

۱۲ کاهش عملکرد (Performance Degradation)

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، عملکرد یک سیستم RO، مخصوصاً نرخ شدت جریان آب تصفیه‌شده، مقدار دفع نمک و افت فشار، تابعی از لای‌گرفتگی، رسوب‌گرفتگی و تخریب ممبرین است (بخش ۱۱-۳ را ببینید). این بخش شامل توضیح در مورد تأثیرات جزئی لای‌گرفتگی، رسوب‌گرفتگی و تخریب ممبرین بر روی شدت جریان عادی آب تولید شده، دفع نمک و افت فشار عادی می‌باشد.

۱۲-۱ شدت جریان عادی آب تصفیه شده (Normalized Permeate Flow)

همان‌طور که در معادله ۱۱-۱ نشان داده شده است، شدت جریان عادی آب تصفیه شده (NPF) تابعی از فشار متوسط اعمال شده بر روی غشای تراوا، فشارهای اسمزی خوراک و آب تصفیه شده، و دما می‌باشد. عواملی که باعث افزایش و یا کاهش NPF می‌شوند، در متن زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۱۲-۱-۱ کاهش شدت جریان عادی آب تصفیه شده

(Loss of Normalized Permeate Flow)

لای‌گرفتگی و رسوب‌گرفتگی ممبرین می‌تواند موجب کاهش شدت جریان عادی آب تصفیه‌شده شود. علاوه بر این، فشرده شدن ممبرین نیز باعث کاهش شدت جریان آب تصفیه‌شده می‌شود.

۱۲-۱-۱-۱ لای‌گرفتگی ممبرین (Membrane Fouling)

ته‌نشین شدن مواد جامد معلق، مانند باکتری‌ها، بر روی ممبرین یا اجزای درون مدول غشائی، موجب لای‌گرفتگی ممبرین می‌شود. این رسوبات، لایه‌ای را بر روی سطح غشاء تشکیل می‌دهند که مانعی در برابر جاری شدن آب به قسمت مربوط به آب تصفیه در ممبرین می‌گردد. از این‌رو، اگر فشار خوراک ثابت باشد، شدت جریان آب تصفیه شده کاهش پیدا می‌کند.

معمولاً، اپراتورها بر روی شدت جریان مشاهده شده‌ی آب تولیدی تمرکز می‌کنند و متغیرهای عملیاتی را تنظیم می‌کنند تا شدت جریان آب تصفیه شده لازم را تحویل دهند. بنابراین، اگر شدت جریان آب تصفیه شده به علت لای‌گرفتگی کاهش یابد، معمولاً فشار عملیاتی را زیاد می‌کنند تا بر این مانع اضافه شده در برابر انتقال و ثابت ماندن شدت جریان مشاهده‌شده‌ی آب تولیدی، غلبه کنند.

همان‌طور که در بخش ۱۱-۳-۱-۱ بحث شد، لای‌گرفتگی ممبرین باعث شیب منفی NPF می‌شود (شکل ۱۱-۱ را ببینید).

۱۲-۱-۱-۲ رسوب‌گرفتگی ممبرین (Membrane Scaling)

ته‌نشین شدن نمک‌های اشباع شده بر روی سطح ممبرین، معمولاً در مراحل انتهایی سیستم RO، باعث رسوب‌گرفتگی ممبرین می‌شود. این رسوبات، لایه‌ای را بر روی سطح غشاء تشکیل می‌دهند که مانعی در برابر جاری شدن آب به قسمت مربوط به آب تصفیه در ممبرین هستند، مشابه با مطلبی که در متن فوق در مورد جرم و لای بیان گردید.

معمولاً، فشار عملیاتی زیاد می‌شود تا کاهش شدت جریان مشاهده شده‌ی آب تولیدی، به دلیل رسوب‌گرفتگی، تنظیم گردد، چون این شدت جریان شناسه‌ی خوبی برای رسوب‌گرفتگی ممبرین نمی‌باشد. به هر حال، شدت جریان عادی آب تصفیه شده، ضرورت افزایش فشار به جهت رسوب‌گرفتگی را منعکس می‌کند، و این امر را با شیب منفی منحنی عادی‌سازی به ثبت می‌رساند. بنابراین، رسوب‌گرفتگی ممبرین باعث کاهش NPF می‌شود.

۱۲-۱-۱-۲ فشرده شدن ممبرین (Membrane Compaction)

فشرده شدن خود ممبرین، که در اصل، ممبرین را "متراکم‌تر" یا ضخیم‌تر می‌کند و شدت جریان و عبور نمک از میان آنرا کاهش می‌دهد، موجب فشردگی (compaction) ممبرین می‌گردد. فشردگی می‌تواند تحت فشار بالاتر خوراک، درجه حرارت بالا، و ضربه‌ی آب رخ دهد. (ضربه آب زمانی رخ می‌دهد که پمپ فشار قوی خوراک شروع به کار کند و مقداری هوا در مدول‌های غشائی به دام افتاده باشد - بخش ۲-۶ را ببینید.) بیشتر ممبرین‌های آب لب‌شور، هنگامی که به درستی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، درجه‌ی پایینی از فشردگی را تجربه می‌کنند. به هر حال، ممبرین‌های آب دریا و ممبرین‌های استات سلولز در فشارهای بیش‌تر از تقریباً 500 psig، می‌توانند فشردگی قابل ملاحظه‌ای را تجربه کنند. فشردگی موجب کاهش NPF می‌شود.

۱۲-۱-۲ افزایش شدت جریان عادی آب تصفیه شده

(Increase In Normalized Permeate Flow)

افزایش شدت جریان عادی آب تصفیه شده، معمولاً به دلیل وجود نشت، که ناشی از وجود ترک در خود ممبرین و یا مشکلات موجود در سخت‌افزار مدول غشائی می‌باشد، و یا قرار گرفتن در معرض اکسیدکننده‌هایی همچون کلر، اتفاق می‌افتد.

۱۲-۱-۲-۱ خراب شدن ممبرین (Membrane Degradation)

افت سلامت پلیمر ممبرین، باعث خراب شدن غشاء می‌شود. این امر می‌تواند در اثر اکسیداسیون ممبرین، در جایی که اکسیدکننده‌ها به غشاء حمله می‌کنند و باعث عوض شدن حلقه و تقسیم زنجیره آروماتیکی می‌شوند، رخ دهد. در این حالت، آب خوراک اجازه وارد شدن به آب تصفیه شده را پیدا می‌کند و در نتیجه شدت جریان آب تصفیه شده زیاد، و کیفیت محصول کم می‌شود. پدیده تخریب در اثر اکسیداسیون معمولاً در ممبرین‌های جلویی اتفاق می‌افتد، چون این ممبرین‌ها زودتر در معرض اکسیدکننده قرار می‌گیرند و در بسیاری از موارد، قبل از آنکه اکسیدکننده بتواند به ممبرین‌های بعدی برسد، مقدار آن کاهش می‌یابد. اکسیدکننده‌های متداول عبارتند از کلر آزاد (و دیگر هالوژن‌ها)، دی اکسید کلر، ازن، پراکسید هیدروژن، و غیره (بخش ۱-۲-۸ و ۲-۲-۸ را ببینید).

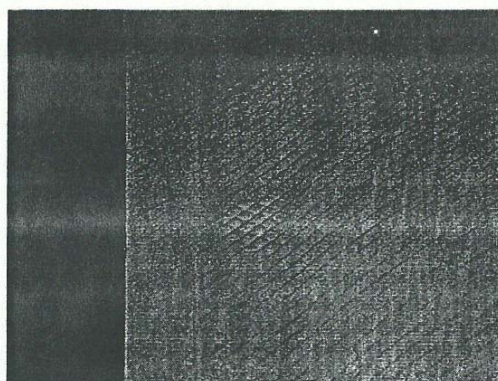
ممبرین‌ها همچنین می‌توانند در مواجهه با آهن، منگنز و دیگر فلزات نیز اکسید شوند. این فلزات عمل اکسیداسیون ممبرین‌های RO را سرعت می‌بخشند. این نوع از اکسیداسیون به جای تمرکز بر روی ممبرین‌های جلویی، تمام مسیر (skid) RO را درگیر می‌کنند. بار دیگر،

وقتی این نوع از اکسیداسیون اتفاق می‌افتد، آب خوراکی وارد آب تصفیه شده می‌شود، در نتیجه شدت جریان آب تصفیه شده زیاد، و کیفیت تولید کم می‌شود.

قرار گرفتن در معرض درجه حرارت بالا و pH زیاد می‌تواند موجب هیدرولیز شدن ممبرین‌ها شود، در نتیجه سلامت ممبرین از بین می‌رود. (برای توضیح بیشتر در مورد تأثیر دما و pH بر روی ممبرین‌های کامپوزیت پلی‌آمید، بخش ۱-۲-۴، جدول ۲-۴ و بخش‌های ۲-۹، ۸-۹، ۲-۱۳ را ببینید). هیدرولیز نیز به‌جای تمرکز بر روی فقط ممبرین‌های جلویی، تمام مسیر RO (skid) را درگیر می‌کند. مانند حالت اکسیداسیون ممبرین، آب خوراکی وارد آب تصفیه شده می‌شود، در نتیجه شدت جریان آب تصفیه شده زیاد، و کیفیت تولید کم می‌شود.

تخریب ممبرین می‌تواند در اثر یک پدیده فیزیکی نیز رخ دهد. ذرات، مانند دانه‌های ریز کربن فعال، می‌توانند سطح غشاء را دچار سائیدگی کرده و باعث پارگی‌های میکروسکوپی در جنس غشاء شوند، که از طریق آن‌ها آب خوراکی می‌تواند در ممبرین رسوخ کرده و شدت جریان آب تصفیه شده را زیاد کند. همچنین، فشار معکوس بیش از حد آب تصفیه شده می‌تواند موجب پاره شدن خطوط چسب‌کاری، که ورقه‌های غشاء را در کنار هم نگه می‌دارند، شود و بار دیگر باعث پارگی و ورود آب خوراکی به آب تصفیه شده، و نیز افزایش شدت جریان آب تولیدی گردد (شکل ۱-۱۲ را ببینید).

شکل ۱-۱۲: پارگی‌های خط چسب در قسمتی که آب خوراکی و آب تصفیه شده می‌توانند با یکدیگر مخلوط شوند.



۲-۲-۱-۱۲ مسائل مربوط به سخت‌افزار (Hardware Issues)

شکاف‌های موجود در سخت‌افزار به آب خوراکی اجازه ورود به آب تصفیه شده را می‌دهند. مشکلات متعارف عبارتند از نشستی و اشرفا و نشتی لوله‌های مربوط به آب تصفیه شده در مدول، که هر کدام از آن‌ها می‌توانند در حین عملیات نصب دچار آسیب شده باشند. لوله‌های مربوط به آب تصفیه شده می‌توانند تحت شرایط افت فشار زیاد به علت لای‌گرفتگی یا رسوب‌گرفتگی شدید نیز دچار خرابی شوند. ضربه آب نیز می‌تواند به لوله‌ی آب تصفیه شده صدمه بزند.

۱۲-۲ مقدار دفع عادی نمک (Normalized Salt Rejection)

مقدار دفع عادی نمک، تابعی از نیروی محرکه ناشی از غلظت در میان ممبرین می‌باشد، همان‌طور که در معادله ۱۱-۳ نشان داده شده است. در متن زیر، عواملی که باعث کاهش یا افزایش مقدار دفع نمک می‌شوند، مورد بحث قرار می‌گیرند.

۱۲-۲-۱ کاهش مقدار دفع نمک (Loss of Salt Rejection)

رسوب‌گرفتگی و تخریب ممبرین می‌تواند موجب کاهش مقدار دفع عادی نمک شود، چون می‌تواند شکاف‌هایی در واشرها و لوله‌ی مربوط به آب تصفیه شده ایجاد نماید.

۱۲-۲-۱-۱ رسوب‌گرفتگی ممبرین (Membrane Scaling)

ته‌نشین شدن نمک (نمک‌های) اشباع بر روی سطح ممبرین یا اجزای داخل مدول غشائی، موجب رسوب‌گرفتگی ممبرین می‌شود. این رسوب، لایه‌ای بر روی سطح غشاء ایجاد می‌کند، محلی که در آن غلظت نمک (نمک‌های) اشباع زیادتر از غلظت نمک (نمک‌ها) در توده محلول است. در نتیجه، غلظتی که ممبرین در معرض آن قرار می‌گیرد، بیش‌تر از مقدار ثبت شده‌ی آن در توده محلول می‌باشد. از آن‌جا که درصد واقعی دفع، که توسط ممبرین ارائه می‌شود، در زمان اجرای کاربردهای صنعتی و اسمی، نسبتاً ثابت می‌ماند، مقدار عبور نمک نیز یکسان باقی می‌ماند. با این حال، از آن‌جا که غلظت نمک (نمک‌ها) در سطح غشاء زیادتر است، مقدار واقعی نمکی (نمک‌هایی) که از طریق غشاء عبور می‌کند بیش‌تر از غلظت مورد انتظار در توده می‌شود. از این رو، عبور ظاهری نمک افزایش، و دفع ظاهری نمک کاهش می‌یابد. این پدیده به‌عنوان کاهش دفع عادی نمک به ثبت رسیده است.

۱۲-۲-۱-۲ تخریب ممبرین (Membrane Degradation)

افت سلامت غشاء، موجب تخریب ممبرین می‌شود (بخش ۱۲-۱-۲-۱ را ببینید). به دلیل افت سلامت، آب خوراک اجازه می‌یابد که وارد آب تصفیه شده گردد و در نتیجه غلظت آب تصفیه شده افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، مقدار عبور نمک زیاد می‌شود، در حالی‌که مقدار دفع نمک کاهش می‌یابد.

۱۲-۲-۱-۳ مسائل مربوط به سخت‌افزار (Hardware Issues)

شکاف‌های موجود در سخت‌افزار می‌توانند به آب خوراک اجازه دهند که با آب تصفیه شده مخلوط گردد. همان‌طور که شدت نفوذ آب زیاد می‌شود، شکاف‌های موجود در واشرها و لوله‌های مربوط به آب تصفیه شده، اجازه می‌دهند که آب خوراک با غلظت بالا، با آب تصفیه شده با غلظت پایین مخلوط گردد، بنابراین مقدار غلظت در آب تصفیه شده زیاد می‌شود (بخش ۱۲-۱-۲-۲ را ببینید). دفع کلی نمک کاهش، و عبور نمک افزایش پیدا می‌کند.

۱۲-۲-۲ افزایش مقدار دفع نمک (Increase In Salt Rejection)

افزایش مقدار دفع نمک معمولاً به‌علت فشرده‌شدن ممبرین اتفاق می‌افتد (بخش ۱۲-۱-۱-۴ را ببینید). چون ممبرین به دلیل فشرده شدن، متراکم‌تر می‌شود، عبور نمک از میان ممبرین کاهش می‌یابد، که این امر موجب کاهش مقدار عبور نمک و افزایش مقدار دفع نمک می‌شود.

توجه داشته باشید که قرار گرفتن در معرض کلر در ابتدا و به صورت کوتاه مدت، در شرایطی کاملاً کنترل شده، نیز می‌تواند در برخی از ممبرین‌ها باعث افزایش مقدار دفع نمک شود (در حالی که قرار گرفتن در معرض کلر به مدت طولانی‌تر منجر به کاهش دفع نمک می‌شود). دلیل این امر مشخص نیست، اما می‌تواند به علت تغییر بار سطحی غشاء باشد که باعث دفع ترکیبات آنیونی، کاهش عبور آن‌ها و افزایش مقدار دفع می‌گردد.

۱۲-۲ افت فشار (Pressure Drop)

افت فشار، کاهش فشار از خوراک به جریان غلیظ را اندازه‌گیری می‌کند. در واقع، افت فشار کاهش نیروی محرکه‌ی آب را، که باعث عبور آن از میان ممبرین می‌شود، اندازه می‌گیرد (بخش ۱-۳-۱۲-۳ و معادله ۱۲-۶ را ببینید). در متن زیر، عواملی که موجب افزایش یا کاهش افت فشار می‌شوند، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱۲-۲-۱ کاهش افت فشار (Loss in Pressure Drop)

پیدا کردن کاهش افت فشار، تحت شرایط اسمی عملیاتی در اکثر کاربردهای صنعتی، امری غیر معمول است. اگر کاهش افت فشار ثبت شده باشد، معمولاً به دلیل خراب شدن ابزار اندازه‌گیری می‌باشد.

۱۲-۲-۲ افزایش افت فشار (Increase Pressure Drop)

تعدادی از عواملی که می‌توانند باعث افت فشار زیاد شوند عبارتند از، رسوب‌گرفتگی ممبرین، لای‌گرفتگی ناشی از مواد کلونیدی و لای‌گرفتگی ناشی از وجود میکروب‌ها. تمامی این سه عامل، در اثر ته‌نشین شدن مواد بر روی سطح غشاء و همچنین بر روی اجزای مدول غشائی، از جمله فضای مربوط به مجرای خوراک، به وجود می‌آیند. این امر باعث ایجاد اختلال در الگوی جریان از طریق مدول غشائی می‌شود، که به نوبه خود، منجر به افت فشار اصطکاکی و یا افزایش افت فشار می‌گردد.

افت فشار زیاد باعث اختلال در هیدرولیک سیستم می‌شود. به علت افت فشار زیاد، ممبرین‌های جلویی تمایل پیدا می‌کنند که با شدت نفوذهای بسیار بالا کار کنند، در حالی که ممبرین‌های عقبی با شدت نفوذ پایین مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این امر باعث افزایش نرخ لای‌گرفتگی در ممبرین‌های جلویی و عقبی می‌شود. ممبرین‌های جلویی سریع‌تر دچار لای‌گرفتگی می‌شوند زیرا بخش بزرگی از آب، زودتر به این قسمت از مدول غشائی نیرو وارد می‌کند و نرخ تجمع آلاینده‌ها در لایه مرزی بر روی سطح ممبرین افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، ممبرین‌های عقبی شدت جریان‌های پایینی را تجربه می‌کنند، زیرا بیش‌تر آب از طریق ممبرین‌های جلویی خارج شده است. در این حالت، ضخامت لایه مرزی افزایش می‌یابد و در نتیجه نرخ لای‌گرفتگی بیش‌تر می‌شود.

افت فشار زیاد می‌تواند موجب صدمه دیدن ممبرین‌ها و مدول‌های غشائی مربوط به آن‌ها نیز بشود. اتلاف فشار آب خوراک به معنی پایین آمدن فشار در روی محور مدول غشائی می‌باشد. اگر افت فشار بسیار زیاد باشد، بیش‌تر از تقریباً 50 psig مربع برای هر مرحله با 6 المان، مدول‌های غشائی ممکن است دچار آسیب تسکویی شوند که این امر می‌تواند به صورت فیزیکی در ممبرین‌ها شکاف و پارگی ایجاد کرده یا پوسته فایبرگلاس مدول را فشرده کند، همان‌طور که در شکل ۱۲-۲ نشان داده شده است (بخش ۳-۶، شکل ۳-۵، بخش ۳-۱-۳-۱۱-۳، و شکل ۱۱-۶ را ببینید).

شکل ۱۲-۲: مدول غشائی آسیب دیده، به علت افت فشار زیاد

