

۱۵ مسائل مربوط به مهندسی سیستم (Issues Concerning System Engineering)

مسائل مختلف مربوط به مهندسی سیستم RO و مراحل تصفیه قبل و بعد از آن، در این بخش توضیح داده می‌شوند. مسائلی که معمولاً با آنها مواجه می‌شویم عبارتند از:

- سختی‌گیر سدیمی و محل قرار گرفتن آن، که قبل یا بعد از واحد RO مستقر شود
- از سختی‌گیر سدیمی استفاده شود یا مواد ضد رسوب
- اندازه سیستم RO در شرایط متغیری از شدت جریان تقاضا شده
- تمیز کردن غشاهای RO در محل یا خارج از محل
- دور ریختن جریان دفع شده از RO

۱۵-۱ سختی‌گیر سدیمی آب (Sodium Water Softening)

از سختی‌گیر سدیمی برای حذف سختی محلول در آب از جمله کلسیم، منیزیم، باریم و استرانسیم استفاده می‌شود. همان‌طور که در فصل ۶-۱-۸ توضیح داده شد، سختی‌گیر سدیمی معمولاً در مرحله پیش‌تصفیه آب ورودی به RO به کار گرفته می‌شود تا قابلیت رسوب‌گرفتگی در ممبرین با رسوبات سخت کاهش یابد. در دو بخش بعدی، قرار دادن سختی‌گیر سدیمی، قبل یا بعد از سیستم RO، و همچنین استفاده از سختی‌گیرهای سدیمی در مقابل مواد ضد رسوب توضیح داده می‌شود.

۱۵-۱-۱ تعیین توالی سختی‌گیرهای سدیمی و سیستم RO

(Sequencing of the Sodium Softeners and RO)

به‌طور سنتی، سختی‌گیرهای سدیمی به‌عنوان پیش‌تصفیه RO به کار گرفته می‌شوند. سختی‌گیرهای سدیمی، سختی و فلزاتی همچون آهن و منگنز، که ممبرین‌های RO را دچار رسوب‌گرفتگی، لای‌گرفتگی یا تخریب می‌کنند، حذف می‌نمایند. به عبارتی، سختی‌گیرها برای کمک به کاهش جامدات معلق و SDI از آب‌های سطحی یا دیگر آب‌های ورودی با لای‌گرفتگی بسیار بالا، قبل از سیستم RO نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اصل، سختی‌گیر سدیمی به‌عنوان یک سد در جلوی ممبرین عمل می‌کند.

یکی از معایب استفاده از سختی‌گیری توسط سدیم، به‌عنوان پیش‌تصفیه RO، آن است که سختی‌گیر نه‌تنها باید حجم آب تصفیه‌شده را تصفیه کند بلکه باید حجم آبی را که به جریان دفع شده تبدیل می‌شود را نیز تصفیه نماید. به عبارت دیگر، سختی‌گیر باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که حجم کل خوراک ورودی به RO را بتواند تصفیه کند. این امر باعث ایجاد دو مطلب می‌شود:

۱- سیستم سختی‌گیر باید نسبتاً بزرگ باشد، چون نرخ شدت جریان سرویس عبوری از طریق یک مخزن سختی‌گیر باید در حدود 6 تا 8 gpm/ft^2 باشد. یک سیستم RO به ظرفیت 500 gpm با مقدار بازیابی 75% (بخش ۱-۳ را ببینید) برای سختی‌گیری آب خوراک و حفظ نرخ شدت جریان مطلوب برای سرویس‌دهی، زمانی که یک دستگاه در وضعیت احیاء است، به دو مخزن با قطر 120 اینچ نیاز دارد.

۲- کلرید موجود در خروجی ممکن است تبدیل به یک نگرانی شود. یک مخزن با قطر 120 اینچ، به‌تنهایی در حدود 3400 گالن پساب نمکی 10%، فقط در یک مرحله احیاء با نمک، تولید می‌کند. یک محلول آب نمک 10% تقریباً حاوی 6000 ppm کلرید است. در حال حاضر، آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA) دستورالعمل‌هایی ارائه کرده است که بر طبق آن مقدار کلر پایا (یا مداوم) در جریان تخلیه‌شده به مسیل‌ها باید در حد 230 ppm کنترل گردد. بنابر دستورالعمل‌های فعلی، محلول آب نمک باید با ضریب 8 رقیق شود، یا 3400 گالن آب نمک 10% باید با 61200 گالن آب بدون کلر رقیق گردد.

این دو موضوع باعث شده است که کاربران وادار شوند که سختی‌گیر سدیمی را از جلوی سیستم RO، به بعد از RO منتقل کنند یا این امر را در نظر داشته باشند، تا آب تصفیه شده توسط سیستم RO نرم شود. وجود مرحله پس از تصفیه برای آب تولیدی RO، اغلب ضروری می‌باشد، زیرا سیستم RO نمی‌تواند 100% سختی موجود در آب خوراک را دفع نماید. و از آنجا که آب خوراک سختی‌گیری نشده است، غلظت سختی موجود در آب خوراک در جریان خروجی از RO بیشتر از وقتی می‌شود که آب خوراک قبل از ورود به RO سختی‌گیری شده باشد. بر حسب نوع کاربرد آب تصفیه شده، نرم کردن آب با یک سختی‌گیر برای حذف سختی ممکن است ضروری گردد.

مزیت‌های استفاده از این نوع چیدمان به‌قرار زیر است:

۱- سختی‌گیر سدیمی فقط آب تصفیه‌شده توسط RO را تصفیه می‌کند، که معمولاً در حدود 75% از نرخ شدت جریان خوراک است.

۲- نرم کردن با سختی‌گیر سدیمی می‌تواند با نرخ شدت جریان سرویس بالاتری نسبت به سختی‌گیر ابتدایی به‌کار گرفته شود. به‌جای محدود شدن تا 6 الی 8 gpm/ft²، نرم کردن با سختی‌گیر می‌تواند در 10 الی 15 gpm/ft² مورد استفاده قرار گیرد. همان سیستم RO با ظرفیت 500 گالن که برای پیش‌تصفیه به دو مخزن سختی‌گیر با قطر 120 اینچ نیاز داشت، با استفاده از تصفیه آب تولید شده پس از سیستم RO، فقط به دو مخزن با قطر 84 اینچ احتیاج پیدا می‌کند.

۳- یک مخزن با قطر 84 اینچ در حدود 1700 گالن پساب نمکی 10% تولید می‌کند. در حدود 44200 گالن آب بدون کلر برای رقیق شدن لازم خواهد داشت تا کلر برای ورود به جریان تخلیه، به حد لازم برسد، یا فقط در حدود 60% از آنچه که برای سختی‌گیر سدیمی واقع در جلوی سیستم RO لازم بود.

اشکال قرارگرفتن بعد از سیستم RO این است که ممبرین‌های RO کنونی از نظر رسوب‌گرفتنگی، لای‌گرفتنگی یا تخریب، توسط سختی یا فلزاتی چون آهن و منگنز، مستعدتر هستند. این مشکل می‌تواند با استفاده از مواد ضد رسوب برای حداقل کردن رسوب‌گذاری (بخش ۳-۲-۸ را ببینید) و فیلتراسیون مناسب، مثل فیلتراسیون با منگنز، برای حذف آهن و منگنز (بخش ۵-۱-۸ را ببینید) برطرف شود. با این حال، هزینه‌ها باید به‌دقت مورد بررسی قرار گیرند تا گزینه مقرون به صرفه‌تر (قرار گرفتن سختی‌گیر در جلو و یا پشت RO) مشخص گردد.

۱۵-۱-۲ سختی‌گیری با سدیم و ضد رسوب‌ها

(Sodium Softening and Antiscalants)

انتخاب سختی‌گیری با سدیم یا ضد رسوب، به ویژگی‌های هر مورد بستگی دارد. بیان یک اظهار نظر کلی در مورد این‌که کدام فن‌آوری از دیگری بهتر است، خیلی سخت می‌باشد زیرا هر دو روش در حداقل کردن قابلیت رسوب‌گذاری در ممبرین‌های RO مؤثر هستند. برخی از طراحان استفاده از سختی‌گیرهای سدیمی را ترجیح می‌دهند چون یک سد اضافی در جلوی سیستم RO ایجاد می‌کند. دیگران ترجیح می‌دهند از ضد رسوب استفاده کنند تا نیاز به رسیدگی به پساب نمکی از بین برود (بخش ۱۵-۱-۱ را ببینید).

برای اهداف عملی، احساس می‌شود که استفاده از سختی‌گیرهای سدیمی، برای نرخ شدت جریانهای خوراک RO کمتر از 20 gpm، به جای کنترل جریان تناسبی متعارف، متداول‌تر باشد؛ مشکلات موجود در تزریق بر اساس کنترل جریان، در نرخ‌های پایین شدت جریان به دلیل روشن و خاموش شدن محدود پمپ‌های تزریق مواد شیمیایی تناسبی در نرخ‌های پایین شدت جریان، تشدید می‌شود. با این حال، زمانی‌که از فن‌آوری 3D TRASAR شرکت Nalco استفاده می‌شود، با وجود انجام بهره‌برداری با نرخ شدت جریانهای خوراک پایین به مقدار 3 gpm، ضد رسوب را می‌توان به سیستم‌های RO تزریق نمود.

موضوع دیگری که باید در نظر گرفته شود مسأله‌ی هزینه است، هم در مورد سرمایه‌گذاری و هم در مورد بهره‌برداری. مقدار سرمایه‌گذاری معمولاً برای سیستم تزریق ضد رسوب کمتر از سختی‌گیر می‌باشد. هزینه‌ی یک سیستم تزریق ضد رسوب برای پمپ، تجهیزات درجه‌بندی دستگاه‌های پایین‌دستی، و یک مخزن روزانه برای یک سیستم RO با ظرفیت 20 gpm، می‌تواند در حدود \$2500 باشد. قیمت یک سختی‌گیر قابل قیاس برای یک سیستم دوتایی که امکان بهره‌برداری پیوسته را فراهم می‌سازد، می‌تواند در حدود \$20000 باشد.

در جدول ۱۵-۱ فهرستی از هزینه‌های عملیاتی مربوط به سختی‌گیرهای سدیمی و سیستم‌های تزریق ضد رسوب آورده شده است. سه تا از بزرگ‌ترین موارد ذکر شده در جدول ۱۵-۱، استهلاک نمک و رزین برای گزینه‌های سختی‌گیر سدیمی و خود ضد رسوب برای گزینه‌ی دیگر می‌باشد. برای ارائه مثال‌هایی از این هزینه‌ها با جزئیات بیشتر، موارد زیر را در نظر بگیرید.

جدول ۱۵-۱: هزینه‌های عملیاتی در نظر گرفته شده برای سختی‌گیرهای سدیمی و سیستم‌های تزریق ضد رسوب.

سیستم تزریق ضد رسوب	سختی‌گیرهای سدیمی	مورد مربوط به هزینه بهره‌برداری
بله	بله*	تعمیر و نگهداری پمپ
بله	بله	متعلقات پمپ
خیر	بله	تعمیر و نگهداری مخزن سختی‌گیر
بله (روزانه)	بله (آب نمک)	تعمیر و نگهداری مخزن ذخیره نمک
خیر	بله	ضد رسوب
خیر	بله	استهلاک رزین
کمی	متوسط**	حفاظت از لای‌گرفتگی غشاء
متوسط به بالا ⁺	زیاد	حفاظت از رسوب‌گرفتگی غشاء

* فقط برای سیستم‌های آب نمک پمپ شده

** بر طبق برخی از شواهد برای آب‌هایی با قابلیت لای‌گرفتگی بالاتر

+ وجود برخی از مشکلات با رسوب فسفات کلسیم

مورد ۱ - آب چاه با سختی بالا (High Hardness Well Water)

آب چاه دارای سختی کل برابر با 285 ppm برحسب کربنات کلسیم، و 250 ppm کلسیم و 35 ppm منیزیم می‌باشد. در ادامه بقیه آنالیز آب خوراک آورده شده است (همه موارد برحسب ppm یون می‌باشند):

- | | |
|------------------|-------------------|
| • Sodium: 75.4 | • Potassium: 5.7 |
| • Barium: 0.08 | • Strontium: 0.13 |
| • Iron: 0 | • Manganese: 0 |
| • Sulfate: 21 | • Chloride: 240 |
| • Fluoride: 0.17 | • Bicarbonate: 84 |
| • Nitrate: 0.3 | • Silica: 15 |
| • Phosphate: 0.5 | • pH: 8.1 |

جریان ورودی، آب جبرانی به یک سیستم RO به ظرفیت 110 gpm می‌باشد که با مقدار بازیابی 75% در حال بهره‌برداری است. از این رو، سیستم پیش تصفیه باید 150 gpm از آب خوراک را تصفیه کند.

سختی‌گیر سدیمی

سختی‌گیر سدیمی انتخاب شده برای تصفیه این آب، یک سیستم دوتایی به ظرفیت 150 gpm با مخازنی به قطر 54 اینچ و ارتفاع 72 اینچ می‌باشد. هر مخزن دارای 50 ft³ رزین است. از آنجا که سیستم دوتایی با یک مخزن بر خط و یک مخزن آماده به کار، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، کل سیستم 2.4 بار در هر روز احیا می‌شود. با تزریق 15 پوند نمک در هر فوت مکعب، با فرض ضریب بهره‌برداری برابر با 100%، این سیستم در حدود 1800 پوند (820 کیلوگرم) نمک در هر روز یا 27.4 تن در هر ماه نمک مصرف می‌کند. با در نظر داشتن این که قیمت یک تن نمک \$80 است، هزینه ماهانه کل برای نمک در حدود \$2200 می‌باشد.

استهلاک رزین معمولاً یک طول عمر یا دوره‌ی تعویض 5 ساله در نظر گرفته می‌شود. با دو مخزن با مقدار کل رزین برابر با 100 ft³، استهلاک ماهیانه \$100 می‌شود.

ضد رسوب

در جدول ۲-۱۵ فهرستی از شاخص‌های اشباع برای آب خوراک تصفیه نشده، آب خوراک با 10.2 ppm ضد رسوب، و 4.2 ppm ضد رسوب به علاوه‌ی 3.4 ppm اسید سولفوریک برای کاهش pH از

8.1 تا 7.5 آورده شده است. همانطور که آب تصفیه نشده نشان می‌دهد، نگرانی‌های عمده مربوط به کربنات کلسیم، سولفات باریم و کلسیم فسفات می‌باشد. ضدرسوب برای تمامی آنها به جز فسفات کلسیم، مؤثر است. در مورد این رسوب بالقوه، اسید باید اضافه شود. این امر ضدرسوب مورد نیاز را تا 60% کم می‌کند.

جدول ۲-۱۵: شاخص‌های اشباع برای آب خوراک تصفیه نشده و آب خوراک تصفیه شده با ضدرسوب.

شرایط آب خوراک	تصفیه نشده	با 10.2 ppm ضدرسوب	با 4.2 ppm ضدرسوب و تزریق تکمیلی اسید
کربنات کلسیم	164	75	74
سولفات کلسیم	1.7	0.6	0.6
سولفات باریم	200	2.4	2.4
سولفات استرنسیم	0.4	0.0	0.0
فلورید کلسیم	30.1	0.0	0.0
سیلیس	35	23	31
فسفات کلسیم	117	103	96

هزینه متوسط یک ضدرسوب در سال 2009 در حدود \$4.00 برای هر پوند است. با تزریق 10.2 ppm، هزینه روزانه برای ضدرسوب تقریباً \$72.00 یا در حدود \$2200 در ماه می‌باشد. با تزریق اسید، هزینه ضدرسوب لازم تقریباً \$905 در ماه می‌شود. با استفاده از اسید سولفوریک، در حدود \$600 در هر تن، و نرخ تزریق 3.4 ppm، در حدود \$55 در ماه به هزینه‌ها اضافه می‌شود. هزینه ماهانه کل فقط برای گزینه‌ی ضدرسوب در حدود \$2400 است، در حالی‌که برای گزینه‌ی اسید/ضدرسوب در حدود \$960 می‌باشد.

خلاصه

برای این مورد با سختی زیاد، به نظر می‌رسد که گزینه‌های سختی‌گیر و ضدرسوب تقریباً مشابه با زمانی هستند که فقط از ضدرسوب (بدون اسید) استفاده شده است. هنگامی که قرار است اسید همراه با ضدرسوب تزریق شود، با مقایسه هزینه نمک در برابر هزینه ضدرسوب/اسید، ماده شیمیایی با هزینه کمتر انتخاب می‌گردد. توجه داشته باشید که هر گونه تغییرات محلی در هزینه مربوط به نمک یا ضدرسوب می‌تواند نتایج را تغییر دهد. آنچه که منظور نشده است تأثیر سختی‌گیر بر روی قابلیت حذف جامدات معلق و SDI از آب خوراک می‌باشد، همچون آهن و منگیزی که ممکن است در آب چاه وجود داشته باشند. اگر آب حاوی آهن و منگنز محلول باشد، سختی‌گیر این ذرات را حذف کرده و مانع لای‌گرفتگی و تخریب ممبرین RO می‌شود. در نتیجه هزینه‌های O&M ممبرین از طریق کاهش شستشو و تعویض ممبرین، کم می‌شود. گزینه مربوط به مواد شیمیایی به یک فیلتر آهن نیاز دارد، بنابراین هزینه‌های این گزینه افزایش می‌یابد. اگر سختی‌گیر تأثیر مثبتی بر روی عملکرد غشاء داشته باشد، این هزینه نیز باید در نظر گرفته شود. به مورد سوم که در زیر آورده شده است، توجه نمایید.

مورد ۲- آب‌های سطحی با سختی کم (Low Hardness Surface Water)

آب‌های سطحی دارای سختی کل برابر با 105 ppm برحسب کربنات کلسیم، و 95 ppm کلسیم و 10 ppm منیزیم هستند. بقیه آنالیز در زیر آورده شده است (تمامی موارد برحسب ppm یون می‌باشند):

- Sodium: 19
- Barium: 0.0
- Iron: 0
- Sulfate: 46
- Fluoride: 0.82
- Nitrate: 12
- Phosphate: 0.0
- Potassium: 3
- Strontium: 0.0
- Manganese: 0
- Chloride: 33
- Bicarbonate: 42
- Silica: 5.5
- pH: 8.5

همانند مورد ۱، سیستم RO، 110 gpm با مقدار بازیابی 75% تولید می‌کند و نیاز به 150 gpm آب خوراک دارد.

سختی‌گیر سدیمی

سختی‌گیر سدیمی انتخاب شده برای تصفیه این آب، یک سیستم دوتایی به ظرفیت 150 gpm با مخازنی به قطر 54 اینچ و ارتفاع 72 اینچ می‌باشد. هر مخزن دارای 50 ft³ رزین است و سیستم 0.9 بار در هر روز احیا می‌شود. با تزریق 15 پوند نمک در هر فوت مکعب، این سیستم در حدود 675 پوند نمک در هر روز مصرف می‌کند، با فرض این‌که ضریب بهره‌برداری 100% باشد. با در نظر داشتن این‌که قیمت یک تن نمک \$80 است، هزینه ماهانه کل برای نمک در حدود \$820 می‌باشد.

استهلاک رزین معمولاً یک طول عمر یا دوره‌ی تعویض 5 ساله در نظر گرفته می‌شود. با دو مخزن با مقدار کل رزین برابر با 100 ft³، استهلاک ماهیانه \$100 می‌شود.

ضدرسوب

پروژه‌ها نشان می‌دهند که کربنات کلسیم و فلورید کلسیم، به ترتیب با شاخص‌های اشباع 158% و 200%، گونه‌های نگران کننده‌ای هستند. افزودن 2.6 ppm ضدرسوب شاخص‌های اشباع را به ترتیب تا 82% و 0% برای کربنات کلسیم و فلورید کلسیم پایین می‌آورد. با در نظر گرفتن این‌که قیمت هر پوند ضدرسوب \$4.00 است، هزینه‌ی ضدرسوب تقریباً \$19 در روز یا در حدود \$570 در ماه می‌شود.

خلاصه

در مورد آب‌های سطحی با سختی کم، هزینه‌های عملیاتی برای ضدرسوب کمتر از سختی‌گیر است. باز هم، تأثیر سختی‌گیر بر روی عملکرد بهبود یافته ممبرین شناخته شده نیست و باید برای منابع آب سطحی در نظر گرفته شود.

مورد ۳- چاه آب با آهن و منگنز (Well Water with Iron and Manganese)

این مورد برگرفته از یک تجزیه و تحلیل واقعی انجام شده بر روی یک قرارداد O&M ، برای تأسیساتی واقع در ونزویلا می‌باشد. این سیستم برای تولید آب جبرانی دیگ بخار، از آب چاه قابل شرب شهری استفاده می‌کند. این آب دارای سختی کل برابر با 77 ppm (برحسب کربنات کلسیم)، و 60 ppm کلسیم و 17 ppm منیزیم می‌باشد. این آب دارای 17 ppm آهن و 0.4 ppm منگنز نیز هست. بقیه آنالیز در زیر آورده شده است (تمامی موارد برحسب ppm یون می‌باشند):

- Sodium: 17
- Barium: <0.4
- Sulfate: 30
- Fluoride: NA
- Nitrate: <0.16
- Phosphate: NA
- Potassium: 4.8
- Strontium: 0.12
- Chloride: 56
- Bicarbonate: 40
- Silica: 11
- pH: 6.8

سختی‌گیر سدیمی

واحد سختی‌گیر، یک مخزن با قطر 48 اینچ می‌باشد و 35 ft³ رزین دارد. این سختی‌گیر یک بار در روز با 15 lb/ft³ نمک احیاء می‌شود. با توجه به این‌که قیمت نمک در هر تن \$80 می‌باشد، هزینه عملیاتی سختی‌گیر سدیمی در هر ماه \$638 است.

ضد رسوب

پروژه‌ها نشان می‌دهند که برای حداقل کردن رسوب‌گذاری به دلیل وجود سختی، به حدوداً 3 ppm ضد رسوب احتیاج است. با توجه به قیمت محلی \$4.5 برای هر پوند، هزینه ماهانه برای ضد رسوب \$46 می‌باشد.

در جدول ۲-۱۵ هزینه‌های عملیاتی مربوط به این سیستم آورده شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده است، هزینه‌های مربوط به شستشو و تعویض ممبرین برای دو گزینه متفاوت است. در این مورد، آهن و منگنز باعث تفاوت شده‌اند. واحد سختی‌گیر قادر است که این ذرات را از آب خوراک RO حذف کند، در نتیجه ممبرین را از خراب شدن و لای‌گرفتگی حفظ می‌کند. این امر موجب می‌گردد که تعداد شستشویهای ممبرین کمتر و طول عمر ممبرین زیادتر شود.

جدول ۲-۱۵: هزینه‌های پیش‌بینی شده‌ی عملیاتی برای یک سیستم پیش تصفیه RO ، با و بدون سختی‌گیر سدیمی.

مورد مربوطه	با سختی‌گیر سدیمی			بدون سختی‌گیر سدیمی		
	تکرار/مقدار تزریق	هزینه هر کدام	هزینه سالانه	تکرار/مقدار تزریق	هزینه هر کدام	هزینه سالانه
ضدرسوب	0 ppm	\$0	\$0	3 ppm	\$4.5/lb	550
نمک	1 احياء در روز	\$21 * در روز	\$7665	0 احياء	\$0	\$0
ممبرین‌ها	طول عمر 3 سال	\$600	\$7200	طول عمر 2.5 سال	\$600	\$8640
شستشوی ممبرین	4 بار در سال	\$3240	\$12960	6 بار در سال	\$3240	\$19440
جمع کل			\$27825			\$28630

اهمیت این سه مورد در این مطلب است که وقتی استفاده از سختی‌گیر سدیمی، یا ضدرسوب در نظر گرفته می‌شوند، برحسب مورد، باید هزینه‌های عملیاتی به‌طور کامل محاسبه شوند. تجزیه و تحلیل کامل آب، باید مبتنی بر فرضیات هزینه‌های عملیاتی باشد (بخش ۷ را ببینید). وجود آهن و/یا منگنز می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر روی طراحی، عملکرد، و هزینه‌ی بهره‌برداری از یک سیستم RO با پیش‌تصفیه تأثیر گذارد. علاوه بر این، قیمت‌گذاری محلی کالاها نیز بر روی هزینه‌ی عملیاتی سیستم اثر می‌گذارد. تمرکز کردن فقط بر روی یک متغیر مرتبط با هزینه‌ی عملیاتی، مانند قیمت نمک، ممکن است تصویر کاملی از تأثیر کلی سختی‌گیر بر روی عملکرد سیستم RO و پیش تصفیه ایجاد نکند.

۲-۱۵ اندازه و ظرفیت اسمز معکوس (Reverse Osmosis Sizing and Capacity)

اندازه مناسب یک سیستم RO، به‌ویژه هنگامی که مقدار تولید مورد تقاضا متغیر است، می‌تواند یک چالش محسوب شود. تولید مقدار تقاضای متغیر می‌تواند موجب نوساناتی واقعی در تقاضا گذشته، و یا می‌تواند حسگرهای مربوط به سطح پایین و سطح بالا، واقع در مخازن مربوط به آب تولیدشده را وادار به خاموش و روشن کردن پمپ خوراک RO نماید. در هر صورت، شرایط ایده‌آل شرایطی است که در آن بهره‌برداری از تمامی مسیرهای RO به‌طور پیوسته انجام شود. بدون استفاده ماندن ممبرین‌ها باعث می‌شود که آنها برای لای‌گرفتگی و رسوب‌گرفتگی مستعدتر شوند، به‌ویژه وقتی که شستشوی سریع در هنگام خاموش کردن سیستم انجام نشده باشد (بخش ۱-۱-۱۲ را ببینید). علاوه بر این، شروع به کارهای مکرر باعث می‌شود که ممبرین‌ها تحت تنش فیزیکی و یا شاید ضربه آب قرار گیرند؛ استارت نرم موتورها می‌تواند این مسائل را به‌حداقل برساند (بخش ۲-۶ را ببینید).

بهترین روش برای رسیدن به مقدار تولید متغیر مورد تقاضا، طراحی سیستم RO برای نرخ شدت جریان متوسط و مورد نیاز می‌باشد. برای مثال، اگر مقدار تقاضا برای آب تولیدی 500 gpm برای

10% از زمان و 350 gpm برای 90% از زمان باشد، سیستم RO باید برای تقریباً 365 gpm طراحی گردد. یک مخزن برای آب تصفیه شده که اندازه‌ی آن برای نگهداری بیش از 15 gpm برای 90% از زمان کفایت می‌کند، لازم می‌باشد. این‌که یک سیستم RO در وضعیت بر خط (on line) قرار دارد یا خیر، اغلب تابعی از تنظیمات سطح در مخزن آب تصفیه شده یا تولید شده‌ی RO می‌باشد. در مقدار مقرر برای ارتفاع پایین، پمپ خوراک RO روشن، و در مقدار مقرر برای ارتفاع بالا، خاموش می‌گردد. قرار گرفتن نقاط مقرر سطح در فاصله‌ی مناسب، برای این‌که سیستم RO در بیشترین زمان در وضعیت بر خط قرار داشته باشد، مهم است.

نباید یک مخزن بزرگ انتخاب شود، پیشنهاد دیگر استفاده از مسیرهای متعدد (multiple skids) می‌باشد، که برخی از آنها غیر فعال خواهند بود. تغییر وضعیت مسیرها بین حالت روشن و خاموش، به طوری‌که هیچ یک از مسیرها زمان زیادی را برای آغاز به کار تجربه نکنند، مهم می‌باشد. همچنین توصیه می‌شود که یک مرحله شستشوی سریع در هنگام وضعیت برون‌خطی یا خاموش بودن سیستم انجام شود، و دیگر این‌که موتور به استارت نرم مجهز باشد. در مورد مثال فوق، دو مسیر با ظرفیت 350 gpm لازم می‌باشد. هر دو مسیر باید برای طرح 500 gpm در وضعیت درون خطی قرار داشته باشند. مخزن مربوط به آب تصفیه شده باید به اندازه کافی ظرفیت داشته باشد تا بتواند به طور متوسط برای 200 gpm به کار گرفته شود.

اگر مقدار تقاضا دائماً در حال تغییر باشد، هنوز هم طراحی برای نرخ متوسط شدت جریان، بهترین گزینه می‌باشد، همان‌طور که در بالا شرح داده شد. با این حال، در برخی موارد تغییر در مقدار تقاضا ممکن است آنچنان باشد که خاموش و روشن شدن پمپ خوراک با سطح در مخزن آب تصفیه شده، ضروری باشد.

۱۵-۳ شستشوی ممبرین: در محل در مقابل خارج از محل

(Membrane Cleaning: On-Site versus Off-Site)

در بخش ۱۲-۲ روش‌ها و مواد شیمیایی مورد استفاده برای شستشوی ممبرین‌های RO مورد بحث قرار گرفت. در این قسمت محاسن مربوط به شستشوی ممبرین در محل، در مقابل شستشو در خارج از محل، توضیح داده می‌شود. در جدول ۱۵-۴ خلاصه‌ای از مزیت‌ها و محدودیت‌های شستشوی ممبرین در محل و خارج از محل، آورده شده است.

جدول ۱۵-۴: محاسن شستشوی ممبرین در محل، در مقابل شستشو در خارج از محل.

شستشوی ممبرین در محل (CIP)		شستشوی ممبرین در خارج از محل	
محدودیت‌ها	مزیت‌ها	محدودیت‌ها	مزیت‌ها
- کارایی کمتر	- ممبرین‌ها در محل تمیز می‌شوند	- هزینه بالاتر	- خدمات تخصصی
- خرج کردن مبالغی برای انجام شستشوی مسیر (skid)	- به جایگزینی ممبرین‌ها احتیاجی نیست	- نیاز به مجموعه‌ی دیگری از ممبرین‌ها	- شستشوی مؤثرتر
- ذخیره‌سازی و رسیدگی به مواد شیمیایی و پساب	- شستشوی سریع‌تر		- نتایج مستند
	- ارزان‌تر		

۱۵-۳-۱ شستشوی ممبرین در خارج از محل (Off-Site Membrane Cleaning)

در روش شستشوی ممبرین در خارج از محل، مدول‌های ممبرین از داخل لوله‌های تحت فشار خارج می‌شوند و توسط شخص سومی، جهت انجام شستشو، به خارج از محل منتقل می‌گردند. اگر لازم باشد که سیستم RO در وضعیت بهره‌برداری باقی بماند، مجموعه‌ی دیگری از ممبرین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و جایگزین آنها می‌شوند تا ممبرین‌های موردنظر جهت شستشو به خارج از محل فرستاده شوند (یکی از نقاط ضعف عملیات شستشو در خارج از محل).

در متن زیر به مزیت‌های روش شستشو در خارج از محل پرداخته می‌شود.

- در روش شستشو در خارج از محل، خدمات تخصصی ارائه می‌گردد. کارکنانی که به صورت ویژه برای این منظور آموزش دیده‌اند، ممبرین‌ها را تمیز می‌کنند. برای شستشوی ممبرین تجربه فراوانی لازم می‌باشد، زیرا عملیات شستشو، همان اندازه که به دانش فراوانی نیاز دارد، به همان اندازه نیز به داشتن هنر احتیاج دارد.
- عملیات شستشو در خارج از محل، معمولاً کارایی بیشتری دارد. در عملیات شستشو در خارج از محل، تمیزکننده‌های مختلفی در دسترس هستند تا برای گونه‌های مختلفی از جرم‌ها و رسوبات مورد استفاده قرار گیرند. اگر یکی از تمیزکننده‌ها مفید واقع نشد، برای بهبود نتایج می‌توان از تمیزکننده(های) دیگری استفاده نمود.
- گاهی اوقات تولیدکنندگان ممبرین جهت انجام عملیات شستشو در خارج از محل، شرایطی مغایر با شرایط مورد استفاده و توصیه شده در شستشوی عادی ممبرین‌ها، مانند آنچه که در مشخصات مربوط به ممبرین آورده شده است، پیشنهاد می‌کنند. به عنوان مثال، درجه حرارت و pH بالاتر، که می‌توانند برای رسیدگی به تشکیل بیوفیلم‌ها مورد استفاده قرار گیرند، و نیز pH پایین‌تر و درجه حرارت بالاتر، که می‌توانند برای برطرف کردن رسوب کربنات کلسیم استفاده شوند (به جدول ۱-۱۳ مراجعه نمایید).
- نتایج مثبت می‌شوند. این مستندات معمولاً شامل تست عملکرد قبل و بعد از تمیز کردن، و مقایسه نتایج با مشخصات ممبرین مورد نظر می‌باشد.

نقاط ضعف شستشو در خارج از محل به شرح زیر می‌باشد:

- هزینه‌های مربوط به شستشو در خارج از محل، بیشتر از شستشو در محل می‌باشد. باید از فروشندگان خاص قیمت گرفت، اما قیمت هر مدول غشائی با قطر 8 اینچ می‌تواند \$150 یا بیشتر باشد.
- مجموعه‌ی دومی از ممبرین‌ها برای انجام بهره‌برداری مستمر از RO مورد نیاز است.

۱۵-۳-۲ شستشوی ممبرین در محل (On-Site Membrane Cleaning)

روش‌ها و مواد شیمیایی شرح داده شده در بخش ۲-۱۳ مستقیماً برای شستشوی ممبرین در محل یا تمیزکاری در محل (clean in place – CIP) به کار برده می‌شوند.

مزایای استفاده از CIP به شرح زیر است.

- عملیات شستشوی مدول‌های غشائی، در محل انجام می‌شود؛ بدون این‌که به مجموعه‌ی دومی از مدول‌ها نیاز باشد.

- شستشو به روش CIP سریع‌تر از شستشو در خارج از محل انجام می‌شود. یک مسیر (skid) RO با دو مرحله و ظرفیت 500 gpm می‌تواند در مدت تقریبی دو روز تمیز شود. عملیات شستشو در خارج از محل جهت استفاده مجدد از ممبرین‌ها می‌تواند دو هفته طول بکشد.

- عملیات CIP ارزان‌تر از شستشو در خارج از محل است. برحسب ماده (مواد) شیمیایی استفاده شده، هزینه شستشوی یک مدول غشائی با قطر 8 اینچ، در هر بار بین \$5 تا \$25 می‌باشد.

نقاط ضعف CIP به شرح زیر است.

- این نوع از شستشو نسبت به شستشو در خارج از محل، تأثیر کمتری دارد. معمولاً، عملیات شستشو به استفاده از یک تمیز کننده با pH مشخص محدود می‌شود (به‌عنوان مثال، تمیزکننده‌ی با pH بالا، متوسط و پایین). این امر از نظر نیاز به ذخیره‌ی تمام تمیزکننده‌هایی که "ممکن است" مورد نیاز باشند، بسیار پرهزینه است. علاوه‌بر این، تولیدکنندگان ممبرین عموماً باید به مشخصات مربوط به تمیز کردن پایبند باشند.

- مبلغ سرمایه اولیه باید دربرگیرنده‌ی هزینه‌ی مربوط به شستشوی مسیر باشد.

- کارکنان حاضر در محل باید مواد شیمیایی و فاضلاب تولید شده را ذخیره کرده و به‌کار گیرند.

۴-۱۵ گزینه‌هایی برای دور ریختن جریان دفع شده از سیستم اسمز معکوس

(Reverse Osmosis Reject Disposal Options)

از آنجا که گزینه‌های زیادی برای برخورد با جریان دفع شده از RO وجود دارند، هر کدام دارای مزیت‌ها و محدودیت‌هایی نیز می‌باشند. برخی از آنها موجب صرفه‌جویی در هزینه می‌شوند، در حالی‌که بقیه ممکن است باعث افزایش هزینه‌ها شوند، اما نیاز به دور ریختن جریان فاضلاب نسبتاً بزرگی را از بین می‌برند. جریان دفع شده خطرناک در نظر گرفته نمی‌شود، و فقط حاوی آن دسته از ترکیباتی است که در آب خوراک وجود دارند (فقط غلیظتر است، که می‌تواند یک مشکل محسوب شود) و هر نوع ماده ضدروسوب، آفت‌کش (مانند DBNPA - بخش ۲-۵-۲-۸ را ببینید)، و یا هر ماده شیمیایی دیگری که در پیش تصفیه اضافه می‌شوند. روش‌های دفع در طی سال‌ها شامل موارد زیر بوده است:

- تخلیه در آب‌های سطحی

- استفاده برای زمین

- فاضلاب

- تزریق به چاه عمیق

- حوضچه تبخیر

در اینجا، سه روشی که در برخورد با جریان دفع شده از RO متداولتر هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۴-۱ تخلیه به بخش زهکشی یا مجرای فاضلاب (Discharge to Drain or Sewer)

شاید متداولترین روش دور ریختن جریان دفع شده از RO ارسال ساده‌ی آن به بخش زهکشی برای تصفیه فاضلاب یا پساب باشد. با این حال، تخلیه با این روش ممکن است در عمل، به‌سادگی صحبت کردن در مورد آن نباشد. برای انجام این کار مقررات و مجوزهایی وجود دارند که ممکن است تخلیه آلاینده‌های خاص را دچار محدودیت‌هایی کنند.

معمولاً تخلیه به حوضچه‌های طبیعی به مجوزی نیاز دارد که باید به‌صورت دوره‌ای تجدید شود. شرایط این مجوز تا حد زیادی از یک محل به محل دیگر متفاوت است و تأثیر عملیات تخلیه بر روی محیط زیست محلی نیز باید در نظر گرفته شود. عموماً، تخلیه پساب به منابع آبی بزرگ، به‌صورت مجوزی با دقت زیاد نیاز ندارد، در حالی‌که در مورد تخلیه به محیط زیست‌های کوچک‌تر یا حساس‌تر، مجوز مربوطه به‌سختی داده می‌شود. به‌عنوان مثال، در لوئیزیانا، برای کلریدها و یا سختی وارد شده به داخل رودخانه می‌سی‌سی‌پی، در نزدیکی خلیج مکزیک، مقرراتی وجود ندارد، بنابراین پساب نمکی حاصل از سختی‌گیر سدیمی و گل و لای مربوط به سختی‌گیری به‌روش آهک سرد، می‌توانند به‌طور مستقیم در رودخانه تخلیه شوند. از سوی دیگر، در نیوجرسی، اغلب ضوابط و مجوزهای دقیقی، همچون تخلیه مایع صفر (ZLD) (zero-liquid-discharge) لازم می‌باشد.

تخلیه به مجرای فاضلاب و یا سیستم تصفیه دولتی (POTW) نیز همچون تخلیه در حوضچه‌های طبیعی، مشمول مقررات نمی‌شود. در مورد اکثر این حوضچه‌ها نیازی به داشتن مجوز وجود ندارد و فقط باید مقدار pH تنظیم شود. با این حال، ممکن است برای غلظت‌های بالایی از آلاینده‌های خاص همچون کلراید، هزینه‌هایی گرفته شود.

۲-۴-۱ تخلیه به برج خنک‌کننده (Discharge to Cooling Tower)

فرستادن جریان دفع شده از RO به برج خنک‌کننده، به‌عنوان دومین روش، رایج‌ترین روش جهت دور ریختن جریان دفع شده می‌باشد. نگرانی‌های مربوط به این روش از به‌کارگیری جریان دفع شده از RO عبارتند از (۱) رسوب‌گرفتگی تجهیزات مربوط به مبدل حرارتی (۲) شیمی برج، و (۳) محاسبات منطقی.

کلسیم، و تا حدودی کمتر، سیلیس، می‌توانند باعث بروز مشکلاتی، به‌دلیل رسوب‌گرفتگی، در برج خنک‌کننده شوند، به‌خصوص اگر جریان دفع شده از RO بخش عمده‌ای از آب جبرانی برج خنک‌کننده را تشکیل دهد. رسوب‌گرفتگی تجهیزات مربوط به مبدل حرارتی موجب کاهش بهره‌وری در سمت فرآیند تأسیسات می‌شود. شیمی نوین که قادر است با غلظت‌های بالای ذرات تشکیل‌دهنده رسوب بهتر برخورد کند، رو به گسترش است، اما همیشه محدودیت‌هایی همانند مورد مربوط به تحمل سیستم خنک‌کننده می‌تواند وجود داشته باشد.

تأثیر جریان دفع شده از RO بر روی برنامه شیمیایی برج خنک‌کننده نیز یک نگرانی محسوب می‌شود. از آنجا که جریان دفع شده حاوی همان ذراتی است که در آب جبرانی برج خنک‌کننده نیز وجود دارد (فقط ۲ تا ۵ مرتبه چرخیده‌اند)، و یک ضدسوپ یا زیست‌کش احتمالی، چنانچه جریان دفع شده درصد زیادی از آب جبرانی کل را تشکیل نداده باشد، افزودن جریان دفع شده به برج خنک‌کننده نباید اثری منفی بر روی برنامه شیمیایی برج داشته باشد. با این حال، اگر جریان دفع شده از RO درصد بالایی از آب جبرانی کل برج را تشکیل دهد، این مسائل نیز مهم می‌شوند.

محل قرار گرفتن سیستم RO نسبت به برج‌های خنک‌کننده نیز یک نگرانی محسوب می‌شود. در اغلب تأسیسات، سیستم RO در نزدیکی برج‌های خنک‌کننده‌ی بزرگ قرار ندارد. ممکن است که در نزدیکی برج‌های کوچک محلی قرار بگیرد، اما تخلیه به این برج ممکن است مشکل باشد چون جریان دفع شده از RO می‌تواند بخش عمده‌ای از آب جبرانی برج را تشکیل دهد. خطوط لوله باید از سیستم RO تا برج‌های خنک‌کننده‌ی بزرگ کشیده شوند تا خروجی مربوط به جریان دفع شده از RO بتواند به این برج‌ها برسد.

قبل از تصمیم‌گیری در مورد تخلیه جریان دفع شده از RO به برج خنک‌کننده، باید تجزیه و تحلیلی جهت تعیین اثرات جریان دفع شده بر روی عملکرد برج، انجام شود. ضروری است که بین حفاظت و بازیابی آب جریان دفع شده از RO با عوامل مؤثر بر روی سیستم خنک‌کننده، باید تعادل برقرار شود.

۳-۴-۱۵ تخلیه مایع صفر (Zero Liquid Discharge)

استفاده از سیستم RO برای تصفیه و بازیابی جریان دفع شده از یک سیستم RO دیگر، مخصوصاً در مورد کاربردهای مربوط به ZLD، متداول‌تر می‌باشد. از یک سیستم RO ثانویه استفاده می‌شود تا جریان دفع شده از سیستم RO اولیه تصفیه شود و تجهیزات مربوط به تبخیر حرارتی در سیستم ZLD کم شوند.

در شکل ۱-۱۵ یک سیستم ZLD مجهز به سیستم RO، برای تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب نشان داده شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، فاضلاب حاصل از منابع گوناگون، از قبیل برج خنک‌کننده و جریان دور ریز دیگ بخار، پس‌اب ناشی از تصفیه آب جبرانی وارد شده به دیگ بخار، و فاضلاب حاصل از فرآیندها، به سیستم پیش تصفیه فرستاده می‌شود. این سیستم پیش تصفیه معمولاً شامل یک سختی‌گیر به روش آهک سرد، چه به شکل سنتی و چه با استفاده از میکروفیلتراسیون، می‌باشد. اگر فاضلاب دارای غلظت بالایی از مواد آلی باشد، سیستم‌های تصفیه اضافه شده می‌توانند شامل هاضم (هوازی و/یا بی‌هوازی)، شناورسازی هوای محلول، و تفکیک‌کننده (stripping) باشند. ضایعات حاصل از سیستم پیش تصفیه به یک فشرده‌کننده لجن فرستاده می‌شود، که تبدیل به مواد جامد کیکی شکل و یک جریان فاضلاب دیگر می‌شود که در تجهیزات کنترل جریان آب (headwork) مربوط به سیستم ZLD چرخش می‌کند. پس‌اب حاصل از سیستم پیش تصفیه به یک سیستم RO فرستاده می‌شود، تا بتواند به برج خنک‌کننده فرستاده شود. جریان دفع شده حاصل از RO اولیه به جریان غلیظ شده یا RO دوم ارسال می‌شود. RO ثانویه معمولاً یک سیستم مناسب برای تصفیه آب دریا است که قابلیت بهره‌برداری با TDS بین 45000 تا 85000 ppm را دارا می‌باشد. جریان دفع شده حاصل از RO دوم، به یک سیستم

حرارتی ارسال می‌شود، که شامل یک غلیظ کننده و یک متبلورکننده‌ی آب نمک است. غلظت آب نمک در غلیظ کننده می‌تواند به حدود 300000 ppm برسد؛ متبلورکننده، نمک‌های جامد تولید می‌کند. استفاده از RO دوم، بار وارد شده به غلیظ کننده آب نمک را در حدود 20% کم می‌کند. این امر بدین معنی است که در یک غلیظ کننده آب نمک، 20% در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌شود. هزینه مربوط به سرمایه‌گذاری این سیستم نیز به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، چون اندازه غلیظ کننده آب نمک، که یکی از گران‌ترین قطعات موجود در تجهیزات فرآیند است، می‌تواند کوچک‌تر شود. (به بخش ۴-۱۶ مراجعه نمایید تا مبحث مربوط به این‌که چگونه یک سیستم اسمز معکوس با بازدهی بالا می‌تواند در سیستم ZLD مورد استفاده قرار گیرد، را ببینید).

شکل ۱-۱۵: سیستم تخلیه مایع صفر (ZLD) با نشان دادن سیستم‌های RO اولیه و بازیابی آب نمک.

