پیش تصفیه شیمیایی برای سیستم های RO و NF

مواد شیمیایی بسیاری برای افزایش عملکرد سیستم RO می توانند به خوراک RO اضافه شوند.

- اسیدها
- کاستیک ها[1](سوزآورها)
- کلرزداها[2]
- ضد رسوب ها[3] و سیال کننده ها[4]

اسیدها:

این اسیدها معمولا اسید هیدروکلریک یا اسید سولفوریک هستند که برای کاهش pH به خوراک تزریق می شوند.

اسید سولفوریک بیشتر از اسید هیدروکلریک استفاده می شود. یکی از دلایل آن هزینه عملیاتی نسبتا پایین تر اسید سولفوریک در مقایسه با اسید هیدروکلریک می‌باشد. مزیت دیگر آن فرار نبودنش است لذا باعث خوردگی قطعات فلزی محیط نمی‌شود. گاهی اوقات بیش از داده است به دلیل دفع بهتر یون سولفات از یون کلرید در غشا، اغلب اسید سولفوریک به اسید هیدروکلریک ترجیح داده می‌شود.

فنی اسید سولفوریک درجه فنی، بدون هیچ ماده افزودنی دیگری برای سیستم RO بسیار مناسب می‌باشد. اسید سولفوریک تجاری بصورت محلولهای ٪ 20 و ٪ 93 در بازار ارائه می‌شوند. محلول 93 ٪ همچنین با نام "محلول 66 درجه بائوم"[5] نیز شناخته می‌شود. احتیاط در رقیق کردن اسید سولفوریک 93 ٪ لازم است، زیرا با حداکثر حرارت حدود 280 فارنهایت درحدود 60 درصد رقت رخ می

---

[1] Caustics
[2] Dechlorination Chemicals
[3] Antiscalants
[4] Dispersants
[5] 66° Baume Solution

دهد. مهم است که اسید به آرامی به آب رقیق سازی اضافه شود تا تولید حرارت و جوشش محلول به حداقل برسد.

اسید هیدروکلریک وقتی ترجیح داده می‌شود که در محلول سولفات کلسیم، سولفات باریم، سولفات استرانسیم یا رسوبات جداره وجود داشته باشد. اسید سولفوریک سطح یون سولفات را در خوراک RO افزایش می دهد که به طور مستقیم سبب افزایش پتانسیل تولید رسوبات سولفاتی می‌شود. اسید هیدروکلریک درجه فنی (بدون مواد افزودنی) معمولا برای خرید مناسب می‌باشد. اسید هیدروکلریک معمولا بصورت محلول 30٪ تا 37% در بازار موجود ی‌باشد که گاهی به آن اسید موریاتیک[6] می‌گویند.

هدف اولیه‌ی کاهش pH خوراک، کاهش پتانسیل تشکیل رسوب کربنات کلسیم در کنسانتره RO است که با استفاده از فهرست اشباع لانگلیر[7] [LSI] اندازه گیری می‌شود. فهرست اشباع لانگلیر، روشی برای تعیین پتانسیل تشکیل رسوب یا خوردگی آب شور کم TDS ، بر اساس سطح اشباع کلسیم کربنات است. فهرست اشباع لانگلیر در عملیات RO، برای تعیین احتمال تشکیل رسوب کلسیم کربنات از اهمیت بالایی برخوردار است. آب با LSI منفی خورنده بوده و به لوله های فلزی آسیب میرساند اما رسوب کلسیم کربنات تشکیل نمی‌شود. درحالیکه خوراک LSI مثبت، خورنده نیست بلکه به تشکیل رسوب کلسیم کربنات تمایل دارد.

مقدار LSI بوسیله کم کردن pH محاسبه شده کلسیم کربنات از pH واقعی خوراک بدست می آید. حلالیت کلسیم کربنات با افزایش دما کاهش می یابد(مانند آهک گرفتن یک کتری چای) pH بالاتر، غلظت کلسیم کربنات بالاتر و سطح قلیاییت بالاتر را موجب میشود. مقدار LSI میتواند بوسیله کاهش pH بواسطه تزریق یک اسید (معمولا سولفوریک اسید یا هیدروکلریک اسید) در ROآب خوراک انجام میشود. مقدار توصیه شده LSI در غلظت RO منفی 0/2 است.(که نشان میدهد غلظت 0/2 واحد pH زیر مقدار اشباع کلسیم کربنات است.) مقدار منفی 0/2 LSI اجازه تغییر pH در

---

[6] Muriatic Acid
[7] Langlier Saturation Index [LSI]

عملیات کارخانه را میدهد. یک ضد رسوب پایه پلیمری همچنین میتواند برای افزایش رسوب کلسیم کربنات به کار رود. بعضی از تهیه کنندگان ضد رسوب ها اثر محصولاتشان را تا میزان مثبت LSI به مقدار 2/5 در غلظت RO را گزارش داده اند.(به هر حال مقدار محافظه کارانه طراحی سطح LSI برابر +1/8 است).

کاستیک ها (سوزآورها)

سوزآورها برای تعداد کمی کاربردهای فرآیندی، میتواند برای کاهش RO در pH خوراک تزریق شود. به طور معمول تنها سوزآور تزریق شده سدیم هیدروکساید [NaOH] بواسطه قیمتش، در دسترس بودن و حلالیت آن در آب است.

اغلب اوقات کیفیت NaOH میتواند به صورت تکنیکال گرید[8] است. (و عاری از هر گونه مواد اضافی). اگر تکنیکال گرید NaOH رنگ واضحی نداشته باشد(مثلا ته رنگ سیاه داشته باشد)،از یک درجه کیفی بالاتر NaOH مانند رایون[9] یا نایلون[10] گرید استفاده میشود. NaOH به صورت تجاری و 100% جامد یا به صورت 20% یا 50% محلول در دسترس است. در نگهداری سوزآور 50% احتیاط لازم است زیرا سوزآور در دمای زیر 60 F (15.5 C) با یک رابطه خاص با هوای سرد منجمد میشود.

احتیاط در افزایش pH خوراک لازم است زیرا این میتواند حلالیت آهن، منیزیم و کلسیم کربنات را کاهش دهد

که بوسیله افزایش LSI اندازه گیری میشود.

معمول ترین فرآیند کاربردی که از خوراک سوزآور استفاده میکند شامل سیستم RO دو گذر است. در یک RO دوگذر ، نفوذ از گذر اول RO باعث عبور خوراک به گذر دوم میشود. دومین گذر RO گذر اول را تا مقدار 4 مگااهم-سانتی متر[11] صیقل میزند. سوزآور به 4 دلیل برای خوراک 2 گذر استفاده میشود:

---

[8] technical grade
[9] rayon
[10] nylon
[11] megohm-cm

- در pH 8/2 و بالاتر، تمامی گاز کربن دی اکسید به یون بی کربنات تبدیل میشود. یون بی کربنات بوسیله RO رد میشود.کربن دی اکسید، گاز میشود و از طریق RO به جریان نفذی آزادانه میرود. کربن دی اکسید یک بار نامطلوب بر جریان پایین دست بسترهای مخلوط کننده صیقل دهنده میشود.
- برخی اجزای TOC در pH بالاتر بهتر دفع میشوند.
- دفع سیلیکا و حلالیت در pH بالاتر، بیشتر است. (مشخصا در pH بالاتر از 9)
- دفع عنصر بور در pH بالاتر، بیشتر است. (مشخصا در pH بالاتر از 9)

یک کاربرد فرآیندی مخصوص، که معمولا به فرآیندهای HERO TM ارجاع داده میشود، اعمال خوراک سوزآور برای افزایش pH به 9 یا 10 است. عملیات در pH بالا به سیلیکا اجازه میدهد تا به صورت محلول باقی بماند. جرم گرفتگی بیولوژیکی و آلی در pH بالا کاهش می یابد. تعداد دفعات مصرف مواد پاک کننده نیز به تبع آن کاهش می یابد.

عملیات ROدر حالت یک گذر انجام میشود و از یک خوراک آبی با کیفیت شورمزه[12] استفاده میکند. آب های شورمزه میتوانند شامل مواد جرم زا باشند که میتواند یک مشکل اضافی در pH بالاتر شود. (مثل سختی، قلیاییت، آهن، منیزیم و..). پیش تصفیه خیلی اوقات نرم کننده ها، فیلتراسیون، سیستم تعویض کاتیون اسید ضعیف و گاز زداها را برای گرفتن این جرم زاها به کار میبرد.

کلسیم و منیزیم بوسیله فرآیند پیش تصفیه مانند نرم کردن لایم-سودا[13] و فیلتراسیون قبل از خوراک دهی به RO جداسازی میشوند. سیستم تعویض کاتیون اسید ضعیف برای سختی گیری که بدلیل قلیاییت ایجاد میشود، به کار میرود.یون هیدروژن آزاد شده در واکنش تعویض کاتیون با قلیاییت واکنش داده تا اسید کربنیک تشکیل شده و برای جداسازی بعدی در

[12] brackish
[13] lime-soda

دیگاسیفایر[14] است. مقدار کربنات و سولفات به طرز قابل توجهی توسط مراحل پیش تصفیه کاهش پیدا میکند و اجازه عملیات در مقادیر بالاتر pH را میدهد.

مواد کلر زدا:

هیچ گاه نباید درآب خوراک RO کلر آزاد باقی مانده وجود داشته باشد. حتی مقادیر کم کلر در جریان خوراک باعث اکسیداسیون غیر قابل برگشت غشا میشود. بنابراین اپراتورها باید اطمینان حاصل کنند مواد اکسیدان در سیستم RO وجود ندارد.دو روش معمول در پیش تصفیه برای کاهش سطح کلر، جذب روی فیلتر کربن گرانولار فعال شده، و یا استفاده از یک ماده شیمیایی کاهنده مانند سدیم بی سولفات است.

فیلترهای کربنی تحت فشار معمولا روی سیستم های کوچک(50 تا gpm100 یا کمتر)، به خاطر ملاحظات اقتصادی اعمال میشوند. توصیه میشود از یک کربن با کیفیت بالا استفاده شود. کربن توصیه شده، کربن شستشو شده با سید برای جداسازی فلزات سنگین و سختی است که ذرات کربن قابل ته نشین شدن در سیستم ROبرای آن بسیار کم است. هرگاه پوشش جدید کربن نصب میشود فیلتر کربن بایستی کاملا شسته شده تا تمام ذرات کربن از جریان خروجی خارج شوند.(این عمل از چند ساعت تا چند روز طول خواهد کشید) نمی توان بوسیله کارتریج فیلتر 5 میکرون از اجزای RO در مقابل جرم گرفتگی حاصل از ذرات کربن محافظت نمود.

مزایای فیلترهای کربن عبارتند از: 1) توانایی آن برای جداسازی مواد آلی از خوراک آب که میتوانند باعث رسوب گرفتگی شوند. 2) آن ها برای تصفیه خوراک آب از مواد شیمیایی بسیار قابل اعتمادتر هستند. عیب استفاده از فیلترهای کربن این است که آن ها برای تولید مثل باکتری هایی که باعث رسوب گرفتگی بیولوژیکی میشوند مفید هستند. فیلترهای کربنی باعث دو برابر شدن باکتری ها در 24 ساعت میشوند. بخار پاکسازی برای کاربردهای حیاتی (مانند تولید

[14] degasifier

آب USP برای صنایع دارویی) میتواند به فواصل 1 تا 7 روز مورد استفاده قرار گیرد.

سدیم بی سولفات [SBS] ماده شیمیایی کاهنده کلر معمول برای سیستم های RO بزرگتر میباشد. توجه: SBS نباید بوسیله کبالت کاتالیز شود. یک محلول SBS بوسیله حل کردن سدیم متابی سولفیت جامد در آب و pH معادل 4/6 در محلول 1.0 % (وزنی) بدست می آید. برای تولید یک محلول 10% (وزنی) SBS باید 0/51 پوند سدیم متابی سولفیت جامد را در یک گالون آب حل کرد. سدیم متابی سولفیت به صورت تجاری در خلوص های 97/5 تا 99 % موجود است و در یک محل خشک تا 6 ماه میتواند به خوبی نگهداری شود. محلول SBS در هوا پایدار نیست و با اکسیژن هوا مانند کلر واکنش میدهد، بنابراین توصیه میشود بسته های با خلوص کمتر از 2% وزنی طی 3 تا 7 روز و بسته های کمتر از 10 % طی 7 تا 14 روز مصرف شوند. به صورت تئوری، 1/47 ppm از SBS (یا 0/70 ppm از سدیم متابی سولفیت) به صورت استوکیومتری 1 ppm از کلر را خنثی میکند. طراحان مقدار دوزی در بازه 1/8 تا 3/0 ppm از SBS را به ازای 1/0 ppm از کلر مصرف میکنند تا یک ضریب اطمینان صنعتی را برای آب آلوده سیستم RO به کار برده باشند. SBS باید در فاصله بالاتر از جریان بالادستی از اجزای RO اضافه شود تا از 20 ثانیه زمان برای انچام واکنش مطمئن شویم. همزدگی مناسب نیز احتیاج است که ترجیحا شامل یک همزن ثابت است.

- ($Na_2S_2O_5$ (sodium metabisulfite) + H_2O ⟶ 2 $NaHSO_3$ (sodium bisulfite

- ($NaHSO_3$ + HOCl ⟶ $NaHSO_4$ (sodium bisulfate) + HCl (hydrochloric acid

- $NaHSO_3 + Cl_2 + H_2O \longrightarrow NaHSO_4 + 2\,HCl$

مزایای استفاده از کلرزدایی با SBS عبارتند از: آن ها نسبت به فیلترهای کربنی برای سیستم های بزرگ هزینه بر هستند،

محصولات جانبی آن ها و SBS باق مانده به آسانی بوسیله RO جدا میشود.

عیب استفاده از SBS میتواند احتیاج به مخلوط کردن و کارکردن با حجمی از مواد شیمیایی و افزایش ریسک تولید کلر در غشا ها به علت طراحی نامناسب مانیتورینگ و سیستم کنترل در سیستم کلرزدایی باشد. در تعداد کمی از موارد جایی که باکتری های کاهنده سولفور [SBRs] در خوراک تامین کننده وجود دارند، بی سولفات به عنوان ماده غذایی و افزایش دهنده رشد آنها عمل میکند. SBR ها معمولا در چاه های کم عمق بی هوازی(شامل اکسیژن کم) در مناطقی مانند فلوریدا یافت میشوند. غالبا هیدروژن سولفید (H2S) نیز به عنوان محصول جانبی فرآیند SBR متابولیکی است.

مانیتورینگ برای کلرزدایی میتواند بوسیله مشاهده کلر آزاد در دسترس[15]، مشاهده غلظت بی سولفات باقی مانده، یا بوسیله یک ORP مانیتور[16] انجام گیرد. هیدرانتیک[17] پیشنهاد میدهد که خوراک سیستم RO/NF به تجهیزات پتانسیل سنجی اکسیداسیون-احیا[18] مجهز شود. آب خوراک میتواند به صورت پیوسته برای وجود اکسیدان ها، مونیتور شود. به جز در کاربردهای فاضلاب، جایی که کلرآمین به کار میرود، مقدار خوانده شده از ORP باید زیر 300mV باشد. اگر بالای 300mV باشد، اپراتور باید پیام هشداری دریافت کند که یک سطح خطرناکی از اکسیدان ها به غشاها رسیده است و باید واکنشی نشان داد، مانند افزایش یا اضافه کردن مقدار SBS ، برای کاهش غلظت اکسیدان ها. اگر مقدار ORP به 350mV برسد، واحد باید تعطیل شود تا وقتیکه غلظت اکسیدان به مقدار ایمن برسد (ORP<300 mV) .

غشاهای CPA دامنه تقریبی کلر از 1000 تا 2000 ppm-hour ، قبل از دو برابر شدن مقدار نمک دارند. سطح 1000 ppm-hour مرتبط با سطح کلر0.038 ppm در خوراک RO برای 3 سال عملیات است.

---

[15] Available Free Chlorine
[16] ORP monitor
[17] Hydranautics
[18] Oxidation-Reduction Potential (ORP) meter

طراحان RO باید توجه کنند که در برخی موارد خاص مشاهده شده است که این دامنه تغییرات کلر میتواند به مقدار زیادی توسط اثرات تحریک کننده افزایش دما (90 F یا بیشتر)، افزایش pH (7 یا بیشتر)، یا به علت وجود فلزات واسطه بر روی سطح غشا (مثل آهن، منیزیوم، روی، مس، آلومینیوم و...) کاهش یابد.

غشاهای CPA دامنه تقریبی کلرآمین از 50000 تا ppm-hour200000 قبل از یک افزایش قابل توجه در مقدار نمک دارند. سطح 50000 ppm-hour مرتبط با سطح کلرppm 1.9 در خوراک RO برای 3 سال عملیات است. طراحان RO باید توجه داشته باشند که مشاهده شده است که دامنه تغییرات کلرآمین میتواند با عوامل تحریک کننده مانند دمای بالا، pH پایین، یا وجود فلزات واسطه تغییر کند.

یک برنامه در یک واحد تصفیه سوم آب در کالیفرنیا کاهش نمک دفعی سیستم از 98% تا 96% در 2 تا 3 سال بوسیله کلرآمین در بازه 6 تا 8 ppm را نشان داده است. طراحان همچنین باید آگاه باشند که کلرزدایی پس از کلرآمین کردن لازم است. کلرامین بوسیله مخلوط کردن کلر و آمونیاک بدست می آید.کلر آزاد باقی مانده، که میتواند غشاها را خیلی زودتر از کلرآمین خراب کند، میتواند به علت کمبود آمونیاک موجود باشد. بنابراین لازم است همیشه مقدار اضافی آمونیاک موجود باشد، و سیستم برای اطمینان بیشتر مونیتور شود.

ضد رسوب ها[19] و سیال کننده ها[20]

تعداد بسیار زیادی تامین کننده مواد شیمیایی وجود دارد که ضد رسوب ها و سیال کننده های مختلفی برای بهبود عملیات RO و NF تولید میکنند.

ضد رسوب ها خانواده ای از مواد شیمیایی هستند که برای افزایش تشکیل و ته نشینی کریستا ل های نمک های معدنی، طراحی شده اند. اغلب ضدرسوب ها پلیمرهای ساخته شده آلی

---
[19] Antiscalants
[20] Dispersants

هستند (مانند پلی اکریلیک اسید، کربوکسیلیک اسید، پلی مالئیک اسید، فسفات های آلی، پلی فسفات ها ، فسفونات ها، آنیونیک پلیمرها و..). جرم مولکولی این پلیمرها بین 2000 تا 10000 Dalton است.

تکنولوژی ضدرسوب ها برای سیستم های RO اولین بار از کاربرد شیمی در خنک کردن و جوشش آب بدست آمده است. باید توجه داشت که مواد شیمیایی ضدرسوب مختلف که استفاده میشود اثرات بسیار مختلفی گذاشته و درجه تاثیر بستگی به کاربرد و پلیمر آلی مورد استفاده دارد.

در استفاده از ضدرسوب های ساخته شده از پلی اکریلیک اسید باید احتیاط نمود. آنها در صورت وجود سطح بالایی از آهن، مستعد تشکیل یک جرم گرفتگی هستند که روی سطح غشاها مینشینند. این جرم گرفتگی فشار مورد نیاز سیستم را افزایش میدهد، اما معمولا با یک شستشو با pH پایین قابل برطرف کردن است.

همچنین در استفاده از ضدرسوب هایی که پایه آنیونی دارند (مانند پلی آکریلیک اسید) وقتی یک منعقد کننده یا کمک فیلتر با پایه کاتیونی در پیش تصفیه به کار میرود، باید احتیاط نمود. یک رسوب ویسکوز، چسبنده میتواند تشکیل شده و باعث افزایش فشار لازم سیستم شده، و پاک کردن آن بسیار مشکل است.

یک ضدرسوب که در RO امروزه بسیار مورد استفاده است، سدیم هگزامتافسفات[21] (SHMP) است، اما استفاده از آن به علت مزیت ضدرسوب های اختصاصی، کاهش یافته است. SHMP محدودیت هایی دارد. بسته های SHMP رقیق شده به علت هیدرولیز بوسیله تماس با هوا، باید هر 2 تا 3 روز درست شوند، زیرا هیدرولیز میتواند درجه تاثیر را کم نموده و یک پتانسیل کلسیم فسفات خطرناک ایجاد کند. SHMP حفاظت کمی در مقابل کلسیم کربنات در مقیاسی با ماکزیمم LSI در غلظت +1.0 دارد.

---

[21] sodium hexametaphosphate

ضدرسوب ها رشد ساختارهای کریستالی نمک در خوراک RO و غلظت جریان ها را کاهش داده، در نتیجه حلالیت بسیار کم نمک ها در محدودیت های معمول حلالیت را موجب میشود.ضدرسوب ها میتوانند برای جابجایی، یا اتصال با اسید خوراک برای کنترل میزان کلسیم کربنات به کار رود.

چند فاکتور میتواند میزان تشکیل مواد معدنی را تحت تاثیر قرار دهد. دمای پایین حلالیت مواد معدنی را کاهش میدهد (استثنا در این مورد تشکیل کلسیم کربنات است که با افزایش دما، حلالیت افزایش می یابد). حلالیت نمک های کم محلول با افزایش سطح TDS افزایش می یابد (این بستگی به افزایش تداخل بوسیله تمام یون های موجود دارد).

رسوب زا های معدنی معمول:

- کلسیم کربنات [CaCO3]
- کلسیم سولفات [CaSO4]
- استرانتیوم سولفات [SrSO4]
- باریوم سولفات [BaSO4]

رسوب زا های معدنی کمتر معمول

- کلسیم فسفات [caPO4]
- کلسیم فلوراید [caF2]

سیال کننده ها از خانواده پلیمرهای آلی ساخته شده هستند که برای افزایش انباشتگی و رسوب گیری رسوب ها از روی سطح غشاها طراحی شده اند. سیال کننده گاهی ضد رسوب نیز گفته میشوند. رسوب ها تمایل به ته نشینی نرم، غیرکریستال دارند. مواد سیال کننده معمولا خواص ضدرسوبی نیز دارند. میزان تاثیر سیال کننده های مختلف میتواند با رسوب های مختلف تغییر کند، بنابراین باید بدانیم که چه رسوبی را میخواهیم پاک کنیم.

رسوب هایی که با سیال کننده ها پاک میشوند:

- مواد معدنی

- اکسید و هیدروکسید فلزات (آهن، منیزیوم، آلومینیوم)
- سیلیس پلیمر شده
- مواد کلوئیدی (ذرات بسیار ریز که در یک سوسپانسیون باقی میمانند و میتوانند شامل خاک، آهن، آلومینیوم ،سیلیکا،سولفور ویا مواد آلی باشد)
- مواد بیولوژیکی

پیش بینی ماکزیمم حلالیت فوق اشباع سیلیکا ، سخت است. به طور معمول آهن موجود در آب خوراک میتواند به سرعت آهن سیلیکا تولید کرده و به طور چشمگیری مقدار غلظت سیلیکا مجاز در جریان RO را کاهش دهد. بقیه فاکتورهای اصلی pH ودما هستند.

پیش بینی ماکزیمم سطح فلزات (مثل آهن، منیزیوم، آلومینیوم) نیز میتواند مشکل باشد. آهن به شکل محلول اجازه سطح بالاتری از حلالیت را میدهد. شکل نامحلول آن تمایل به رفتار شبیه اکثر ذرات و کلوئید ها را دارد.

مقدار بهینه و ماکزیمم سطح اشباعیت رسوبات و جرم ها برای ضدرسوب ها و سیال کننده ها ، برای تامین کننده های مواد شیمیایی که یک بسته اختصاصی را به کار میبرند به خوبی مشخص میشود. هیدراناتیک[22] تخمین محتاطانه ای در طراحی نرم افزار IMS برای اهداف هشدار دهنده در تخمین سطح فوق اشباعیت نمک های کم محلول به کار میبرد.

نگهداری سطح مناسب مقدار یک ضدرسوب یا سیال کننده نیز مهم است. مقدار کمتر میتواند باعث جرم گرفتگی شود. مقدار بیشتر باعث ته نشینی ضدرسوب ها یا سیال کننده ها روی غشاها شده و مشکل جرم گرفتگی ایجاد کند.

این مهم است که ضدرسوب ها و سیال کننده ها در موقع تعطیلی واحد کاملا از اجزای RO پاک شوند، زیرا آن ها میتوانند بر روی غشاها ته نشین شده و باعث مشکلات جرم گرفتگی شوند. تزریق ضدرسوب ها و سیال کننده ها باید هنگام فشار کم ، هنگامیکه خوراک آب RO منبع آب شستشو است، متوقف بشود.

[22] Hydranautics

طراحی سیستم تزریق ضدرسوب ها و سیال کننده ها به خوراک جریان RO احتیاج به اطمینان از اختلاط مناسب قبل از وارد شدن به اجزای RO دارد. استفاده از همزن ثابت موثرترین روش اختلاط است، اما هزینه بر است. اکثر سیستم ها محل تزریق قبل از فیلتر کارتریج خوراک RO دارند و بسته به زمان ماند کارتریج فیلتر و همزدگی خوراک پمپ RO، همزدگی تغییر میکند.

تصیه میشود اگر احتیاج به تنظیم pH اسیدی آب خوراک RO باشد، اسید باید در بالادست تزریق شده و قبل از رسیدن به محل تزریق ضدرسوب ها و سیال کننده ها، کاملا مخلوط شود. قسمت های غلیظ شده ی اسید با pH کم میتواند اثر ضدرسوب ها و سیال کننده ها را از بین ببرد.

پمپ شیمیایی پیمایشی[23] برای تزریق ضدرسوب ها و سیال کننده ها باید برای ماکزیمم تناوب تزریق تنظیم شود. مینیمم تناوب توصیه شده هر 5 ثانیه یکبار است. مقدار مجاز معمول ضدرسوب ها و سیال کننده ها 2 تا 5 ppm است. برای رسیدن به یک مقدار معقول تناوب پمپ پیمایشی، رقیق سازی ضدرسوب ها و سیال کننده ها احتیاج است.

ضدرسوب ها و سیال کننده ها هم به صورت مایع غلیظ شده و هم به صورت پودر موجود هستند. آب رقیق کننده باید سختی گیری شده و به طور بهتر دارای خواص RO باشد. ضدرسوب ها و سیال کننده ها میتوانند به صورت بیولوژیکی در تانک ها رسوب دهند که بستگی به دمای اتاق و مقدار رقیق شدن دارد. مقدار توصیه شده برای زمان ماند برای محلول رقیق شده 7 تا 10 روز است. به طور معمول محلول های غیر رقیق شده ضدرسوب ها و سیال کننده ها دچار جرم گرفتگی بیولوژیکی نمی شوند.

جدول زیر حد بالای عملیاتی اشباعیت را نشان میدهد که بوسیله تامین کنندگان مواد شیمیایی و نقاط هشدار دهنده محافظه کارانه در برنامه طراحی هیدراناتیک گزارش داده شده است. این مقادیر بر جریان غلیظ شده، با حد نرمال اشباعیت 100% بدون استفاده از ضدرسوب ها و سیال کننده ها است.

[23] chemical metering pump

هیدراناتیک همیشه پیشنهاد میکند که برای آگاهی از تاثیر مواد با تامین کنندگان مواد تماس بگیرید.

رسوب زا یا جرم زا	بیشترین مقدار گزارش شده	مقدار هشدار دهنده هیدراناتیک
LSI (کلسیم کربنات)	+2.9	+1.8
کلسیم سولفات	400%	230%
استرانسیوم سولفات	1200%	800%
باریوم سولفات	8000%	6000%
کلسیم فلوراید	12000%	بدون هشدار
سیلیس	300 ppm یا بیشتر	100%
آهن	5 ppm	بدون هشدار
آلومینیوم	4 ppm	بدون هشدار

مساله اصلی دیگر انتخاب یک ضدرسوب/سیال کننده با تضمین مناسب بودن با غشای RO مورد استفاده است. مواد شیمیایی نامناسبی وجود دارند که میتوانند باعث جرم گرفتگی یا صدمه غیر قابل بازگشت در غشای RO شوند. هیدراناتیک برای سازگاری غشاهای RO و بازده فرآیندها به تامین کنندگان مواد شیمیایی تکیه میکند.

چند سوال توصیه شده برای پرسیدن از تامین کنندگان مواد ضدرسوب/سیال کننده :

- آیا با غشای RO سازگار است
- آیا لیست کاربران نهایی با 1000 ساعت عملیات موفق دارد؟
- آیا با بقیه اجزای آب خوراک RO واکنش میدهد (مثل آهن، فلزات سنگین، پلی الکترولیت های کاتیونی و...)
- مقادیر توصیه شده و ماکسیمم مقدار مجاز چقدر است؟
- محدودیت های منعکس شده برای حلالیت برای جرم گرفتگی و رسوب گرفتگی اجزا چقدر است؟
- آیا محدودیتی برای تخلیه مواد به محیط وجود دارد؟
- آیا برای کاربردهای آب آشامیدنی مناسب است (در صورت نیاز)؟

- آیا تامین کننده خوراک RO دیگری مثل منعقد کننده، آفت کش ها و مواد پاک کننده پیشنهاد میدهد؟
- آیا تامین کننده سرویس های پشتیبانی متفرقه مانند تمیز کردن اجزا را پیشنهاد میکند؟

واژه نامه

قلیاییت : قلیاییت شامل کربن دی اکسید، بی کربنات، کربنات و هیدروکسیدها است. در سیستم بافر طبیعی زمین، در مقادیر کم اسید قوی (مثل باران اسیدی) با قلیاییت واکنش داده و باعث تغییرات نسبتا کوچک در pH میشود. کربن دی اکسید و بی کربنات در یک تعادل pH بین 4/4 و 8/2 هستند. در pH 4/4 یا پایین تر، قلیاییت تماما به صورت کربن دی اکسید است. در pH 8/2، کربن دی اکسیدی وجود ندارد و قلیاییت تماما بی کربنات است. بی کربنات و کربنات در یک تعادل pH بین 8/2 و 9/6 هستند. در pH 9/6، کربن دی اکسید و بی کربناتی وجود ندارد و تمام قلیاییت به صورت کربنات است. هرچه pH از 9/6 بیشتر میشود، قلیاییت هیدروکسیل به واسطه وجود هیدروکسین بوجود می آید. اغلب آب های طبیعی pH بین 6 و8/4 دارند، بنابراین وجود هیدروکسیدها به دلیل فعالیت های انسان ها است. قلیاییت، خصوصا توسط شیمیدان های آب بویلر، میتواند به صورت قلیاییت M [24] و قلیاییتP [25] گزارش شود. قلیاییتM، قلیاییت کل در آب را به صورت ppm کلسیم کربنات اندازه گیری میکند، که بر مبنای تیتراسیون اسید تا pH 4/2 بوسیله شناساگر متیل اورانج انجام میگیرد. قلیاییتP مقدار قلیاییت بی کربنات، کربنات و هیدروکسیل را بر مبنای تیتراسیون اسید تا pH 8/2 و بوسیله شناساگر فنول فتالئین صورتی، اندازه گیری میکند.

باریوم (Ba) : یک کاتیون دو ظرفیتی. حلالیت باریوم سولفات (BaSO4) کم بوده و میتواند موجب گرفتگی RO در مراحل پایانی شود. حلالیت باریوم سولفات با افزایش سطح سولفات، و

---

[24] M-Alkalinity
[25] P-Alkalinity

کاهش دما ، کاهش می یابد. باریوم معمولا در بعضی چاه ها، با غلظت کمتر از 0.05 ppm تا 0.2ppm یافت میشود. باید توجه داشت که غلظت باریوم باید با وسایلی اندازه گیری شود که مینیمم سطح تشخیص آن ها (0.01 ppm (10ppb باشد. اشباعیت 100% و فوق اشیباعیت تا 6000% برای یک ضد رسوب طبیعی است.

بی کربنات (HCO3) : یک آنیون تک ظرفیتی است. حلالیت بی کربنات کم است و میتواند موجب گرفتگی RO در مراحل پایانی شود. حلالیت بی کربنات بوسیله LSI[26] و برای آب های شور یا جدول استیف-دیویس[27] برای آب دریا اندازه گیری میشود، و با افزایش دما و pH کاهش می یابد. بی کربنات یکی از اجزای قلیاییت است و غلظت آن در یک تعادل با کربن دی اکسید در بازه pH 4/4 و 8/2 است و در یک تعادل با کربنات در بازه pH 8/2 و 9/6 است.

کلسیم (Ca) : یک کاتیون دو ظرفیتی است. کلسیم،همراه با منیزیوم، از اجزای اصلی در سختی آب های شور است. حلالیت کلسیم سولفات (CaSO4) (سنگ آهک) معمولا با استفاده از یک ضد رسوب کمتر از 230% است. حلالیت کلسیم کربنات معمولا به اندازه مثبت 1/8 تا 2/5 در مقیاس LSI محدود میشود.

کربن دی اکسید (CO2): کربن دی اکسید گازی است که در صورت حل شدن در آب، با آب واکنش داده و تشکیل اسید ضعیف کربنیک اسید(H2CO3) میدهد. اگر آب خالصی کاملا با کربن دی اکسید اشباع شود، غلظت آن حدود 1600ppm و pH آن حدود 4 میشود. یک منبع معمول برای کربن دی اکسید در آب طبیعی، تعادل قلیاییت بی کربنات بر پایه pH آب است. غلظت کربن دی اکسید در آب معمولا به صورت غیر مستقیم و بوسیله مقایسه گرافیکی غلظت بی کربنات و pH اندازه گیری میشود. کربن دی اکسید و یون بی کربنات در یک تعادل در pH ین 4/4 و 8/2 هستند. قلیاییت یعنی تمام کربن دی اکسید در pH 4/4 و یا تمام بی کربنات در pH 8/4 . برنامه طراحی RO سطح کربن دی اکسید بر

[26] Langlier Saturation Index
[27] Stiff-Davis Index

مبنای سطح بی کربنات و pH آب را محاسبه میکند. کربن دی اکسید در حالت گازی، بوسیله غشای RO تغلیظ یا دفع نمیشود، بنابراین غلظت آن در خوراک و غشا یکسان است. اسیدی کردن آب خوراک RO موجب کاهش pH به علت تبدیل بی کربنات به کربن دی اکسید، میشود.

کربنات (CO3) : یک آنیون دو ظرفیتی است. حلالیت کلسیم کربنات کم است و باعث گرفتگی در مراحل پایانی RO میشود. حلالیت بی کربنات بوسیله LSI[28] و برای آب های شور یا جدول استیف-دیویس[29] برای آب دریا اندازه گیری میشود، و با افزایش دما و pH کاهش می یابد. کربنات یکی از اجزای قلیاییت است و غلظت آن در یک تعادل با بی کربنات در بازه pH بین 8/2 و 9/6 است. در pH 9/6 و بالاتر، کربن دی اکسید یا بی کربناتی وجود ندارد، و تمام قلیاییت به صورت کربنات است.

قدرت یونی: حلالیت نمک های کم محلول با افزایش TDS خوراک افزایش می یابد. برای بررسی این اثر در محاسبه حلالیت یک نمک (مانند کلسیم سولفات، باریوم سولفات، استرانسیوم سولفات یا SDSI) ، قدرت یونی یک آب محاسبه میگردد. قدرت یونی هر یون بوسیله اندازه گیری غلظت ppm هر یون (مثل کلسیم کربنات) و ضرب کردن هر یون تک ظرفیتی در 1×10^-5 و هر یون دو ظرفیتی در 2×10^-5، بدست می آید. جمع قدرت یونی تمام یون ها، قدرت یونی کل آب را میدهد.

آهن (Fe): آهن یک آلاینده آب بوده که به دو فرم موجود است. فرم محلول در آب آن به فروس[30] شناخته میشود و ظرفیت آن 2+ است. در چاه های آب بدون هواف آهن فروس، مانند سختی کلسیم و منیزیوم رفتار میکند، در این حالت میتوان آن را با سختی گیر ها یا ته نشینی آن در مراحل پایانی RO جداسازی نمود، و بوسیله یک سیال کننده در آب خوراک RO کنترل نمود. حالت

---

[28] Langlier Saturation Index
[29] Stiff-Davis Index
[30] ferrous state

نامحلول در آب آهن به نام فریک[31] شناخته شده و دارای ظرفیت +3 است. سازندگان RO معمولا پیشنهاد میدهند که مجموع سطح آهن کمتر از 0.05ppm در خوراک RO باشد. اگر تمام آهن به صورت فروس محلول باشد، در صورتیکه pH کمتر از 7 باشد، سطح آهن در خوراک میتواند تا 0.5ppm باشد. ورود هوا به آب با آهن فروس محلول باعث اکسید شدن آهن و نامحلول شدن آن میشود. آهن محلول در چاه های عمیق یافت میشود، اما میتواند به علت قرار گرفتن در معرض هوا در تانک ها یا پمپ ها، به شکل آهن نامحلول درآمده و ایجاد مشکل نماید. آهن محلول میتواند بوسیله رسوب زا ها تصفیه شده، یا بوسیله فیلترهای آهن، سختی گیرها یا نرم کننده ها، جداسازی شود. اکسید آهن فریک نامحلول یا فریک هیدروکساید، که در طبیعت به صورت کلوئیدی است، باعث جرم گرفتگی انتهای سیستم RO میشود. منابع آهن نامحلول چاه های آب هوادهی شده، منابع سطحی، و رسوبات آهن از تانک ها و لوله های بدون پوشش است. آهن نامحلول را میتوان با فیلترهای آهن، سختی گیر آهک، نرم کننده ها(با محدودیت)، اولترافیلتراسیون (با محدودیت) و فیلترهای چند قسمتی با خوراک پلی الکترولیت (با محدودیت) جداسازی نمود. در استفاده از پتاسیم پرمنگنات در فیلترهای آهن ماسه سبز منگنز احتیاط لازم است، در آن ها پتاسیم پرمنگنات یک اکسید کننده است که میتواند هر گونه غشای پلی آمید را نابود کند. احتیاط در کاتیون پلی الکترولیت نیز لازم است، زیرا آن باعث جرم گرفتگی غیر قابل برگشت در غشای پلی آمید شود. برای تمامی سیستم های RO، پیش تصفیه RO، و لوله های توزیع که به سیستم RO وارد میشوند، مخازن و لوله های ضد خوردگی(مثل FRP,PVC یا فولاد زنگ نزن) توصیه میشود. آهن به عنوان رسوب به سرعن فشار لازم برای خوراک RO، و TDS غشا را افزایش میدهد. در بعضی موارد، وجود آهن به علت منبع انرژی بودن برای باکتری های کاهنده آهن، میتواند باعث رسوب گرفتگی زیستی شود. باکتری های کاهنده آهن میتوانند باعث تشکیل یک لایه نازک زیستی شده و مسیر خوراک RO را مسدود نمایند.

[31] ferric

LSI (Langlier Saturation Index) : جدول اشباع لانگ لیر: LSI یک روش گزارش رسوب گرفتگی یا پتانسیل خوردگی برای TDS آب شور بر مبنای سطح اشباعیت کلسیم کربنات است. LSI در در شیمی RO و در تعیین اینکه در آب رسوب کلسیم کربنات تشکیل میشود یا خیر، مهم است. آب با LSI منفی برای لوله های فلزی خورنده محسوب شده و رسوب کلسیم کربنات نیز تشکیل نمیشود. آب با LSI مثبت خورنده نیست اما تمایل به تشکیل رسوب کلسیم کربنات دارد. LSI برای شیمی دان های RO از جهت اندازه گیری پتانسیل رسوب کلسیم کربنات مهم میباشد. مقدار LSI بوسیله کم کردن pH محاسبه شده کلسیم کربنات اشباع از pH واقعی خوراک بدست می آید. حلالیت کلسیم کربنات با افزایش دما(مانند جرم گرفتگی کتری)، افزایش pH، افزایش غلظت کلسیم، و افزایش سطح قلیاییت، کاهش می یابد. مقدار سطح LSI میتواند بوسیله تزریق یک اسید (عموما سولفوریک یا هیدروکلریک) و کاهش pH در آب خوراک RO کاهش یابد. LSI پیشنهاد شده برای RO منفی 0/2 است (یعنی غلظت 0/2 واحد pH زیر نقطه اشباع کلسیم کربنات است). مقدار منفی 0/2 LSI اجازه تغییر pH در عملیات کارخانه را میدهد. یک ضد رسوب پایه پلیمری همچنین میتواند برای افزایش رسوب کلسیم کربنات به کار رود. بعضی از تهیه کنندگان ضد رسوب ها اثر محصولاتشان را تا میزان مثبت LSI به مقدار 2/5 در غلظت RO را گزارش داده اند.(به هر حال مقدار محافظه کارانه طراحی سطح LSI برابر +1/8 است). سدیم هگزامتافسفات، یک ضد رسوب غیرآلی، در روزهای اول RO استفاده میشود، اما ماکزیمم کنسانتره LSI برابر +0.5 بوده و آن باید در مقادیر کم درست شود زیرا هوا آن را به سرعت اکسید می کند.

منیزیوم (Mg) : یک کاتیون دو ظرفیتی است. منیزیوم میتواند به عنوان سومین عامل سختی در آب شور باشد، اما غلظت آن 5 برابر بیشتر از کلسیم در آب دریا است. حلالیت نمک های منیزیوم در آب بالا بوده و معمولا باعث رسوب گرفتگی در سیستم های RO نمیشوند.

منگنز (Mn): منگنز آلودگی است که هم در چاه ها و هم در آب های سطحی، به مقدار 3ppm بیشتر وجود دارد. منگنز مانند آهن، در ترکیبات آلی در آب های سطحی یافت میشود. در آب بدون اکسیژن محلول، منگنز محلول است. در حالت اکسید شده، نامحلول است، و معمولا به صورت اکسید سیاه منگنز (MnO2) رسوب میدهد. سطح خطرناک برای پتانسیل جرم گرفتگی منگنز در خوراک آب RO هوادهی شده برابر با 0.05 ppm میباشد. آیین نامه آب آشامیدنی مقدار منگنز را به خاطر توانایی آن برای ایجاد زنگ سیاه، به 0.05ppm محدود نموده است. سیال کننده هایی که برای کنترل جرم گرفتگی آهن به کار میروند، به کنترل جرم گرفتگی منگنز نیز کمک میکنند.

pH: pH آب خوراک میزان اسیدی یا بازی بودن را مشخص میکند. pH برابر با 7 به عنوان خنثی در نظر گرفته میشود. pH بین 0 تا 7 اسیدی است. pH بین 7 تا 14 بازی است. برای شیمیدان های تجزیه ای، pH یک روش بیان میزان غلظت یون هیدروژن به صورت توانی از 10 است که برابر با منفی لگاریتم غلظت یون هیدروژن است. برای شیمیدان های آب، pH به خاطر تعریف سطح تعادل قلیاییت، کربن دی اکسید، بی کربنات و یون هیدروکسید مهم است. pH کنسانتره معمولا از pH خوراک، به علت غلظت بالاتر یون بی کربنات/کربنات که وابسته به غلظت کربن دی اکسید است، بالاتر است. برنامه RODESIGN به کاربران اجازه تنظیم pH آب خوراک را بوسیله هیدروکلریک و سولفوریک اسید میدهد. کاهش pH خوراک با اسید باعث کاهش مقدار LSI شده، که پتانسیل رسوب زایی کلسیم کربنات را کاهش میدهد. pH خوراک و کنسانتره نیز میتوانند حلالیت و پتانسیل جرم گرفتگی سیلیس، آلومینیوم، مواد آلی و نفتی را تحت تاثیر قرار دهند. بی ثباتی در pH خوراک نیز میتواند دفع یون ها را تحت تاثیر قرار دهد. برای مثال، دفع فلوراید، برم و سیلیکا، هنگامیکه محیط اسیدی شود کمتر میشود.

SDSI (Stiff Davis Saturation Index) : SDSI مانند LSI، یک روش گزارش جرم گرفتگی یا پتانسیل خوردگی TDS آب دریا، بر پایه اشباعیت کلسیم کربنات است. تفاوت عمده بین SDSI برای TDS بالای آب

دریا و LSI برای TDS پایین آب شور، تاثیر افزایش قدرت یونی بر افزایش حلالیت است. حلالیت نمک های کم محلول با افزایش TDS و قدرت یونی افزایش یافته، واین بر پایه تئوری است که چگالی جمعیتی یونی در تشکیل و یا ته نشینی نمک کم محلول مداخله میکند.

سیلیس (SiO2) : سیلیس (سیلیکون دی اکسید)، در بعضی موارد یک آنیون است. سیلیس یک کمپلکس بوده و تا حدودی غیر قابل پیش بینی است. مانند گزارش TOC غلظت کل مواد آلی (مانند کربن) بدون در نظر گرفتن اینکه اجزای مواد آلی، سیلیس غلظت کل سیلیکون (مانند سیلیس) را بدون در نظر گرفتن جزئیات اجزای سیلیکون را گزارش میدهد. ظرفیت سیلیس کل آب از سیلیس واکنش پذیر و سیلیس واکنش ناپذیر تشکیل شده است. سیلیس واکنش پذیر (مثل سیلیکات SiO4) سیلیس محلول است که به مقدار کم محلول بوده و به صورت زنجیر بزرگ پلیمر نمیشود. سیلیس واکنش پذیر فرمی است که شیمی دان های RO و تعویض یونی دوست دارند. سیلیس واکنش پذیر فرمی از سیلیس است که در برنامه های RO به کار میرود. سیلیس واکنش پذیر، با وجود داشتن خواص آنیونی ، به عنوان یک انیون برای تعادل آب به شمار نمیرود، اما به عنوان بخشی از TDS به حساب می آید. سیلیس واکنش ناپذیر سیلیس پلیمریزه شده یا کلوئیدی است، و بیشتر مانند یک جامد رفتار میکند تا یک یون محلول. سیلیس، در حالت کلوئیدی، با RO جداسازی میشود، اما میتواند باعث جرم گرفتگی کلوئیدی در انتهای سیستم RO شود. سیلیس کلوئیدی، با اندازه 0/008 میکرون را میتوان با آزمایش SDI اندازه گیری نمود ، البته فقط کسری از آن ها که بزرگتر از 0/45 میکرون یا بزرگتر باشند.اجزای ذرات سیلیس (مانند خاک،گل و ماسه) معمولا 1 میکرون یا بزرگتر بوده و میتوان آن ها را با تست SDI اندازه گیری نمود. سیلیس پلیمریزه شده، که سیلیکون دی اکسید را به عنوان واحدهای ساختمانی به کار میبرد، به علت افزایش سطح اشباعیت سیلیس واکنش پذیر بوجود می اید. حلالیت سیلیس واکنش پذیر عموما بین 200-300% ، با استفاده از سیال کننده است. حلالیت سیلیس واکنش پذیر با افزایش دما، افزایش pH در زیر 7 یا بیشتر از 7/8، افزایش

یافته و در حضور آهن که مثل یک واکنشگر در فرآیند پلیمریزاسیون سیلیس عمل میکند، کاهش می یابد. خروجی سیلیس به pH حساس است، در pH بازی دفع سیلیس افزایش یافته، زیرا سیلیس واکنش پذیر بیشتر به صورت نمک موجود است تا فرم اسیدی.

استرانسیوم (Sr) : یک کاتیون تک ظرفیتی است. حلالیت استرانسیوم سولفات کم بوده و میتواند باعث مشکل رسوب زایی در انتهای RO شود. حلالیت استرانسیوم سولفات با افزایش سطح سولفات و کاهش دما، کم میشود. معمولا، استرانسیوم در برخی چاه های آب که سنگ سرب نیز وجود دارد، با غلظت کمتر از 15 ppm یافت میشود. اشباعیت 100% و فوق اشباعیت تا 800% برای یک ضدرسوب معمولی است.

سولفات (SO4): یک آنیون دو ظرفیتی است. حلالیت کلسیم، باریوم و استرانسیوم سولفات پایین بوده و میتواند موجب رسوب گرفتگی در کنسانتره RO شود. حلالیت این نمک های کم محلول با کاهش دما کاهش می یابد. سطح بالای سولفات در آب اشامیدنی 250 ppm است که به علت مشکل در طعم آب است.