج فارس گردید که از پیش‌تصفیه غشایی استفاده می‌کردند. همچنین باعث کاهش ظرفیت تولید آب شیرین کن ها به میزان ۲۰-۳۰٪ در اکثر سامانه‌های نمک‌زدایی SWRO با پیش‌تصفیه فیلتراسیون بستر گرانولی برای دوره ۲-۳ ماه شد.

کیفیت آب شور منعکس کننده رویداد شکوفایی شدید جلبکی معمول در جدول زیر نشان داده شده است.

کیفیت معمول آب در سامانه‌های با آبگیر در معرض شکوفایی جلبکی شدید

پارامتر کیفیت آب منبع	مقدار
کدورت، NTU	۵-۴۰
SDI_{15}	۱۶-۳۰
کل کربن آلی، mg/l	۱۶/۰-۰/۵
کل هیدروکربن‌ها، mg/l	<۰/۰۲
آهن کل، mg/l	<۰/۰۵
منگنز کل، mg/l	<۰/۰۲
جلبک، cell/L	>۶۰۰۰۰

وقتی سامانه‌های نمک‌زدایی RO با آبگیرهای سطحی در معرض شکوفایی جلبکی با شدت زیاد قرار دارند، پیش‌تصفیه در این حالت شامل سیستم دو مرحله‌ای نیز می‌شود. با این حال، به جای فیلترهای دولایه (آنتراسیت و ماسه) با عمق فیلتراسیون ۱/۴-۱/۶ متر (۴/۶-۵/۳ فوت) - فیلترهای سه لایه (آنتراسیت، ماسه و گارنت) با عمق ۲/۰ متر (۶/۶ فوت)) توصیه می‌شود که به عنوان فیلتراسیون بیولوژیکی پیشرفته مورد استفاده قرار می گیرند. گزینه‌های پیشنهادی پیش‌تصفیه به شرح زیر است:

- فیلترهای سه لایه گرانولی ثقلی با نرخ بارگذاری ۸-۱۰ m^3/m^2 h (۳-۴ fpm/ft^2)، فیلترهای دولایه گرانولی تحت فشار با نرخ بارگذاری ۱۴-۱۶ m^3/m^2 h (۶-۷ gpm/ft^2) و فیلترهای کاتریج
- ته نشینی و زلال‌سازهایDAF، فیلترهای سه لایه گرانولی ثقلی تک مرحله‌ای با نرخ بارگذاری ۶-۸ m^3/m^2 h (۲/۵-۳/۵ gpm/ft^2) و فیلترهای کاتریج
- فیلترهای سه لایه گرانولی ثقلی با نرخ بارگذاری ۱۰-۱۲ m^3/m^2 h (۴-۵ gpm/ft^2) و فیلترهای UF/MF تحت فشار با شار طراحی ۶۰-۷۰ Lmh (۳۵-۴۱ gfd)
- فیلترهای سه لایه گرانولی ثقلی با نرخ بارگذاری ۱۰-۱۲ m^3/m^2 h (۴-۵ gpm/ft۲) و فیلترهای UF/MF تحت خلا با شار طراحی ۴۵-۵۵ Lmh (۲۶-۳۲ gfd)
- زلال‌ساز DAF و فیلترهای UF/MF تحت فشار با شار طراحی ۴۰-۵۰ Lmh (۲۳-۲۹ gfd)

• زلال‌ساز DAF و فیلترهای UF/MF تحت خلا با شار طراحی ۲۵-۳۵ Lmh (۱۵-۲۰ gfd)

تا به امروز، گسترده‌ترین سیستم‌های پیش‌تصفیه استفاده شده برای سامانه‌های نمک‌زدایی آب‌های شور دارای شکوفایی شدید جلبک عبارتند از (۱) ترکیبی از سیستم ته‌نشینی و زلال‌سازهای DAF و فیلترهای ثقلی عمیق و (۲) زلال‌سازهای DAF و فیلترهای غشایی UF یا MF تحت فشار می-باشند.

۶-۲-۶- سامانه‌های با آبگیر سطحی در معرض غلظت‌های بالای هیدروکربن

آب‌های شور طبیعی معمولاً حاوی هیدروکربن‌ها، روغن و گریس نیستند. منشا این رسوبات کلوئیدی فعالیت‌های انسانی می‌باشند و در بنادر صنعتی یا تفریحی، کانال‌های کشتی، در مسیر نفت‌کش‌ها یا در نزدیکی تخلیه‌های تصفیه‌خانه فاضلاب مشاهده می‌شوند. THC بیش از ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر در آب خوراک غشاهای RO باعث گرفتگی و تخریب غیرقابل برگشت آن‌ها می‌شود. بنابراین سامانه‌هایی که در معرض غلظت‌های بالای THC قرار دارند، برای از بین بردن هیدروکربن‌ها باید به فناوری‌های قوی مجهز شوند.

برای حذف هیدروکربن‌ها، فرآیند پیش‌تصفیه در حال حاضر استفاده از سیستم دو مرحله‌ای می‌باشد که مرحله اول شامل زلال‌سازهای DAF و مرحله دوم شامل فیلترهای غشایی MF/UF با بستر گرانولی می‌باشند. چنین پیش‌تصفیه‌ای می‌تواند حداکثر ۱ میلی‌گرم در لیتر THC را حذف کند. اگر آب منبع حاوی مقادیر THC بالاتر باشد، سامانه نمک‌زدایی تا زمانی که ناحیه آبگیر آلودگی زدایی شود، باید خاموش شود.

یکی دیگر از گزینه‌های پیش‌تصفیه بکار رفته در سامانه نمک‌زدایی ۳۰۰۰۰۰ m^3/d آدلاید در استرالیا، استفاده از پودر کربن فعال (PAC) در زمان وقوع نشت روغن بوده است. مهمترین مزیت تزریق پودر کربن فعال در پیش‌تصفیه، هزینه آن است. هزینه‌های ساخت و ساز و نگهداری و بهره‌برداری برای سیستم تزریق PAC کمتر از ۱۰٪ هزینه ساخت و بهره‌برداری DAF می‌باشد. با توجه به اینکه سامانه نمک‌زدایی آدلاید استرالیا دارای سیستم آبگیری بسیار عمیقی است (۲۲ متر/ ۷۳ فوت) و میزان THCهایی که می‌توانند در این عمق به آبگیر برسند بسیار کم است، استفاده از PAC به جای DAF بسیار مقرون به صرفه بوده در حالی که محافظت یکسانی از غشاهای RO را فراهم می‌کنند.

۶-۳- سایر ملاحظات برای انتخاب سیستم پیش‌تصفیه

نوع آبگیر و کیفیت آب خام منبع، فاکتورهای فنی اصلی برای انتخاب نوع فرآیند پیش‌تصفیه سامانه نمک‌زدایی می‌باشند. با این حال، بسته به شرایط خاص سایت، سایر عوامل غیر فنی ممکن است بر روند انتخاب سیستم پیش‌تصفیه تأثیر بگذارد. چنین عواملی شامل اخذ مجوز زیست محیطی، کمیت و کیفیت ضایعات سامانه نمک‌زدایی، میزان تزریق مواد منعقدکننده، هزینه‌های مواد شیمیایی، هزینه‌های انرژی و غیره می‌باشد. (Jackangelo et al2017).

۶-۳-۱- اخذ مجوز

مجوزهای زیست محیطی برای سامانه‌های نمک‌زدایی توسط نهادهای مختلف دولتی که مسئول اجرای مقررات زیست محیطی کشور هستند داده می‌شود. الزامات نظارتی مرتبط با سیستم پیش‌تصفیه سامانه نمک‌زدایی، عمدتاً موارد مربوط به تخلیه جریان‌های پساب تولید شده در فرآیندهای پیش‌تصفیه مانند آشغالگیری آبگیر، شستشوی فیلترها و مواد شیمیایی برای CIP غشاهای MF/UF، را در نظر می‌گیرد. این الزامات در سراسر جهان بسیار متفاوت است (میکلی و ووتچکوف، ۲۰۱۶). محدودیت‌های نظارتی زیادی برای تخلیه کدورت و تصفیه آب کنسانتره بر انتخاب فرآیند پیش‌تصفیه تأثیر می‌گذارد.

"برنامه ۲۰۱۵ اقیانوس سنجی کالیفرنیا" در ایالات متحده، الزاماتی را برای کاهش محبوس شدن و عبور کردن جانداران

دریایی دارد و بنابراین، استفاده از سیستم‌های آبگیر زیرسطحی (چاه‌ها) را به جای آبگیر سطحی توصیه می‌کند. چنین مقرراتی تأثیر قابل توجهی در انتخاب سیستم پیش‌تصفیه دارد زیرا در صورت انتخاب چاه‌های آبگیر، به احتمال زیاد سیستم پیش‌تصفیه ساده‌تر می‌شود که مثلا فقط شامل فیلترهای کارتریج یا ترکیبی از فیلترهای کارتریج و سیستم فیلتراسیون با بستر گرانولی تحت فشار می‌باشد. با این وجود باید توجه داشت که برخی از آبگیرهای زیرسطحی ممکن است کیفیت آبی با مقدار بالای آهن و یا منگنز را داشته باشند که در این صورت ممکن است به نوع خاصی از فیلترهای پیش‌تصفیه بستر گرانولی (مانند فیلترهای ماسه سبز) و یا اکسیداسیون طراحی شده دقیق و سیستم پیش‌تصفیه غشایی برای از بین بردن آهن و منگنز (به طور معمول زیر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر) نیاز باشد.

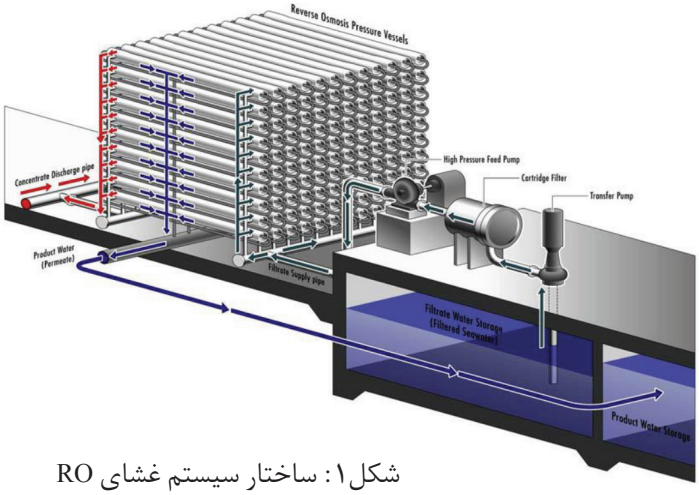
بخش هفتم: طراحی سیستم اسمز معکوس

۷-۱- نمای کلی از سیستم معمول نمک‌زدایی SWRO

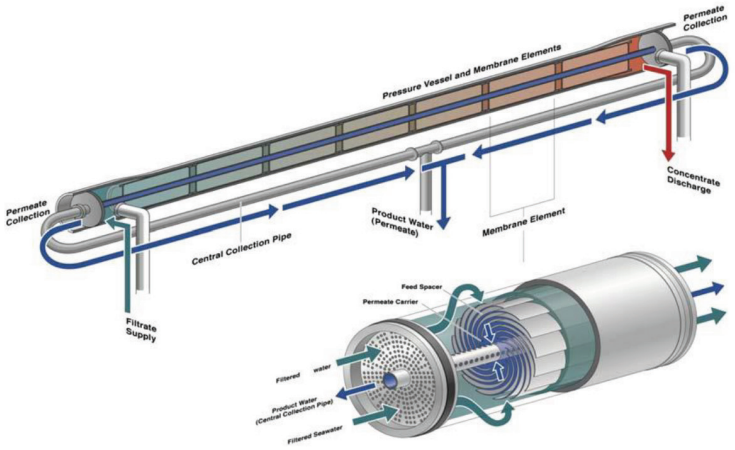
شکل زیر ساختار رایج یک سیستم بزرگ SWRO را نشان می‌دهد. آب فیلتر شده‌ای که توسط سیستم پیش‌تصفیه تاسیسات نمک‌زدایی تولید می‌گردد، توسط پمپ‌های انتقال از مخزن ذخیره آب فیلتر شده از طریق فیلترهای کارتریج، بسوی لوله مکش پمپ‌های خوراک فشار قویRO منتقل می‌شود. همانطور که در فصل ۵ نشان داده شد، هدف اصلی استفاده از فیلترهای کارتریج محافظت از غشاهای RO دربرابر آسیب می‌باشد. فیلترهای کارتریج معمولا برای تاسیسات نمک‌زدایی با پیش‌تصفیه فیلتراسیون با بسترگرانولی استفاده می‌شود. سیستم‌های پیش‌تصفیه‌ای که از غشاهای MF یا UF استفاده می کنند، معمولاً فیلترهای کارتریج ندارند.

پمپ‌های خوراک فشار قوی جهت تحویل آب پیش‌تصفیه شده به غشاهای RO در فشار مورد نیاز، برای جداسازی غشایی آب شیرین از نمک ها طراحی شده‌اند، که معمولا ۵۵-۸۵ بار می‌باشد. فشار خوراک واقعی مورد نیاز، مربوط به هر سایت متفاوت بوده و عمدتا با توجه به شوری آب منبع، دما، نفوذپذیری غشاهای SWRO انتخاب شده و بدین ترتیب ساختار سیستم RO تعیین می‌گردد.

عناصر غشایی RO در مجاری (vessels) فشار نصب می‌گردند، که معمولاً ۶-۸ عنصر در هر مجرا قرار دارد (شکل ۲). مجاری فشاری چندگانه بر روی سازه های کمکی (قفسه‌ها) قرار دارند که خطوط RO (trains) را تشکیل می‌دهند. هر خط RO معمولا برای تولید بین ۱۰ و ۲۰ درصد از کل میزان جریان آب تولیدی (محصول) غشای نمک‌زدایی طراحی می‌شود. شکل زیر یک خط RO را با اجزای اصلی آن یعنی پمپ انتقال آب فیلتر، فیلتر کارتریج، پمپ فشار قوی و قفسه غشا با مجرا را نشان می‌دهد.



شکل۱: ساختار سیستم غشای RO



شکل ۲: عناصر غشای RO مارپیچی- wound و مجاری

۲-۷- عناصر غشایی SWRO- ملاحظات پیش‌تصفیه

"موتور" هر سامانه SWRO، عنصر غشای RO می‌باشد. امروزه دو نوع از مواد مورد استفاده در ساخت عناصر غشایی SWRO عبارتند از: (۱) پلی آمید، و (۲) استات سلولز و مشتقات آن. همچنین غشاهای RO ساخته شده از پلی آمید به عنوان غشای کامپوزیت فیلم نازک شناخته می‌شوند. مزایا و معایب اصلی کامپوزیت فیلم نازک و غشای SWRO استات سلولز از نظر حساسیت آنها به پیش‌تصفیه آب دریا در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱: مقایسه کامپوزیت فیلم نازک و غشا SWRO استات سلولز

پارامتر	غشای کامپوزیت فیلم نازک	غشای استات سلولز
عدم پذیرش(rejection) نمک، ٪	بالاتر (>۹۹/۵٪)	کمتر(تا ۹۵٪)
Net driving pressure، بار	کمتر (۱۵-۱۰ بار)	بالاتر (۱۵-۳۰ بار)
بار سطحی(Surface charge)	آنیونی (محدودیت استفاده از منعقدکننده های پیش‌تصفیه کاتیونی)	خنثی (بدون محدودیت بر روی منعقدکننده‌های پیش‌تصفیه)
تحمل کلر (chlorine tolerance)	ضعیف (تا ۱۰۰۰ ppm-h) ضرورت کلرزدایی خوراک	خوراک مداوم از ppm ۱-۲ کلر قابل قبول می‌باشد.
تواتر نظافت	بالاتر (هفته ها تا ماه ها)	کمتر (ماه ها تا سال ها)
الزامات پیش‌تصفیه	بالاتر (SDI<۴)	کمتر (SDI<۵)
حذف مواد آلی	بالا	نسبتاً پایین
رشد بیولوژیکی بر روی سطح غشا	ممکن است مشکلات عملکردی ایجاد کند	محدود شده- نه به دلیل مشکلات عملکردی
تحمل pH (pH tolerance)	بالا (۱-۱۳)	محدود شده (۴-۶)

عمدتا به دلیل ریجکشن بالاتر و فشارهای کاری پایین تر، امروزه غشاهای کامپوزیت فیلم نازک انتخاب بهتری برای اکثر تاسیسات غشای SWRO می باشند. این مسئله تا حدودی در خاورمیانه استثنا می‌باشد، جایی‌که منبع آب سرشار از مواد ارگانیک بوده و غشاهای استات سلولز از نظر کاهش گرفتگی بیولوژیکی، نظافت و نیاز به پیش‌تصفیه، دارای مزایای قابل توجهی می‌باشند.

پرکاربردترین عناصر غشایی SWRO،کامپوزیت فیلم نازک، شامل دو ورقه غشایی که از سه طرف شان به هم چسبیده شده و در سمت چهارم باز شده است می‌باشد، مشابه یک پاکت نامه و بنابراین، به آنها پاکت غشایی نیز می‌گویند. قسمت باز پاکت‌های غشایی به لوله‌ی جمع کننده نفوذی مرکزی با ورودی‌های کوچک وصل شده است که آب نفوذی را از پاکت‌های غشایی جمع‌آوری می‌کند. تمام پاکت‌های غشایی به صورت مارپیچ در اطراف لوله نفوذی مرکزی پیچیده می‌شوند (شکل ۲). سطح بیرونی پاکت‌های غشای، که مواد معدنی آب منبع را نگه می‌دارند، دارای ساختار متخلخل مولکولی میکروسکوپی هستند که می‌تواند جامدات ذره‌ای و محلول، میکروارگانیسم‌ها و سایر ناخالصی‌های با اندازه کوچکتر از ۲۰۰ Da را ریجکت کند. این فیلم پلی آمید بر روی سطح پاکت‌های غشایی که در واقع نمک‌ها را از آب جدا می‌کند، معمولاً ضخامت کمتر از ۰/۲ میکرومتر دارد و جهت مقاومت در برابر فشار بالای مورد نیاز برای جداسازی نمک، توسط لایه غشایی ضخیم تر دوم پشتیبانی می‌شود که به طور معمول از مواد پلی سولفون با تخلخل بالاتر ساخته شده است و دارای چندین نوع ورودی با دهانه‌های غشایی بزرگتر می‌باشد.

پاکت‌های غشایی توسط جداکننده خوراک (spacer) ضخیم تقریبا ۰/۷۱ میلیمتری جداشده‌اند، که کانال‌های خوراک را تشکیل داده و انتقال جریان خوراک -کنسانتره را در طول عناصر غشایی تسهیل می‌کند. در برخی از عناصر غشایی RO فاصله بیش‌تری بین پاکت‌ها (۰/۸۷ میلیمتر) وجود دارد. هر چه کانال تغذیه بین پاکت‌ها گسترده تر باشد، قبل از اینکه غشاها به نظافت نیاز داشته باشند، رسوبات بیشتری جمع می‌شود. عناصر RO با جداکننده‌های ضخیم‌تر معمولاً برای آب‌های شور با پتانسیل رسوب‌گذاری بالا و سیستم‌های فیلتراسیون با پیش‌تصفیه محدودتر، ترجیح داده می‌شوند. گسترده‌ترین عناصر غشایی بکار رفته SWRO تجاری در دسترس، دارای قطر ۲۰ سانتی متر (۸ اینچ)، طول ۱۰۰ سانتی‌متر (۴۰ اینچ) می‌باشد و ۱۴-۱۱ m^3/d آب تصفیه‌شده(permeate) تولید می‌کند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، عناصر غشایی SWRO به صورت سری در داخل مجاری فشار به یکدیگر متصل می‌شوند. معمولا، در یک مجرای فشار از شش تا هشت عنصر غشای SWRO قرار گرفته است. بیشتر سیستم‌های غشاییRO با هفت عنصر در هر مجرا طراحی شده‌اند.

در صورتی که آب‌های خوراک RO با کدورت بسیار کم (NTU ۰/۱>) ، SDI_{15} <۳ و TOC۱/۰ mg/l > باشد از هشت عنصر در هر مجرا استفاده می‌شود. چنین آب خوراک RO با کیفیت بالا، به دو صورت می‌تواند به دست آید، اگر آب خام از آبگیر زیرسطحی با طراحی مناسب سرچشمه گیرد یا اگر از طریق آبگیر سطحی جمع آوری گردد، و از طریق سیستم فیلتراسیون تک یا دو مرحله‌ای طراحی شده، پیش‌تصفیه شود. معمولا، در صورتی که TDS آب دریای منبع زیاد و پتانسیل رسوب‌گذاری بالاتر و شار غشایی طراحی پایین تر باشد، از عناصر کمتری در هر مجرا استفاده می‌شود. در سیستم‌های SWRO طراحی شده برای آب خوراک با شوری کمتر (به عنوان مثال،ppt ۳۵> TDS)، با پتانسیل گرفتگی کم، هشت عنصر غشایی در هر ساختار مجرا مناسب می‌باشند. چنین سیستم‌های SWRO می‌توانند برای شار با میانگین نسبتاً بالا ۱۵ lmh یا بیشتر طراحی شوند.

در بیشتر تاسیسات RO ، کل جریان آب پیش‌تصفیه شده از قسمت جلویی مجاری غشایی وارد می‌شود و در انتهای عقب جمع‌آوری می‌شود. در عین حال، اخیرا بیشتر طرح‌های سیستم RO، مجموعه ای از جریان تصفیه شده از هر دو قسمت جلویی و انتهایی مجاری غشایی را ترکیب می‌کنند همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، برداشت مقداری از آب تصفیه شده از قسمت جلویی زمانی صورت می‌گیرد که غلظت مورد نظر TDS، کلرید و بور به ترتیب زیر ۲۵۰ ، ۱۰۰ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر باشد، زیرا آب محصول جمع آوری شده از قسمت جلویی مجاری غشایی (معمولاً دو تا سه عنصر اول) در حال حاضر این اهداف کیفی آب را برآورده می‌کند.

اگر برداشت از مجاری ابتدایی صورت نگیرد، آب محصول با کیفیت بالای تولید شده از این قسمت، با محصول تولیدی از غشاهای باقی مانده، که از کیفیت پایینی برخوردار است، در لوله جمع آوری مرکزی ترکیب می‌شود و سپس برای نیل به هدف نهایی کیفی، باید کل حجم محصول تولید شده با گذر از خط RO ثانویه مجددا تصفیه شود. توانایی جمع آوری آب محصول از ابتدا و انتها، امکان دستیابی به کنترل بهتر بر روی کیفیت آب نفوذی تولید شده توسط سیستم نمک‌زدایی و در برخی موارد افزایش کنترل روی گرفتگی غشاء RO را فراهم می آورد.

بصورت تجاری عناصر غشایی قابل دسترس RO، دارای طول و قطرهای استاندارد شده و راندمان بهینه ریجکت نمک هستند. عناصر غشایی استاندارد، دارای محدودیت هایی با توجه به تعدادی از پارامترهای اجرایی مانند: درجه حرارت آب خوراک (۴۵ درجه سانتیگراد / ۱۰۴ درجه فارنهایت)؛ pH (حداقل ۲ و حداکثر ۱۲)؛ شاخص SDI (کمتر از ۴)؛ مقدار کلر (در مقادیر قابل اندازه‌گیری نسبت به کلر قابل تحمل نمی‌باشد)؛ فشار آب خوراک (حداکثر ۸۳-۱۰۰ بار) می باشند. برخی تولیدکننده ها عناصر غشای BWRO و SWRO مارپیچی-wound ۱۶ و in-۱۸ را ارائه می دهند اما به دلیل هزینه‌های نسبتاً بالاتر و پتانسیل گرفتگی بالا، در تاسیسات با مقیاس بزرگ کاربرد بسیار محدودی پیدا کرده‌اند.

نسبت بین حجم آب محصول تولید شده توسط سیستم نمک‌زدایی غشایی و حجم آب منبع مورد استفاده برای تولید آن، معمولاً تحت عنوان بازیابی تعریف می‌شود و بصورت درصدی از حجم آب خوراک سیستم RO ارائه می‌شود. حداکثر بازیابی که توسط یک سیستم معین نمک‌زدایی غشایی تحت فشار حاصل می‌شود، عمدتاً به شوری آب منبع و فشار اسمزی بستگی دارد که باید توسط پمپ های فشار قوی سیستم RO بر آن غلبه شود. همچنین در عین حال میزان بازیابی توسط پتانسیل گرفتگی و Scaling آب دریا محدود می‌شود. لازم به ذکر است که هر چقدر شوری و پتانسیل گرفتگی آب شور بیشتر باشد، می‌بایست بازیافت طرح مورد نظر کمتر باشد. به عنوان مثال، شوری نسبتاً کمتر (۳۳-۳۵ ppt) اقیانوس آرام، اگر آب دریا دارای پتانسیل گرفتگی نسبتا کمی‌باشد، اجازه می‌دهد سیستم‌های SWRO برای بازیابی ۵۰٪ طراحی شوند. دریای سرخ و دریای خلیج فارس دارای شوری ۴۲-۴۶ ppt هستند، و طراحی پایدار بازیابی سیستم SWRO ۴۰-۴۵٪ می‌باشد. برای سامانه‌های نمک‌زدایی در خاورمیانه که در معرض شکوفایی شدید جلبکی قرار دارند، طراحی پایدار بازیابی حتی کمتر از ۳۶-۳۸٪ می‌باشد. در صورتي كه سامانه نمک زدايي مجهز به پیش‌تصفیه قدرتمندتری باشد بازیابی بیشتري (۴۰٪-۴۵٪) حاصل می‌شود.

همانطور که قبلا نیز اشاره شد، گرفتگی زمانی اتفاق می افتد که مواد معدنی تغلیظ شده و شروع به رسوب‌گذاری (ترکیبات کریستالی) می کنند که باعث گرفتگی در سطح غشا و عدم انتقال آب از میان غشاها میشوند. معمولا، سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا تنها می‌توانند ۴۰٪-۶۰٪ از آب منبع را به محصول با شوری پایین تبدیل کنند.

عملکرد غشاء به دلیل فرسایش مصالح و گرفتگی برگشت ناپذیر عناصر غشایی، به مرور زمان به طور طبیعی رو به زوال می رود. معمولا، عناصر غشایی باید هر ۵-۷ سال جایگزین شوند تا عملکرد خود را از نظر کیفیت آب و مصرف انرژی برای جداسازی نمک حفظ کنند. بهبود شیمیایی پلیمر عنصر غشا و فرایند تولید باعث شده است که غشاها دوام بیشتری داشته باشند و عمر مفید آنها افزایش پیدا کند. استفاده از سیستم‌های فیلتراسیون گرانولی با بستر دولایه یا سه لایه طراحی شده و فرآیند پیش‌تصفیه فیلتراسیون MF یا UF قبل از نمک‌زدایی RO باعث افزایش عمر مفید غشاها بیش از ۷ سال و فراتر از آن می‌شود. از طرف دیگر، تجربه عملی نشان می‌دهد که سیستم‌های پیش‌تصفیه غشای MF و UF که برای شارهای بسیار زیاد (۸۰ lmh یا بیشتر) طراحی شده‌اند معمولاً منجر به تسریع فرسودگی عناصر غشایی SWRO پایین دست و کاهش عمر مفید آنها به زیر ۳ سال می‌شوند.

۷-۲-۱- طبقه بندی غشای SWRO کامپوزیت فیلم نازک

همانطور که قبلاً اشاره شد،. غشاء SWRO کامپوزیت فیلم نازک ۸ اینچ در حال حاضر پرکاربردترین نوع غشاها هستند. سه پارامتر مهم عملکردی غشاهای RO عبارتند از: عبور (ریجکشن) نمک، جریان / میزان تولید و فشار عملیاتی. در حال حاضر غشاهای تجاری NF و RO موجود می‌تواند در گروه های اصلی زیر طبقه بندی شوند:

۱- ریجکشن استاندارد ۲- ریجکشن بالا ۳- میزان تولید بالا و ۴- فشار بالا

۱- عناصر غشایی SWRO با ریجکشن استاندارد:

عناصر غشایی با ریجکشن استاندارد به گونه‌ای طراحی شده‌اند که حداکثر ۹۹/۶٪ نمک ها را از آب دریای منبع حذف کنند. این عناصر غشایی در حال حاضر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و کاربردهای متنوعی در ساختار RO دارند. این عناصر غشایی SWRO دارای جداکننده (spacer)های ۲۸-mil می باشند و برای آب دریای با پتانسیل گرفتگی کم و متوسط و سیستم پیش‌تصفیه با طراحی خوب، مناسب می‌باشند.

۲- عناصر غشایی SWRO با ریجکشن بالا:

عناصر غشایی با ریجکشن بالا با ساختار غشایی محکم‌تر طراحی شده‌اند که امکان افزایش جرم یون‌های ریجکت شده را فراهم می کند. ریجکشن بالاتر از ۹۹/۷۵٪-۹۹/۸۵٪ با اعمال ۱۰٪-۲۰٪ فشار عملیاتی بالاتر حاصل می‌شود. به طور کلی، این عناصر غشایی نیز در مقایسه با عناصر غشاییSWRO با ریجکشن استاندارد، مستعد گرفتگی هستند و استفاده از آنها نیاز به پیش‌تصفیه آب دریا بصورت بسیار ماهرانه از نظر گرفتگی ذره‌ای، کلوییدی و میکروبی دارد.

۳- عناصر غشایی با تولید بالا(انرژی پایین):

عناصر غشایی با میزان تولید بالا جهت عرضه ی بیشتر آب محصول برای هر عنصر غشایی طراحی شده‌اند. این ویژگی‌ها عبارتند از: (۱) مساحت سطح بیشتر و (۲) بسته بندی غشایی متراکم تر. افزایش مساحت سطح پاکت غشایی فعال، امکان میزان تولید قابل توجهی را برای همان اندازه (قطر) عنصر غشایی فراهم می کند. تولید زیادتر عناصر غشایی با استفاده از غشاهایی با نفوذپذیری بالاتر با کانالهای مولکولی گسترده تر حاصل می‌شود. بنابراین، ریجکشن نمک از این عناصر نسبت به غشاهای SWRO استاندارد و با ریجکشن بالا، پایین تر می‌باشد. عناصر با تولید بالا دارای عملکرد استاندارد ۹۰۰۰-۱۲۰۰۰ گالن بر روز(gpd) و ریجکشن نمک ۹۹/۲٪-۹۹/۴٪ می باشند.

همچنین افزایش اندازه/ قطر غشا می‌تواند مساحت سطح فعال عنصر غشایی را افزایش دهد. در عین اینکه عناصر غشایی SWRO ۲۰ سانتیمتر (۸اینچ) همچنان اندازه "استاندارد" می باشند و بیشتر در کاربری های با مقیاس بزرگ استفاده شده‌اند، در حال حاضر عناصر غشایی SWROبا اندازه بزرگتر ۱۶ و ۱۸ اینچ نیز، موجود هستند.

گزینه های دیگر برای ارتقا میزان تولید غشا، افزایش تعداد ورقه های غشایی بسته بندی شده در همان اندازه(قطر) غشا می‌باشد. این مهم با استفاده از فاصله دهنده(spacer)های کانال تغذیه نازکتر یا بوسیله بهبود ساختار عنصر انجام می‌شود. استفاده از فاصله دهنده(spacer)های خوراک نازک تر معمولا افت فشار غشا را افزایش می‌دهد. در نتیجه، عناصر غشایی با تولید بالاتر با استفاده از این روش، نیاز به فشار عملیاتی بالاتری برای همان سطح ریجکشن نمک و شار را دارند.

بسته‌بندی ورق غشایی متراکم‌تر، غشا را مستعد گرفتگی می کند و استفاده از آنها به آب منبع با کیفیت بالا و پیش‌تصفیه دقیق‌تر نیاز دارد. برای پرداختن به این مسئله، در واقعیت، جدیدترین عناصر غشایی با تولید بالا، از فاصله‌دهنده(spacer)های گسترده‌تر برای جبران افزایش فشار و پتانسیل گرفتگی استفاده می کنند.

برخی از جدیدترین عناصر غشایی SWRO با تولید بالا با ظرفیت تولید ۱۲۰۰۰-۱۶۰۰۰ gpd، انعطاف‌پذیری، انتخاب

تولید، و امکان انتخاب میان میزان تولید و هزینه‌های فشار/ برق را فراهم می‌کنند. با دستیابی به (۱) کاهش هزینه‌های ساخت و ساز سیستم توسط طراحی سیستم با تولید بیشتر یا (۲) با کاهش تقاضای انرژی کلی سیستم با استفاده از تعداد عناصر غشایی بیشتر، طراحی سیستم در شار و بازیابی پایین‌تر، بهره‌گیری از جدیدترین فن‌آوری‌های بازیابی انرژی که در صورت عملکرد سیستم در بازیابی کمتر(۳۵٪-۴۵٪)، مصرف انرژی را به حداقل می‌رسانند، همان اهداف کیفیت تولیدی آب بدست می‌آید.

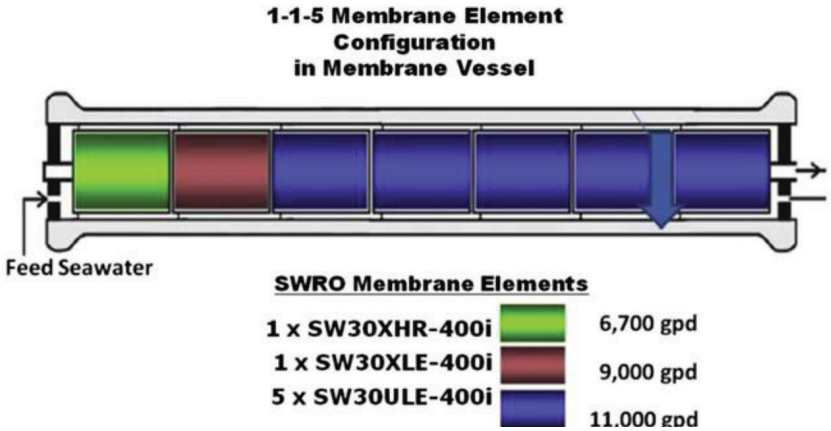
۴- عناصر SWRO با فشار بالا:

هدف اصلی این نوع از عناصر SWRO، تولید آب شیرین از آب دریای غلیظ شده با شوری ۵۰۰۰۰-۶۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و برای به حداکثر رساندن آب بازیابی شده از یک حجم آب منبع معین استفاده می‌شود. معمولا عنصر غشایی استاندارد فقط می‌تواند تا ۵۰٪ از آب دریا را بازیابی کند، درحالی که SWRO با فشار بالا جهت تامین بازیابی‌های ۶۰٪ و بالاتر مناسب می‌باشد.

به طور خاص، عناصر غشایی با فشار بالا برای بهره‌برداری در ۲۰٪-۴۰٪ فشار بیشتر از سایر انواع عناصر غشایی ذکر شده در بالا طراحی شده‌اند و جهت تصفیه کنسانتره تولید شده با شوری بالا توسط مرحله اول یک سیستم SWRO دو مرحله‌ای می‌باشند. در حالی که این عناصر فشار بالا توسط تعدادی تولیدکننده بصورت تجاری در دسترس هستند، اما استفاده گسترده‌ای از آنها نشده است زیرا آنها نیز معمولا دارای نرخ گرفتگی بیشتر و هزینه‌های نظافت بالاتر و همچنین عمر مفید پایین می‌باشند. لازم به ذکر است که هر چه فشار خوراک عناصر RO بیشتر باشد، میزان گرفتگی بیشتر می‌شود و افزایش فشار انتقالی (TMP) برای همان آب منبع شور نیز سریعتر می‌شود.

۳-۷-ساختار مرحله‌ای غشایی - پیامدهای گرفتگی

در حالت ایده‌آل، توزیع مجدد همسان‌سازی فشار ورودی و جریان هر هفت عنصر RO در مجاری به سطح تقریباً مساوی می‌تواند با کمترین گرفتگی در مجاری RO همراه شود و فرآیند نمک‌زدایی به کارامدترین حالت برسد. نوعی طراحی ساختار غشایی اجازه می‌دهد که با ترکیب سه مدل مختلف از غشا با نفوذپذیری متفاوت در مجرای یکسان، به جای استفاده از همان مدل از عناصر RO در سراسر مجرا (که یک ساختار معمول برای سیستم‌های SWRO متعارف می‌باشد.)، به توزیع جریان بیشتری رسید این ساختار مجرای غشایی توسط Dow Filmtec (میکولز و همکاران، ۲۰۰۵) توسعه داده شد و به عنوان طراحی درون مرحله‌ای (ISD) شناخته می‌شود (شکل ۳).

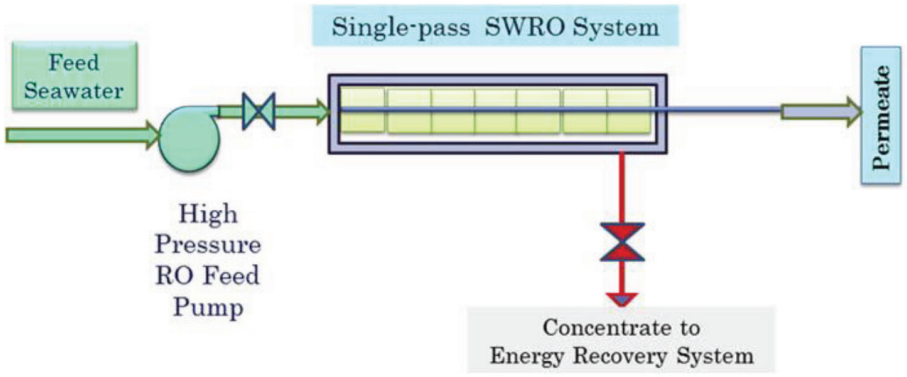


شکل ۳: ساختار داخلی غشای مرحله‌ای

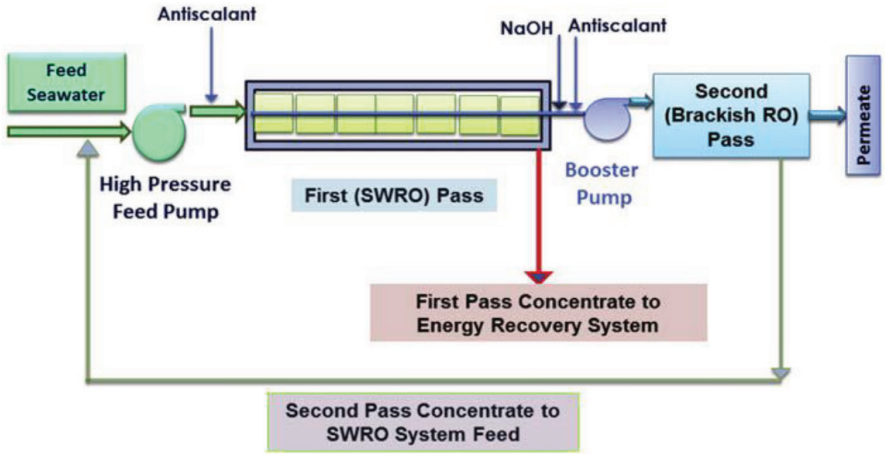
شار متوازن به دست آمده توسط ساختار غشای هیبریدی نه تنها منجر به مصرف انرژی کمتر می‌شود، بلکه باعث میشود که گرفتگی غشا اول در این چیدمان در مقایسه با ساختار استاندارد، با غشاهای RO یکسان کاهش داشته باشد. بنابراین، در صورت استفاده از ساختار غشای درون مرحله‌ای، الزامات سختگیرانه کمتری بر روی سیستم پیش‌تصفیه بالادست، در مقایسه با ساختار غشای RO متعارف تحمیل می‌شود.

۴-۷- سیستم‌های غشایی SWRO و پیش‌تصفیه جایگزین

چیدمان سیستم SWRO که در حال حاضر بیشترین کاربرد را دارند عبارتند از: تصفیه تک‌گذر، حالتی که آب منبع فقط یک بار توسط اسمز معکوس پردازش می‌شود (شکل ۴) و تصفیه RO دو گذر، حالتی که آب دریا ابتدا از طریق یک سیستم SWRO پردازش می‌شود و سپس محصول تولید شده بوسیله غشاهای RO لب شور مجددا پردازش می‌شود (شکل ۵ و ٦ را ببینید).



شکل ۴: سیستم SWRO تک گذر



شکل ۵: سیستم SWRO دو گذر کامل متعارف

۷-۴-۱- سیستم‌های SWRO تک گذر

سیستم‌های SWRO تک گذر (شکل ۴) برای تولید آب نمک‌زدایی شده در یک مرحله عبور، با استفاده از مجموعه‌ای از غشاهای RO که بطور موازی کار می کنند طراحی شده است. به طور کلی، بین ۸۰۰ تا ۹۰۰ غشای SWRO نصب شده در ۱۰۰-۱۵۰ مجرا مورد نیاز است تا ۱۰۰۰۰ متر مکعب در روز (MGD ۲/٦) آب تصفیه شده برای استفاده آشامیدنی تولید شود. چیدمان معمول سیستم SWRO تک مرحله‌ای، شامل یک خط RO با سیستم اختصاصی پمپ انتقال آب دریا پیش‌تصفیه شده و به دنبال آن یک پمپ خوراک RO با فشار زیاد می‌باشد. عملکرد موتور پمپ خوراک فشار بالا با تجهیزات بازیابی انرژی همراه است.

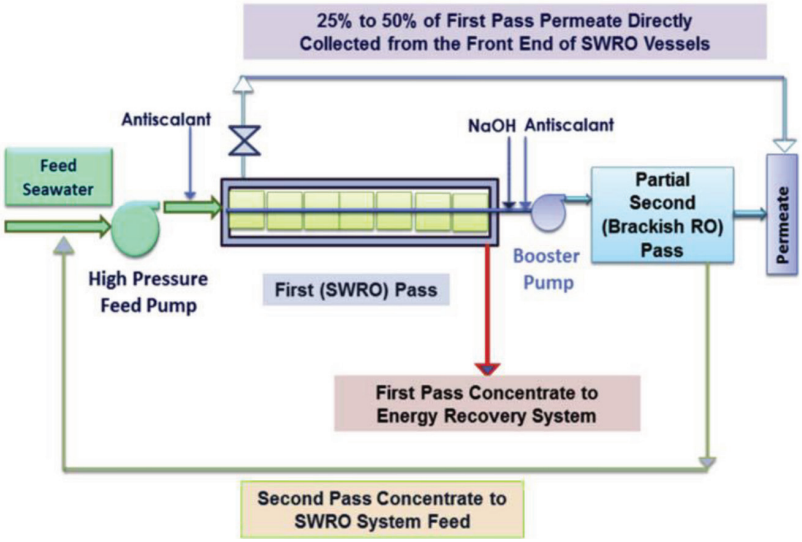
سیستم‌های SWRO تک مرحله‌ای به طور گسترده ای برای تولید آب آشامیدنی استفاده می‌شوند. با این حال، این سیستم ها کاربرد صنعتی محدودی دارند که عمدتاً به دلیل کیفیت آب تولید شده می‌باشد. حتی در صورت استفاده از عناصر غشای RO با بالاترین میزان ریجکشن -که امروزه به صورت تجاری در دسترس است- (حداقل ریجکشن اسمی ۹۹/۸۵٪)، سیستم‌های نمک‌زدایی تک مرحله‌ای SWRO معمولا نمی‌توانند به طور مداوم محصولی با غلظت TDS کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، سطح کلرید کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، و غلظت بور پایین تر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر، به ویژه هنگامی که دمای آب منبع بیش از ۱۸ درجه سانتیگراد (٦۴-٦۸ درجه فارنهایت) است را تولید کنند.

در صورت نیاز به حذف بیشتر بور در این سیستم‌ها، از غشاهایی با ریجکشن بور بالا استفاده می‌شود، و یا هیدروکسید سدیم و آنتی اسکالانت به آب خوراک سیستم RO اضافه می‌شود تا pH را به ۸،۸ یا بیشتر افزایش دهد، که به نوبه خود باعث بهبود ریجکشن بور می‌گردد. سیستم‌های RO تک گذر نیاز به فرآیند پیش‌تصفیه قوی دارند زیرا آنها آب نمک‌زدایی شده را در یک مرحله تولید می‌کنند و اگر کیفیت آب آنها با گرفتگی تسریع شده غشا RO ناشی از عملکرد ضعیف سیستم پیش‌تصفیه تحت تأثیر قرار گیرد، توانایی تصفیه مجدد آب محصول را ندارند. توجه به این نکته حائز اهمیت است که حذف نامناسب عوامل گرفتگی توسط سیستم پیش‌تصفیه نه تنها بر ظرفیت تولید سیستم RO تأثیر منفی می‌گذارد بلکه منجر به کمتر شدن ریجکشن غشاء و همچنین کم شدن کیفیت آب محصول نیز می‌شود.

۷-۴-۲- سیستم‌های SWRO دو گذر

سیستم‌های SWRO دو گذر معمولاً زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که شوری آب دریا نسبتاً بالا باشد (یعنی بالاتر از ۳۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و / یا الزامات کیفی آب محصول بسیار سختگیرانه باشد. به عنوان مثال، اگر آب منبع با شوری بالا/ دمای بالا (مانند آب دریای سرخ و آب خلیج فارس) در ترکیب با غشاهای SWRO با ریجکشن استاندارد (۹۹/٦٪) استفاده شود، ممکن است سیستم‌های SWRO تک مرحله‌ای نتوانند محصول مناسبی را برای استفاده به عنوان آب آشامیدنی فراهم کنند. در این حالت، سیستم‌های SWRO دو گذر ثابت کرده اند که چیدمان بسیار کارآمد و مقرون به صرفه‌تری برای تولید آب آشامیدنی می باشند. سیستم‌های RO با دو یا چند گذر نیز به طور گسترده برای تولید آب صنعتی با خلوص بالا مورد استفاده قرار گرفته اند.

سیستم‌های SWRO دو گذر معمولاً شامل ترکیبی از یک سیستم SWRO تک گذر و یک سیستم RO لب شور (BWRO) تک یا چند گذر متوالی می باشند (شکل ۵ و ٦). محصول سیستم SWRO (به عنوان مثال گذر اول) برای اینکه آب نهایی با محتوای معدنی کم تولید شود، جهت تصفیه بیشتر به سیستم BWRO (یعنی گذر دوم) هدایت می‌شود. همچنین کنسانتره سیستم BWRO به خوراک سیستم SWRO جهت افزایش کارایی و ظرفیت تولید کلی سیستم نمک‌زدایی بازگردانده می‌شود. سیستم‌های SWRO دو گذر در دو گروه اصلی طبقه بندی می‌شوند: سیستم‌های دو گذر متعارف و سیستم‌های دوگذر مجزا.



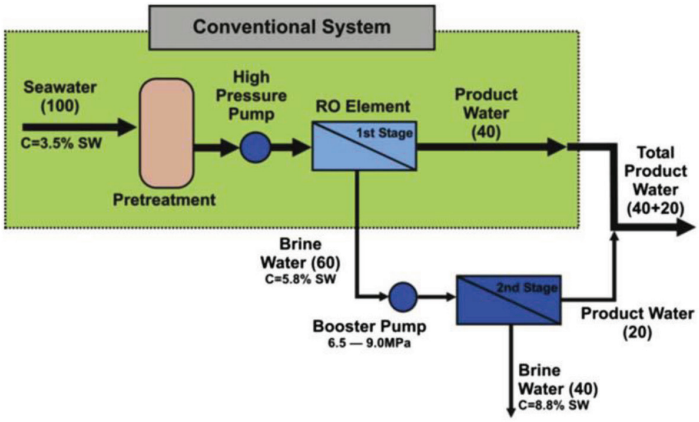
شکل ٦: سیستم‌های SWRO دو گذر مجزا (split-partial)

کیفیت آب محصول سیستم‌های SWRO دو و تک گذر:

تجزیه و تحلیل مقایسه ای اطلاعات مربوط به کیفیت آب ارائه شده نشان می‌دهد که سیستم‌های RO دو گذر مجزا، معمولاً کیفیت آب بهتری نسبت به سیستم‌های تک گذر، به ویژه از نظر مقدار TDS، سدیم، کلرید و بور دارند. لازم به ذکر است که کیفیت آب محصول سیستم‌های دوگذر مجزا حساسیت کمتری در مقابل تغییرات در پتانسیل گرفتگی آب دریای منبع یا کاهش عملکرد سیستم پیش‌تصفیه بالادست، دارد.

۷-۴-۳- سیستم‌های SWRO دو مرحله‌ای

سیستم‌های غشایی SWRO دو مرحله‌ای عمدتاً برای به حداکثر رساندن تولید کلی سامانه نمک‌زدایی و کاهش حجم کنسانتره تخلیه شده استفاده می‌شوند. یک طرح کلی از یک سیستم RO دو مرحله‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است. در این سیستم‌های SWRO، معمولا کل حجم کنسانتره تولید شده توسط سیستم SWRO مرحله اول به یک سیستم SWRO مرحله دوم جهت تصفیه بهتر هدایت می‌شود. محصول هر دو سیستم قبل از استفاده نهایی، با هم ترکیب می‌شوند.



شکل ۷: سیستم SWRO دو مرحله‌ای

۷-۴-۴- سیستم‌های SWRO ترکیبی با چندین گذر و مرحله

ممکن است چیدمان سیستم RO برای دستیابی به طراحی بهینه و عملکرد متناسب با کیفیت آب منبع و اهداف نهایی کیفی محصول، به صورت ترکیبی از حالات دو گذر و دو مرحله‌ای صورت گیرد.

۷-۵- گزینه‌هایی برای کنترل گرفتگی میکروبی

فرآیند گرفتگی میکروبی را می‌توان با ترکیبی از یک یا چند روش زیر کنترل کرد: (۱) کاهش مواد ارگانیک قابل تجزیه بیولوژیکی در آب دریا. (۲) کاهش محتوای باکتریایی در آب دریای منبع. و (۳) ایجاد شرایط هیدرودینامیکی در عناصر غشایی که اجازه نمی‌دهد باکتری های فعال به سطح غشا متصل شده و بیوفیلم تشکیل دهند. گزینه‌های موجود برای کنترل گرفتگی بیولوژیکی بر اساس سه روش کنترل گرفتگی بیولوژیکی در زیر بحث شده است.

۷-۵-۱-کاهش منابع غذایی باکتریایی در آب منبع

محتوای آلی آب دریای منبع می‌تواند توسط یک یا چند روش زیر کاهش یابد: ۱- تجزیه بیولوژیکی در بالادست سیستم SWRO ۲- انعقاد ۳- جذب مواد ارگانیک در بالادست سیستم SWRO و ۴- حذف ملایم جلبک از منبع آب توسط سیستم شناورسازی با هوای محلول DAF و یا فیلتراسیون ثقلی.

تجزیه بیولوژیکی ارگانیک‌های بالادست سیستم RO: این روش، کارآمدترین روش از چهار روش ذکر شده در بالا می‌باشد، زیرا کل محتوای آلی می‌تواند به زیر سطح استاندارد ۱ میلی‌گرم در لیتر از TOC کاهش یابد، که میزان گرفتگی زیستی غشایی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

تجزیه بیولوژیکی می‌تواند با استفاده از فیلترهای با بسترگرانولی ثقلی- فیلترهای زیستی با عمق زیاد- یا با سیستم فیلتراسیون غشایی به عنوان بیوراکتور غشایی (MBR) - نه به عنوان یک سیستم حذف ذرات- صورت پذیرد.

انعقاد: افزودن مواد منعقدکننده می‌تواند برای فیلترهای غشایی و گرانولی مفید باشد، به خصوص اگر مواد آلی موجود در آب منبع به طور عمده شامل NOMها باشد. با این حال، احتمالا افزودن مواد منعقدکننده سبب افزایش حذف مواد آلی محلول مانند مواردی که معمولا در طول شکوفایی جلبکی ایجاد می‌شود، نمی‌گردد.

جذب مواد آلی توسط کربن فعال: جذب کربن فعال می‌تواند ۱۰٪-۳۰٪ حذف TOC از آب منبع شور را به همراه داشته باشد، و هنگامی که با فیلتراسیون با بستر گرانولی ترکیب شود، می‌تواند حذف میکروارگانیسم‌ها در سیستم پیش‌تصفیه را به بیش از ۴۰٪ افزایش دهد. افزودن یک لایه ۰/۳-۰/۵ متر (۱/۰-۱/۵ فوت) از کربن فعال گرانولی (GAC) در بالای آنتراسیت در فیلترهای با بستر ثقلی (که تحت عنوان نصب "carbon cap" نام‌گذاری می‌شوند) معمولا یک اقدام مؤثر برای کاهش مواد آلی محلول در طی شکوفایی جلبکی با شدت متوسط و زیاد به سطحی که از بروز گرفتگی بیولوژیکی بیش از حد غشاهای RO پایین دست جلوگیری کند، می‌باشد.

اگر از پیش‌تصفیه غشایی استفاده شود، می‌توان با وارد کردن کربن فعال پودری (PAC) به آب خام بالادست آشغالگیرهای ریز سامانه نمک‌زدایی، حذف مواد آلی محلول در آب منبع را افزایش داد.

دوز تزریق PAC، ۰/۵-۱ میلی‌گرم بر لیتر به ازای هر ۱ میلی‌گرم بر لیتر TOC است. عدم امکان بازیابی و PAC مصرفی و زیاد بودن استفاده از آن باعث شده که این روش در تاسیسات RO کمتر مورد استفاده قرار بگیرد.

حذف آرام بیومس جلبکی از منبع آب: از آنجا که توده جلبکی مقدار قابل توجهی از مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی را حمل می‌کند، حذف آرام آن توسط سیستم شناورسازی با هوای محلول DAF یا فیلتراسیون با بستر گرانولی ثقلی کند می‌تواند یک اقدام بسیار کارآمد برای کنترل انتشار مواد آلی در آب منبع و متعاقباً گرفتگی بیولوژیکی SWRO باشد.

۷-۵-۲-کاهش محتوای باکتریایی آب منبع

غلظت میکروارگانیسم‌های موجود در آب منبع می‌تواند به طور مؤثری با روش‌های زیر کاهش یابد. که این موارد شامل موارد زیر است: (۱) قرار گرفتن در معرض اکسیدان‌های قوی (به عنوان مثال، گندزداها) یا نور ماوراء بنفش. یا (۲) محروم کردن میکروارگانیسم‌ها از اکسیژن با استفاده از عوامل احیاکننده قوی مانند متا بی سولفیت سدیم. این روش‌ها به طور خلاصه در زیر توضیح داده شده است.

کنترل رشد باکتریایی توسط اکسیداسیون میکروبی و غیرفعال سازی UV: چندین اکسیدان مانند کلر، دی اکسید کلر و کلرامین‌ها می‌توانند برای کنترل رشد میکروبی منابع آب سطحی استفاده شوند. مقرون به صرفه بودن غیرفعال سازی با استفاده از UV بستگی به کیفیت آب منبع و طراحی سیستم UV دارد. اگر آب منبع دارای کدورت بالایی باشد، مقدار مصرف اشعه ماوراء بنفش می‌تواند نسبتاً زیاد و کنترل گرفتگی بیولوژیکی بی‌اثر باشد. برای عملکرد بهینه، توصیه می‌شود که کدورت آب منبع شور در معرض واحد UV از ۱۰ NTU تجاوز نکند. بهترین محل برای سیستم UV بین فیلتر کارتریج و غشا RO خواهد بود. با این حال، به دلیل محدودیت های فضا، نصب سیستم UV قبل از فیلترهای کارتریج قابل قبول است.

کنترل رشد باکتریایی با کاهش اکسیژن: بسیاری از باکتری های دریایی از اکسیژن برای هضم زیستی مواد آلی محلول در آب اقیانوس محیط استفاده می کنند. بنابراین، حذف اکسیژن توسط مواد شیمیایی احیاکننده مانند بیوسولفیت سدیم مانع از رشد آنها می‌شود و درنهایت گرفتگی بیولوژیکی را بر روی غشاها از بین می‌برد. (ویلف و همکاران ، ۲۰۰۷).

در حالی که غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌های عامل گرفتگی بیولوژیکی با کاهش اکسیژن در مدت زمان کوتاه (چند روز تا ۱ هفته) مؤثر می‌باشد، در طولانی مدت، افزودن مداوم مواد شیمیایی احیاکننده، کنترل مؤثری را ایجاد نمی‌کند. دلیل این موضوع این واقعیت است که اکثر باکتری‌های دریایی کاملاً هوازی نیستند و در شرایط بی‌هوازی نیز می‌توانند مواد آلی در آب خام را هضم زیستی کنند. بنابراین برای مشکلات شکوفایی جلبکی مانند شکوفایی که معمولا به مدت ۴-٦ هفته یا بیشتر دوام می‌آورند مناسب نیستند.

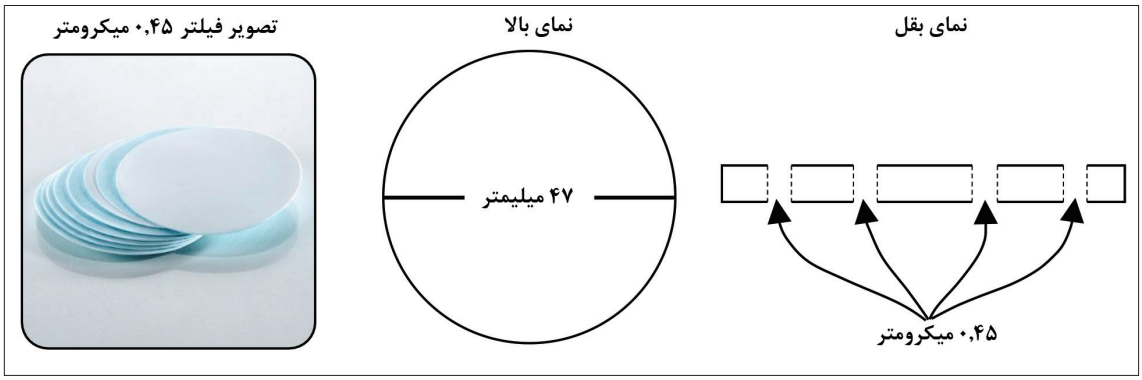
بخش هشتم: دستورعمل انجام آزمایش شاخص تراکم (SDI=Silt Density Index)

۸-۱- شاخص تراکم سیلت

شاخص تراکم سیلت (SDI) پارامتری است که می‌تواند پتاسیل گرفتگی ذره‌ای یک منبع آب را نشان دهد. اگر یک سیستم RO با اختلاف فشار هیدرولیکی ثابت (اختلاف فشار هیدرولیکی آب خوراک نسبت به آب تصفیه شده: TMP[1]) مورد بهره‌برداری قرار گیرد، پتانسیل گرفتگی ذره‌ای بر روی ممبران منجر به کاهش میزان تولید (شار عبوری از غشا[2]) در طول زمان می‌گردد. SDI شاخصی است که میزان افت شار بر روی یک فیلتر با اندازه و قطر استاندارد (۰٫۴۵ میکرومتر) در شرایط بهره‌برداری در فشار ثابت (۲ بار معادل ۳۰ psi) برای یک دوره زمانی مشخص را نشان می‌دهد.

۸-۲- آزمایش شاخص تراکم سیلت

نحوه انجام آزمایش SDI در دستورالعمل ASTM با کد D41189-07 ارائه گردیده است. بر اساس این استاندارد این پارامتر نشان‌دهنده میزان ذرات معلق موجود در آب بوده و برای منابع آب از قبیل آب چاه، آب صاف فرایند فیلتراسیون یا نمونه آب زلال شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجاییکه اندازه، شکل و ماهیت ذرات معلق در آب متفاوت بوده، لذا این روش آزمایش اندازه‌گیری قطعی برای میزان ذرات معلق در آب نمی‌باشد. در ابتدا به مکانیزم این روش آزمایش می‌پردازیم. در این روش از صافی ۰٫۴۵ میکرومتر برای فیلتراسیون آب استفاده می‌گردد. در شکل شماره ۱ مشخصات و ابعاد یک فیلتر استاندارد ۰٫۴۵ میکرومتر نمایش داده شده است. معمولا فیلتر ۰٫۴۵ میکرومتر دارای قطر بیرونی ۴۷ میلی متر بوده و اندازه منافذ آن برای عبور جریان ۰٫۴۵ میکرومتر می‌باشد.

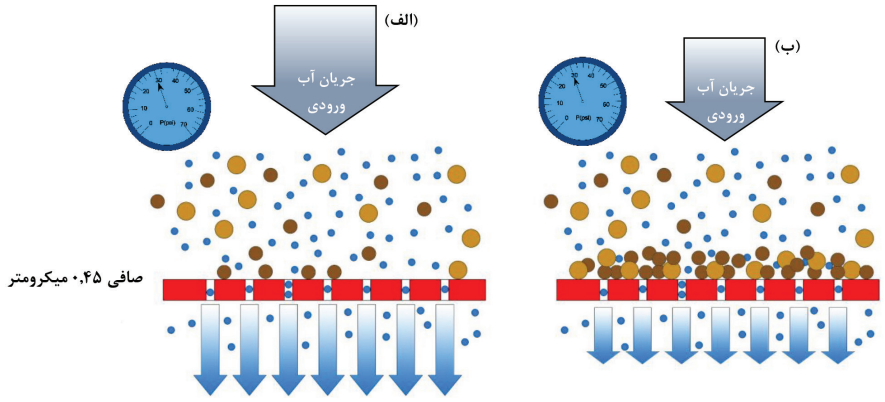


شکل ۱ : مشخصات فیلتر استاندارد ۰٫۴۵ میکرومتر

در ادامه به طور مختصر به تئوری آزمایش SDI خواهیم پرداخت. همانطور که در شکل ۲-الف مشاهده می‌شود در این آزمایش جریان آب با فشار ثابت ۲ بار از صافی ۰٫۴۵ میکرومتر عبور می‌نماید. در ابتدای آزمایش با توجه به اینکه منافذ صافی کاملا باز می‌باشد، جریان آب با دبی حداکثر در فشار ثابت ۳۰ psi (۲ بار) از منافذ صافی عبور می‌نماید. اما ذرات بزرگتر از ۰٫۴۵ میکرومتر امکان عبور از منافذ صافی را نداشته و تجمع این ذرات بر روی صافی آغاز می‌گردد. با گذشت زمان و عبور جریان، به تدریج ذرات نامحلول و بزرگتر از ۰٫۴۵ میکرومتر در آب شروع به تجمع بر روی سطح صافی نموده و به تدریج منافذ صافی را مسدود می کند. در نتیجه افت عبور جریان را شاهد خواهیم بود. با توجه به اینکه فشار در پشت صافی ثابت می‌باشد (۲ بار) دبی عبور از صافی به تدریج کاهش می‌یابد (شکل۲– ب). بدیهی

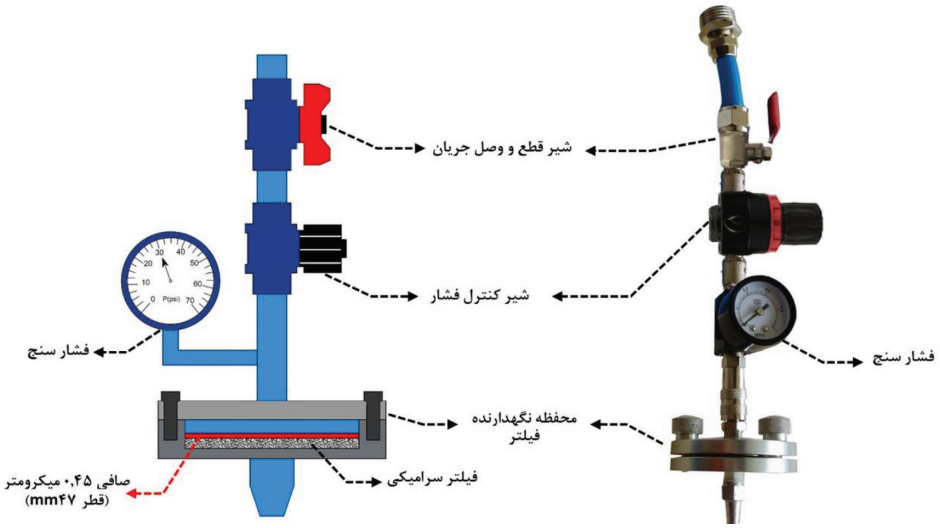
1. Transmembrane Pressure (TMP)
2. Membrane Flux

است مقدار ذرات معلق موجود در آب رابطه مستقیمی با سرعت گرفتگی و افت جریان آب دارد. لذا از این اصل برای اندازه‌گیری پتاسیل آب برای گرفتگی در سیستم‌های تصفیه غشایی استفاده می‌گردد.



شکل ۲- شماتیک عبور جریان از صافی ۰٫۴۵ میکرون در آزمایش SDI ، الف: در ابتدای آزمایش منافذ صافی باز بوده و دبی جریان حداکثر می‌باشد ب: پس از مدتی منافذ مسدود شده و دبی جریان افت می‌نماید.

پس از آشنایی با تئوری آزمایش، به تشریح دستگاه اندازه‌گیری آزمایش SDI می پردازیم. در شکل ۳ اجزا این دستگاه به صورت شماتیک و واقعی نمایش داده شده است.



شکل ۳- دستگاه مورد استفاد در آزمایش SDI

اجزا تشکیل‌دهنده دستگاه:

۱- محفظه نگهدارنده صافی با قطر ۴۷ میلیمتر

۲- صافی با اندازه منافذ ۰٫۴۵ میکرومتر و با قطر ۴۷ میلیمتر

۳- فشار سنج ۱۰ – ۷۰ psi (۱ الی ۵ بار)

۴- شیر تنظیم فشار

۵- شیر قطع و وصل جریان

٦- اتصالات

مراحل انجام آزمایش:

۱- ابتدا اجزا دستگاه را مطابق با شکل ۳ مونتاژ نموده، پس از اتصال ورودی دستگاه به منبع آب مورد آزمایش، شیر کنترل فشار را طوری تنظیم نمایید که فشار سنج عدد ۳۰ psi یا ۲ بار را نشان دهد. با توجه به ابعاد کوچک دستگاه و سادگی آن و همچنین نیاز به فشار آب در جریان آب ورودی برای انجام آزمایش، معمولا این آزمایش در محل سایت انجام می‌گیرد. برای انجام آزمایش بر روی نمونه هایی که از قبل نمونه برداری شده، برای مثال از یک منبع آب نمونه‌بردای شده و به آزمایشگاه آورده شده، استفاده از تجهیزات برای تامین فشار حداقل ۴۰ psi، مانند بوستر پمپ، ضروری می‌باشد.

۲- قبل از قرار دادن صافی در محفظه فیلتر، اجازه دهید جریان برای مدتی عبور نموده تا آلودگی‌های احتمالی و یا ذرات ناشی از ماند آب در لوله خارج شوند.

۳- دمای آب را اندازه‌گیری نمایید.

۴- محفظه فیلتر را باز نموده و صافی ۰٫۴۵ میکرومتر را (با قطر ۴۷ میلیمتر) بر روی صفحه تکیه‌گاه قرار دهید. جهت جلوگیری از سوراخ یا آسیب به فیلتر، صرفا از گیره ای که تیز نمی‌باشد استفاده نمایید. از تماس دست با صافی خودداری نمایید (شکل ۴).

شکل ۴- جاگذاری صافی ۰٫۴۵ میکرومتر در محفظه فیلتر

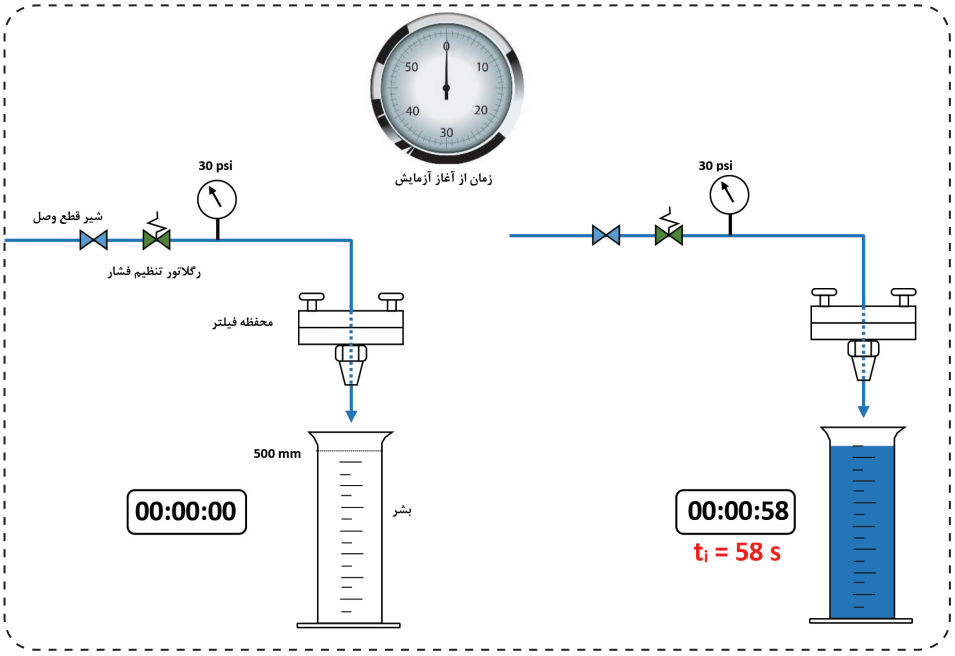
۵- اطمینان حاصل نمایید که رینگ آببند در محل مناسب و بطور صحیح قرار گرفته است. بخش فوقانی محفظه فیلتر را قرار داده و پیچ‌ها را تا حدی ببندید (در این مرحله پیچ ها نبایستی محکم بسته شود).

٦ - به کمک شیر قطع و وصل هوای محبوس شده در مسیر جریان را خارج نمایید. سپس شیر قطع و وصل را بسته و پیچ های محفظه نگهدارنده فیلتر را محکم ببندید.

شیر قطع و وصل را باز نموده و بطور همزمان با استفاده از کرنومتر مدت زمان مورد نیاز برای عبور جریان به اندازه ۵۰۰ میلی‌لیتر را اندازه‌گیری نمایید. این زمان را به عنوان (ti) ثبت نمایید. سپس اجازه دهید جریان آب ادامه پیدا کند (شکل ۵). لازم به ذکر است در تمام مدت آزمایش آب جریان داشته و فشار می‌بایست روی ۳۰ psi نگهداشته شود.

* نکته: زمان ثبت شده (ti) برای عبور جریان ۵۰۰ میلی‌لیتر نمی‌بایست اختلافی بیشتر و یا کمتر از ۱۰ درصد مدت

زمان عبور آب صاف (آب مقطر فیلتر شده) با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر در دمای یکسان داشته باشد. برای تهیه آب صاف می‌توان از آب مقطر فیلتر شده با صافی ۰٫۲ میکرومتر استفاده نمود. اگر (ti) کمتر از ۹۰ درصد زمان عبور جریان برای آب صاف باشد، احتمال پارگی صافی وجود داشته، لذا صافی می‌بایست جایگزین شود. اگر (ti) بیشتر از ۱۱۰ درصد زمان عبور آب صاف باشد، می‌بایست حجم نمونه برداری را به ۲۵۰ و یا ۱۰۰ میلی‌لیتر کاهش داد.



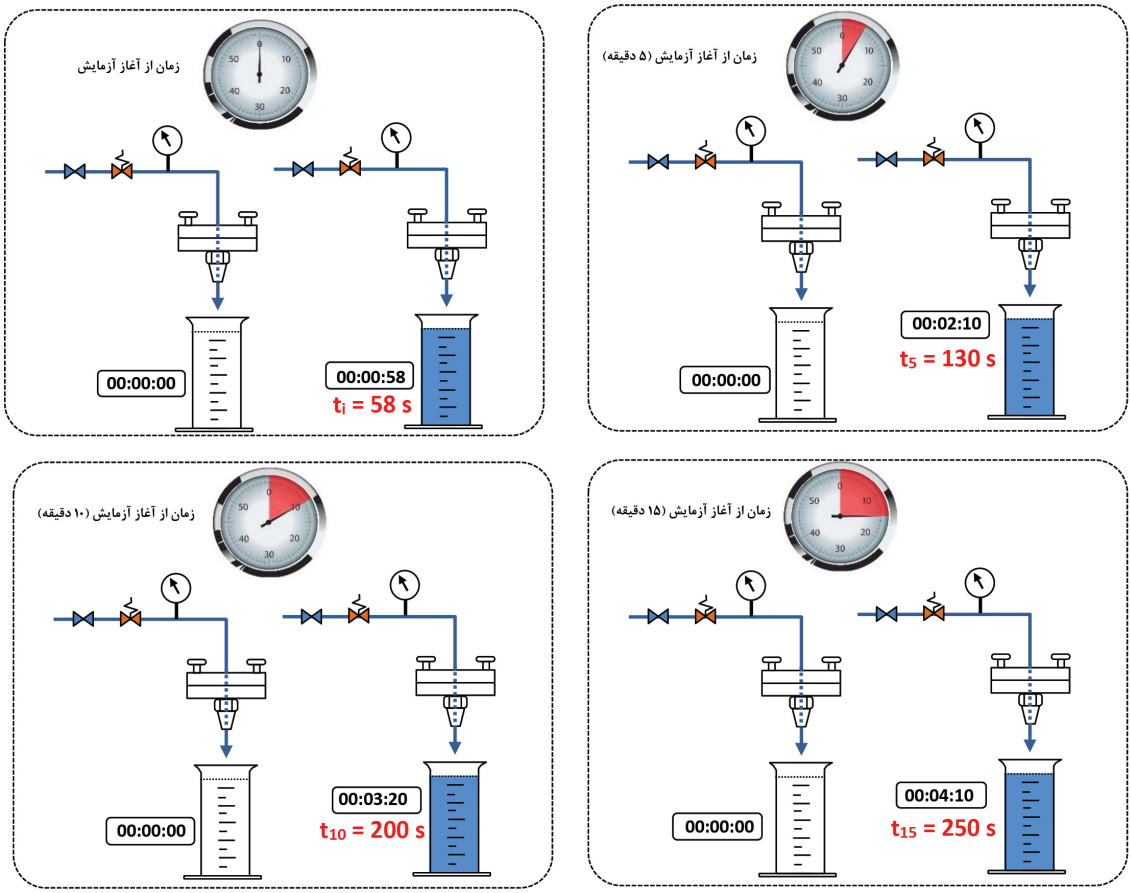
شکل ۵- ثبت زمان t_i در ابتدای آزمایش

بعد از ۵ دقیقه از شروع آزمایش مجددا با کمک بشر مدت زمان برای عبور ۵۰۰ میلی‌لیتر آب را به کمک کرنومتر اندازه‌گیری نموده و آن را به عنوان t_5 ثبت می‌نماییم. مجدد اشاره می‌شود در تمام مدت آزمایش آب جریان داشته و فشار می‌بایست روی ۳۰ psi نگهداشته شود.

بعد از ۱۰ دقیقه از شروع آزمایش مجددا با کمک بشر مدت زمان برای عبور ۵۰۰ میلی‌لیتر آب را به کمک کرنومتر اندازه‌گیری نموده و آن را به عنوان t_{10} ثبت می‌نماییم. این عمل بعد از ۱۵ دقیقه نیز تکرار شده و مدت زمان اندازه‌گیری به عنوان t_{15} ثبت می‌گردد (شکل ۵).

* فشار در تمام طول مدت انجام آزمایش می‌بایست ثابت بوده و بر روی ۳۰ psi تنظیم شود (۳۰∓۱psi).
* تغییرات دما در طول مدت آزمایش می‌بایست کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد باشد.

۹- بعد از انجام آزمایش می‌توان فیلتر را برای بررسی احتمالی در آینده نگهداری کرد (شکل ٦).



شکل ۵- ثبت زمان t_i در مراحل مختلف آزمایش

محاسبات:

۱- SDI_T مطابق با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SDI_T = \frac{\%P_{30}}{T} = \frac{\left[1 - \frac{t_i}{t_f}\right] 100}{T}$$

$\%P_{30}$= نرخ انسداد غشا در فشار آب ورودی ۳۰ psi (درصد)

T = کل زمان سپری شده، بر حسب دقیقه (معمولا ۱۵ دقیقه)

t_i = زمان سپری شده برای عبور ۵۰۰ میلی‌لیتر نمونه در ابتدای آزمایش، بر حسب ثانیه

t_f = زمان سپری شده برای عبور ۵۰۰ میلی‌لیتر نمونه بعد از گذشت زمان T(معمولا ۱۵ دقیقه)، بر حسب ثانیه

* در این روش آزمایش $\%P_{30}$ نمی‌بایست از ۷۵ درصد تجاوز نماید. در شرایطی که $\%P_{30}$ بیشتر از ۷۵ درصد شود، زمان کوتاهتر برای T می‌بایست در نظر گرفته شود، برای مثال ۵ یا ۱۰ دقیقه. اگر ٪P۳۰ برای T برابر ۵ دقیقه نیز از ۷۵ درصد بیشتر شود، دیگر روش‌های ازمایش برای آنالیز ذرات باید به کار گرفته شود.

برای مثال مطابق با مثال ارائه شده در شکل ۵ مقادیر به شرح ذیل برای SDI و $\%P_{30}$ محاسبه می‌گردد:

$$SDI_{15} = \frac{\%P_{30}}{T} = \frac{\left[1 - \frac{t_i}{t_{15}}\right]100}{T} = \frac{\left[1 - \frac{58}{130}\right]100}{15} = 3.7 \ , \qquad \%P_{30} = 55.4$$

$$SDI_{10} = \frac{\%P_{30}}{T} = \frac{\left[1 - \frac{t_i}{t_{10}}\right]100}{T} = \frac{\left[1 - \frac{58}{200}\right]100}{10} = 4.7 \ , \qquad \%P_{30} = 71$$

$$SDI_{5} = \frac{\%P_{30}}{T} = \frac{\left[1 - \frac{t_i}{t_{5}}\right]100}{T} = \frac{\left[1 - \frac{58}{250}\right]100}{5} = 5.1 \ , \qquad \%P_{30} = 76.8$$

در این مثال با توجه به اینکه $\%P_{30}$ برای زمان ۱۵ دقیقه کمتر از ۷۵ درصد می‌باشد، لذا SDI_{15} مورد قبول بوده که مقدار آن برابر ۳٫۷ می‌باشد.

گزارش:

در گزارش اطلاعات زیر می‌بایست ارائه گردد:

۱- SDI با ایندکس T که نشان دهنده مدت زمان آزمایش (به دقیقه) می‌باشد. برای مثال SDI_{15} نشان دهنده مقدار SDI بعد از ۱۵ دقیقه زمان آزمایش می‌باشد.

۲- دمای آب قبل و بعد از آزمایش

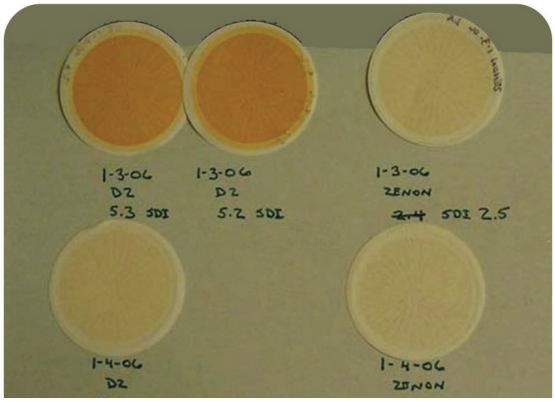
۳- نام شرکت سازنده فیلتر ۰٫۴۵ میکرومتر به همراه مشخصات فیلتر که توسط شرکت سازنده ارائه می‌شود.

۳-۸- بررسی نتایج شاخص تراکم سیلت

معمولا منبع آب با SDI_{15} کمتر از ۴ به عنوان منبع آب با پتانسیل گرفتگی ذره‌ای پایین در نظر گرفته می‌شود. در صورت استفاده از این منبع برای سیستم نمک‌زدایی انتظار می رود شار در طول دوره بهره‌برداری با سرعت کمی کاهش پیدا کند (۱۰ تا ۱۵ درصد کاهش تولید پس از ۳ تا ۴ ماه دوره بهره‌برداری). مقدار SDI_{15} در محدوده ۲ تا ۴ نشان دهنده عملکرد مطلوب سیستم پیش‌تصفیه بوده و اگر سیستم پیش‌تصفیه آب را تا مقدار SDI_{15} کمتر از ۳ تصفیه نماید، نشان دهنده راندمان عالی سیستم پیش‌تصفیه در حذف ذرات می‌باشد.

منبع آب با SDI_{15} کمتر از ۲ عموما دارای حداقل پتاسیل گرفتگی ذره‌ای بوده و معمولا هر شش ماه یکبار نیازمند به شستشوی ممبران می‌باشد (در استاندارد های صنعتی شستشو می‌بایست هر ۳ تا ۴ ماه یکبار انجام گردد). پتانسیل رسوب‌گذاری ذره‌ای در منبع آب با SDI_{15} کمتر از ۱ و متعاقبا افزایش فشار بر روی ممبران بسیار آهسته بوده و بازه‌های شستشو ممبران در این شرایط معمولا ۱۲ ماه و یا بیشتر می‌باشد. به منظور ضمانت عملکرد، شرکت‌های سازنده ممبران‌ها معمولا SDI_{15} کمتر از ۵ را برای منبع آب خوراک در تمامی شرایط الزام نموده و در ۹۵ درصد زمان‌های بهره‌برداری این مقدار می‌بایست کمتر از ۴ باشد. SDI_{15} بیش از ۵ برای یک منبع آب نشان دهنده حضور میزان زیادی از ذرات بوده که می‌توانند عامل رسوب‌گذاری بر روی ممبران باشند. لذا استفاده از این منبع آب به طور مستقیم بعنوان آب خوراک برای سیستم RO، به دلیل اینکه سرعت رسوب‌گذاری بر روی ممبران را بشدت افزایش می‌دهد، مناسب نمی‌باشد. برای منبع آب با SDI_{15} بیش از ۵ پیشنهاد می‌گردد انجام آزمایش در بازه های ۵ و ۱۰ دقیقه انجام گردیده و در نتیجه، نتایج معنی‌دارتری را ارائه خواهد نمود.

رنگ و ظاهر فیلتر مورد آزمایش در آزمایش SDI می‌تواند شاخص مناسبی برای تشخیص عوامل رسوب‌گذار بر روی ممبران و همچنین راندمان فرایند پیش‌تصفیه باشد. شکل شماره ٦ فیلتر های استفاده شده در آزمایش‌های SDI_{15} و نتایج آن را نشان می‌دهد.

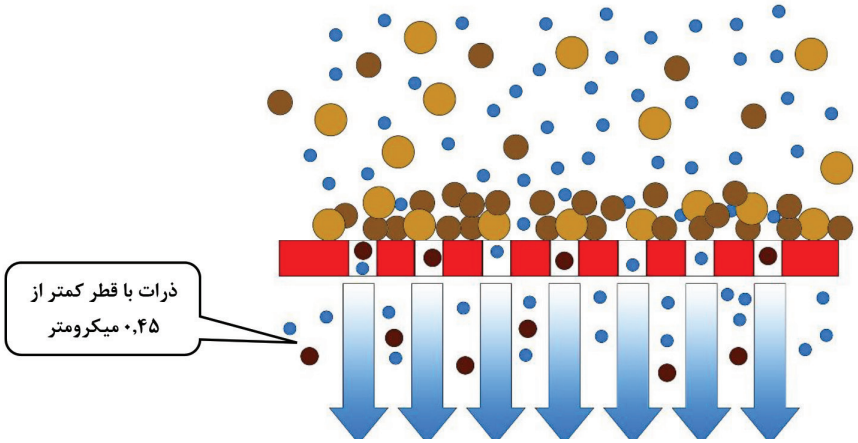


شکل ٦- نمونه صافی‌های ۰٫۴۵ میکرومتر بعد از آزمایش SDI

فیلتر نامگذاری شده با عنوان "D2" مربوط به فرایند پیش‌تصفیه آب دریا با منعقدکننده کلرورفریک و فیلتر دو مرحله‌ای ماسه‌ای بوده و فیلترهای نامگذاری شده با عنوان "Zenon" آب خروجی از سیستم UF بدون فرایند انعقاد می‌باشد. در دو فیلتر در قسمت بالا (با SDI ۵،۳ و ۵،۲) در شکل شماره ٦ از چپ به راست، رنگ قرمز نشان‌دهنده استفاده بیش از اندازه از منعقدکننده کلروفریک می‌باشد. این آزمایشات SDI نشان می‌دهد ورود آب پیش‌تصفیه به دلیل حضور میزان زیاد عوامل رسوبگذار ذره‌ای در منبع آب برای استفاده در سیستم تصفیه نمک‌زدایی آب دریا مناسب نمی‌باشد. فیلتر دیگر و نتایج SDI نشان می‌دهد خروجی آب فیلتر پیش‌تصفیه شده دارای پتاسیل نسبتا کمی برای گرفتگی ذره‌ای بر روی ممبران می‌باشد.

۴-۸- محدودیت های شاخص تراکم سیلت:

ذکر این نکته ضروریست که اگرچه آزمایش SDI امروزه به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما دارای محدودیت‌های برای اندازه‌گیری پتاسیل رسوب‌گذاری ذره‌ای در آب دریا می‌باشد. آزمایش SDI بر مبنای فیلتراسیون آب دریا از طریق ممبران‌های میکروفیلتر (MF) با قطر چشمه ۰،۴۵ میکرون می‌باشد. بنابراین آزمایش SDI به طور کلی نشان‌دهنده بخشی از ذرات و کلوئید های موجود در آب دریا می‌باشد که بر روی این فیلتر باقی مانده و نمی‌توانند عبور نمایند. این در حالیست که ذرات با قطر کمتر از ۰٫۴۵ میکرومتر از صافی در آزمایش SDI عبور کرده و در اندازه‌گیری شاخص SDI نقشی ایفا نمی‌کنند اما در گرفتگی ممبران‌ها نقش موثری دارند (شکل ۷).



شکل ۷- عبور ذرات با قطر کمتر از ۰٫۴۵ میکرومتر از صافی در آزمایش SDI که در گرفتگی ممبران‌ها نقش موثری دارند.

مکانیزم رسوب‌گذاری ممبران تراوا MF و ممبران نیمه تراوا RO با توجه به نوع و اندازه ذرات در منابع آب می‌تواند بطور اساسی متفاوت باشد.

معمولا رسوب‌گذاری در MF و UF در نتیجه ترکیبی از گرفتگی می‌باشد، گرفتگی مجموعه‌ای از منافذ بسیار ریز و تشکیل یک کیک لجن بر روی سطح ممبران. در حالیکه رسوب‌گذاری در ممبران RO به دلیل تشکیل کیکی از باقیمانده‌ها بر روی سطح ممبران می باشد (بدون گرفتگی منافذ). لذا ذرات ریز نقش موثرتری در ایجاد افت در کیک ایجاد شده نسبت به ذرات بزرگتر دارند. در نتیجه نقش این ذرات (ذرات با قطر کمتر از ۰٫۴۵ میکرومتر) در گرفتگی ممبران‌های RO بسیار بیشتر از ذرات درشت تری می‌باشد که در آزمایش SDI در فیلتر حذف شده و در اندازه‌گیری شاخص SDI اثرگذار می‌باشند.

اسامی تدوین‌کنندگان: (به ترتیب حروف الفبا)

ردیف	نام و نام خانوادگی	شرکت
۱	مجتبی اکبریان	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۲	امیرحسین آزادنیا	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۳	سعید پورکریم	شرکت آب و فاضلاب استان گیلان
۴	حمیده رضازاده	شرکت آب و فاضلاب استان بوشهر
۵	علیرضا رضاپور	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۶	علی محمد قول بیگی	انجمن شرکت‌های آب شیرین کن
۷	سید حمیدرضا کشفی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
۸	حسین نعیمی	شرکت آب و فاضلاب استان آذربایجان غربی
۹	مهسا واعظ تهرانی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

تاریخ: موضوع:

https://ope.nww.ir