# ۳ طراحی سیستم

## ۳-۱ مقدمه

سیستم کامل تصفیه آب به روش اسمز معکوس (RO) / نانوفیلتر (NF) شامل بخش پیش تصفیه، بخش المان ممبرین و بخش بعد از تصفیه می‌باشد. روش‌های پیش تصفیه در بخش ۲ توضیح داده شده است، شیمی‌آب و پیش تصفیه.

بخش بعد از تصفیه جهت رسیدن به کیفیت آب مورد نیاز به‌کار برده می‌شود. در نمک زدایی از آب دریا، این مرحله شامل تنظیم pH، افزودن سختی مجدد و ضد عفونی کردن می‌باشد. در تولید آب بسیار خالص (UPW)، معمولا آب تصفیه شده در مرحله بعد از تصفیه توسط ستون‌های تبادل یونی پولیش ( نرم) می‌شود.

در این بخش، سیستم ممبرین قرار دارد. این سیستم شامل المان‌های ممبرینی است که در لوله‌های تحت فشار به ترتیب خاصی چیده شده اند. از یک پمپ فشار قوی برای وارد کردن آب ( خوراک ) به لوله‌های تحت فشار استفاده می‌شود. وسایل اندازه گیری، لوازم یدکی و ابزار جهت سرویس نیز به آن‌ها افزوده می‌گردد.

سیستم شستشو در محل (IP) عملیات پاک کردن ممبرین‌ها را آسان می‌کند. این مطلب در بخش ۶ با عنوان، شستشو و ضد عفونی کردن توضیح داده می‌شود. سیستم ممبرین تاسیسات کاملی است با ورودی جهت آب خوراک و خروجی برای آب تصفیه شده و محلول غلیظ شده. عملکرد سیستم RO/NF نوعا توسط دو عامل طبقه بندی می‌شود، جریان آب تصفیه شده ( تولیدی ) و کیفیت آن. این عوامل اغلب به آنالیز آب خوراک، فشار آن و مقدار بازیافت مربوط می‌گردد. هدف طراح سیستم RO/NF برای جریان معین و لازم آب تصفیه شده، به حداقل رساندن فشار خوراک و هزینه ممبرین جهت حداکثر نمودن کیفیت آب تصفیه شده و مقدار بازیافت می‌باشد. طراحی بهینه بستگی به اهمیت نسبی این اوضاع دارد. مقدار بازیافت سیستم‌های آب لب شور توسط حلالیت نمک‌های با قابلیت انحلال اندک محدود می‌شود. ( بخش ۴-۲ را ببینید، محاسبات مربوط به رسوب دهی ) – ۹۰٪ نزدیک به مقدار حداکثر می‌باشد. در نمک زدایی از آب دریا، در اثر فشار اسمزی جریان غلیظ شده، که به حد فشار فیزیکی المان آب دریا FILMTEC نزدیک است، مقدار بازیافت در حدود ۵۰٪ حاصل می‌شود. حصول دفع نمک مورد تقاضا، اصلی ترین مطلب در انتخاب ممبرین است. مدل‌های NF (NF90<NF200<NF270) ، آب لب شور (BW) ( انرژی بسیار کم (BW30>BW30L<(XLE)، SW ( آب دریا )، و SWHR ( آب دریا با دفع زیاد ) از ممبرین‌های NF FILMTEC و RO زیادترین دفع نمک را دارا می‌باشند، اما در شرایط یکسان نیاز به فشار خوراک بالاتری دارند.

بنابراین ممبرین‌های NF تا BW30LE نوعا برای آب‌های خوراک با مجموع جامدات حل شده (TDS) تا ۲۰۰۰ mg/l، BW30 تا ۱۰،۰۰۰ mg/l و SW و SWHR برای آب‌های خوراک با شوری بالا تا ۵۰،۰۰۰ mg/l به‌کار برده می‌شوند. کیفیت آب تصفیه شده برای شرایط عملیاتی داده شده، می‌تواند محاسبه گردد. فشار خوراک لازم برای کاهش شدت جریان آب تصفیه شده برای یک ممبرین معلوم، بستگی به شدت جریان آب تصفیه شده طراحی شده ( شدت جریان آب تصفیه شده در واحد سطح ممبرین ) دارد.

فشار خوراک بالاتر باعث شدت جریان زیادتر آب تصفیه شده در واحد سطح فعال ممبرین می‌شود. در

سیستم‌های مربوط به آب دریا، شدت جریان آب تصفیه شده به حداکثر فشار مجاز بستگی دارد. به هرحال، شدت جریان آب تصفیه شده در سیستم‌های مربوط به آب لب شور می‌تواند بسیار زیاد شود، بدون این‌که فشار به حد ۶۰۰ psi ( ۴۱ بار ) در المان‌های آب لب شور برسد. اگرچه مایلیم برای حداقل شدن هزینه المان‌های ممبرین، شدت جریان آب تصفیه شده را افزایش دهیم، اما برای حداقل شدن رسوب، شدت جریان باید محدود گردد.

به طور تجربی، حد شدت جریان استفاده شده در طراحی سیستم بستگی به تمایل آب خوراک برای رسوب گذاری دارد. سیستم طراحی شده با شدت جریان بالای آب تصفیه شده احتمالا دچار رسوب گذاری بیش‌تر و تعداد دفعات زیادتر شستشوی شیمیایی می‌شود. فقط از طریق تجربه می‌توان حدود شدت جریان آب تصفیه شده را برای انواع مختلف آب معین نمود.

وقتی که سیستم ممبرین برای آب خوراک معینی طراحی می‌شود، دانستن عملکرد دیگر سیستم‌های ممبرینی در حال کار در مورد آب‌های مشابه مفید می‌باشد. به‌هرحال، در اغلب موارد سیستم ممبرینی دیگری جهت مقایسه وجود ندارد. بنابراین نظریه‌های مربوط به طراحی سیستم در راهنمای طراحی برای المان‌های ۸ اینچ ( بخش ۱-۹-۳) و اندازه متوسط FILMTEC ( بخش ۲-۹-۳) در زیر آورده شده است.

اطلاعات مورد نیاز بیش‌تری جهت طراحی یک سیستم با استفاده از فرم‌های جدول ۱-۳ و ۲-۳ به خوبی جمع آوری می‌شود. تکمیل این اطلاعات باعث طراحی بهتر سیستم شده و می‌تواند نیازهای مشتری‌ها را بهینه سازی نماید.

جدول ۱-۳: اطلاعات طراحی سیستم

Quotation Number:..... Date Requested:.....
Date Submitted: ..... Requested By:.....

Customer/OEM: .....
Address:.....
Proposed Location: .....
Brief Description:.....
.....
.....

Required Product Flow Rate (gpd or $m^3/h$): .....
Expected Recovery:.....
Annual Water Temperature Range High °C:.....
Low °C:.....
Design °C: .....

NF/RO Plant: ❒Indoors ❒Outdoors

Designed for Continuous Use: ❒Yes ❒No
If not, state needed peak hourly capacity:.....

Plant Will Be Operated By: Enduser ❒Yes ❒No
Trained Personnel ❒Yes ❒No
Equipment Manufacturer ❒Yes ❒No
Others ❒Yes ❒No

Water Source: ❒ Well Water ❒Softened water
❒ Surface Water ❒Filtered Effluent Water
❒ Sea Water ❒Other

Existing Pretreatment ❒Yes ❒No SDI.....

List of Pretreatment Steps:.....
.....
Planned Pretreatment: .....

Bacterial Control: ❒Yes ❒No Dechlorination: ❒Ac-Filter
Chlorine Used ❒Yes ❒No ❒Na-Bisulfite
Chloramines Used: ❒Yes ❒No ❒Other
Antiscalant Used: ❒Yes ❒No Which One?.....

Desired Acidification: ❒HCl ❒$H_2SO_4$ ❒None

Brief Description of Other Pretreatment Steps: .....
(e.g., clarification, flocculation, multimedia/sand filtration, etc.....
.....

Application: ❒Potable Water
❒Industrial Supply for: ❒Boiler Feed ❒Pharma ❒Electronics ❒Other

Specify Water Quality Needed after RO Treatment: .....
.....

State Other Desired Design Criteria:.....
.....
.....

جدول ۲-۳: آنالیز آب برای اسمز معکوس / نانوفیلتر

Sample identification: .....
Feed source: .....
Conductivity: ..... pH: ..... Temperature (°C): .....

| Feed water analysis: | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Please indicate units (mg/L as ion or ppm as $CaCO_3$ or meq/L)* | $NH_4^+$ | ..... | $CO_2$ | ..... |
| | $K^+$ | ..... | $CO_3^{2-}$ | ..... |
| | $Na^+$ | ..... | $HCO_3^-$ | ..... |
| | $Mg^{2+}$ | ..... | $NO_3^-$ | ..... |
| | $Ca^{2+}$ | ..... | $Cl^-$ | ..... |
| | $Ba^{2+}$ | ..... | $F^-$ | ..... |
| | $Sr^{2+}$ | ..... | $SO_4^{2-}$ | ..... |
| | $Fe^{2+}$ | ..... | $PO_4^{2-}$ | ..... |
| | Fe (tot) | ..... | $S^{2-}$ | ..... |
| | $Mn^{2+}$ | ..... | $SiO_2$ (colloidal) | ..... |
| | Boron | ..... | $SiO_2$ (soluble) | ..... |
| | $Al^{3+}$ | ..... | | |

Other ions: .....

TDS (by method): .....
TOC: .....
BOD: .....
COD: .....
AOC .....
BDOC .....

Total alkalinity (m-value): .....
Carbonate alkalinity (p-value): .....
Total hardness: .....
Turbidity (NTU): .....
Silt density index (SDI): .....
Bacteria (count/mL): .....
Free chlorine: .....

Remarks: .....
(odor, smell, color, biological activity, etc.) .....
.....
.....

Analysis by: .....

Date: .....

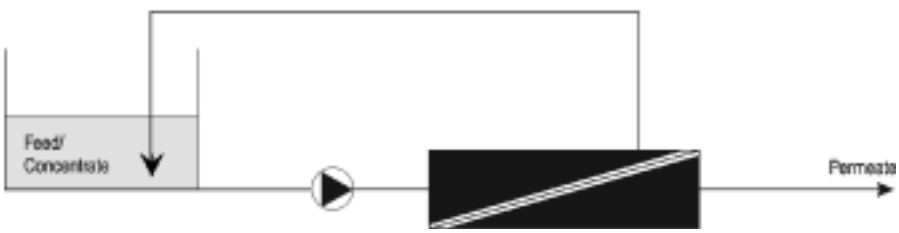
### ۳-۲ فرآیند ناپیوسته در برابر پیوسته

سیستم RO/NF معمولا برای عملیات پیوسته طراحی می‌گردد. شرایط عملیاتی المان هر ممبرین در تاسیسات با گذشت زمان ثابت می‌باشد. شکل ۱-۳ طرز کار فرآیند پیوسته را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۳: فرآیند پیوسته RO

در کاربردهای معین، زمانی که حجم‌های نسبتا کوچکی ( ناپیوسته ) از آب خوراک معین به طور ناپیوسته تولید می‌شوند، مانند محلول‌های فرآیند مربوط به پساب یا صنعتی، عملیات به طور ناپیوسته انجام می‌شود. آب خوراک در یک مخزن جمع شده و سپس تصفیه می‌گردد. آب تصفیه شده جدا شده و محلول غلیظ شده به مخزن برگشت داده می‌شود. در انتهای فرآیند ناپیوسته، حجم کوچکی از محلول غلیظ شده در مخزن خوراک باقی می‌ماند. بعد از انجام عمل تخلیه، قبل از این‌که مخازن دوباره برای مرحله بعد پر شوند، ممبرین‌ها تمیز می‌گردند. شکل ۲-۳ طرز کار عملیات ناپیوسته را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۳: فرآیند ناپیوسته RO




روش نیمه پیوسته، روش ناپیوسته‌ی اصلاح شده می‌باشد. در عملیات نیمه پیوسته (semi-batch) مخزن خوراک در طی انجام عمل بهره برداری با آب ورودی پر می‌شود. وقتی که مخزن خوراک با محلول غلیظ شده پر شد، این عمل خاتمه می‌یابد. بنابراین استفاده از مخازن کوچک‌تر میسر می‌شود.

معمولا در سیستم‌های ناپیوسته، تا زمان غلیظ شدن خوراک ورودی، فشار خوراک ثابت و جریان آب تصفیه شده کم می‌شود. راهنمای موجود در design guideline برای المان‌های FILMTEC ۸ اینچی ( بخش ۱-۹-۳ ) و اندازه متوسط ( بخش ۲-۹-۳) سیستم‌های ناپیوسته را به خوبی شرح داده است.

به هرحال، حدود جریان آب تصفیه شده با احتیاط تعیین شده است و چنان‌چه توسط آزمایش‌های مقدماتی مجاز تشخیص داده شود و تعداد شستشوها نیز مناسب باشد، شدت جریان باید افزایش یابد.

فرآیند ناپیوسته نسبت به فرآیند پیوسته دارای مزایای زیر می‌باشد:

ـ انعطاف پذیری در مقابل تغییرات کیفی آب ورودی .

ـ باز یافت سیستم می‌تواند مرحله به مرحله زیاد شود.

ـ تجهیزات ساده برای شستشو.

ـ کنترل‌های اتوماتیک ساده.

ـ کیفیت آب تصفیه شده می‌تواند در انتهای فرآیند کنترل شود.

ـ کیفیت آب تصفیه شده توسط تصفیه دو مرحله ای کلی یا جزئی بهبود می‌یابد.

ـ شرایط مساعد بهره برداری برای سیستم‌های تک المان (یا کم المان)؛ زیرا ممبرین‌ها فقط برای مدت کوتاهی با محلول غلیظ شده نهایی در تماس هستند.

ـ توسعه‌ی نسبتا آسان.

ـ کاهش هزینه و سرمایه گذاری کم‌تر.

معایب عبارتند از:

ـ جریان ناپیوسته آب تصفیه شده.

ـ کیفیت متغیر آب تصفیه شده.

ـ نیاز به مخزن بزرگ.

ـ استفاده از انرژی بیش‌تر.

ـ زمان اقامت طولانی تر برای خوراک / محلول غلیظ شده.

ـ هزینه اجرائی کل، زیادتر.

اکثر سیستم‌های RO برای عملیات پیوسته با جریان آب تصفیه شده و مقدار بازیافت ثابت طراحی می‌شوند. تغییرات دمایی آب خوراک و تاثیرات رسوب گذاری با تنظیم فشار خوراک جبران می‌شود. بنابراین در این دستورالعمل به فرآیند پیوسته توجه شده است.

### ۳-۳ سیستم تک مدولی

یک مدول شامل یک لوله تحت فشار با هشت المان ممبرین است که به طور سری به هم وصل شده اند. محلول غلیظ شده از اولین المان، به عنوان خوراک وارد بخش دوم شده و این کار ادامه می‌یابد. لوله‌های مربوط به محصول در تمام المان‌ها با یکدیگر جفت شده و به بخش مربوط به آب تصفیه شده (permeate port) متصل می‌شوند. این قسمت در بخش انتهایی مربوط به خوراک یا محلول غلیظ شده در مدول قرار می‌گیرد. سیستم‌های تک مدولی زمانی انتخاب می‌شوند که فقط یک یا چند المان ممبرین برای جریان معینی از آب تصفیه شده لازم باشد. شکل ۳-۳ یک مدول شامل دو المان FILMTEC را نشان می‌دهد. آب خوراک پس از گذشتن از شیر ورودی وارد سیستم شده و بعد از عبور از فیلتر کارتریج به پمپ فشار قوی وارد می‌شود. توانایی متناوب جهت کنترل فشار خروجی پمپ در بخش ۱-۱۳-۳ توضیح داده می‌شود. (پمپ فشار قوی)

آب خوراک از پمپ فشار قوی در بخش مربوط به اتصالات ورودی مدول جریان می‌یابد. جریان آب تولید شده باید مدول را با فشار کمتر از ۵ psi ( ۰/۳ بار ) بیش از فشار اتمسفری ترک نماید. به هرحال، بعضی مواقع جهت وارد شدن آب تولیدی به بخش بعد از تصفیه یا توزیع آن بدون استفاده از پمپ کردن، فشار آب تصفیه شده باید زیادتر شود. سپس باید فشار خوراک تا رسیدن به فشار مورد نیاز جهت آب تصفیه شده زیاد شود، اما حداکثر فشار تعیین شده برای خوراک باید در نظر گرفته شود. در این حالت، توجه زیادی

باید اعمال شود، زیرا همیشه، مخصوصا در موقع خاموش کردن‌های اضطراری، فشار آب نفوذ کرده بیش از ۵ psi (۰/۳ بار ) از فشار خوراک بیش‌تر نمی‌باشد. حداکثر فشار مجاز آب تصفیه شده بستگی به کیفیت لوله تحت فشار دارد.

محلول غلیظ شده از طریق اتصالات مخصوص با فشاری معادل فشار خوراک خارج می‌گردد. معمولا بر حسب تعداد المان‌های ممبرین، سرعت جریان خوراک و درجه حرارت، فشار بین ۵ الی ۳۰ psi ( ۰/۳ الی ۲ بار ) از بخش ورودی خوراک تا خروجی مربوط به محلول غلیظ شده کاهش پیدا می‌کند. سرعت جریان غلیظ شده توسط شیر کنترل جریان مربوطه، کنترل می‌گردد. مقدار بازیافت سیستم توسط این شیر کنترل گردیده و نباید بیش از مقدار طراحی شده باشد.

در سیستم‌های تک مدولی، با جریان برگشتی محلول غلیظ شده، معمولا باید موارد مطرح شده در مورد باز یافت المان را رعایت نمود. جهت رسیدن به مقدار بازیافت بیش از ۵۰٪ بخشی از محلول غلیظ شده که از مدول خارج شده است، تخلیه می‌شود تا زمانی که دیگر قسمت‌ها به سمت قسمت مکش پمپ فشار قوی برگشت داده شده و افزوده گردند. بنابراین شدت جریان خوراک مدول افزایش می‌یابد. کسر بزرگی از محلول غلیظ شده برگشتی سبب کم شدن مقدار بازیافت المان شده و بنابراین خطر رسوب گرفتگی وجود دارد. به عبارت دیگر، اشکالات زیر موجود می‌باشند:

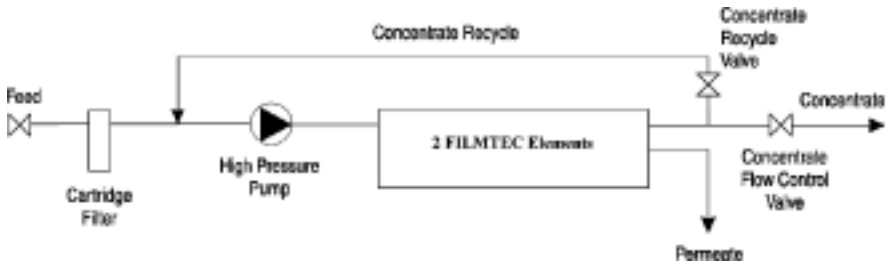
ـ پمپ فشار قوی بزرگ‌تر (گران‌تر) .

ـ مصرف انرژی بیش‌تر.

ـ کاهش کیفیت آب تصفیه شده با برگشت بیش‌تر محلول غلیظ شده و افزوده شدن آن به آب خوراک.

ـ طولانی شدن زمان شستشو در شروع کار پس از نگه‌داری یا انجام شستشو، ترجیحا محلول غلیظ شده نباید در طی مدت آب‌کشی برگشت داده شود.

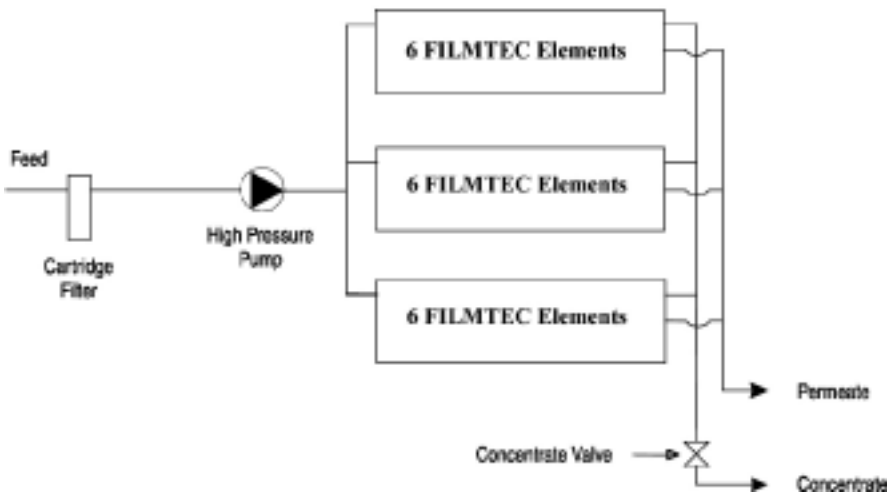
شکل ۳-۳: سیستم تک مدولی




### ٤-۳ سیستم تک مرحله ای

در سیستم تک مرحله ای، دو یا چند مدول به طور موازی قرار می‌گیرند. لوله‌های مربوط به خوراک، آب تولید شده و محلول غلیظ شده به لوله‌های چند شاخه ای متصل می‌شوند. دیگر جوانب سیستم همانند سیستم تک مدولی می‌باشد. سیستم‌های تک مرحله ای نوعا زمانی استفاده می‌شوند که مقدار بازیافت سیستم کم‌تر از ۵۰٪ باشد مانند نمک زدایی از آب دریا. مثالی از سیستم تک مرحله ای در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. هر کدام از سه لوله تحت فشار دارای محفظه ای با گنجایش شش المان FILMTEC می‌باشند.

شکل ۴-۳: سیستم تک مرحله ای

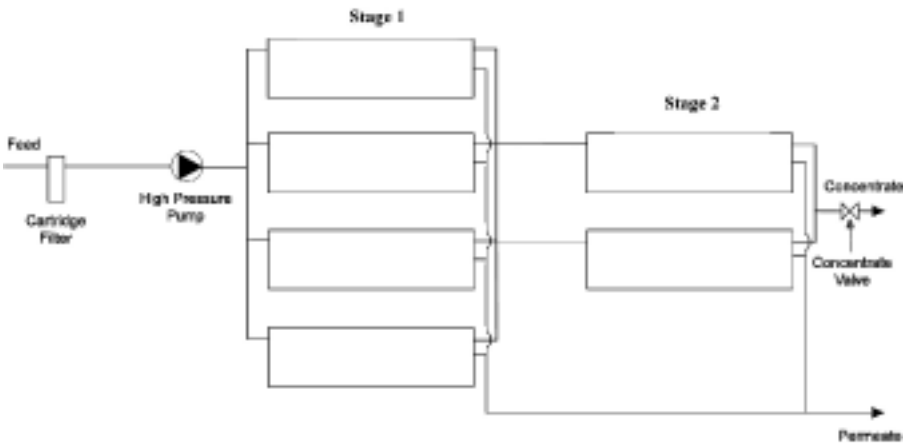


### ۵-۳ سیستم چند مرحله ای

سیستم‌هایی که با بیش از یک مرحله برای رسیدن به مقادیر بازیافت بالاتر، بدون فراتر رفتن از مقدار حد بازیافت تک المانی، استفاده می‌شوند، چند مرحله ای نامیده می‌شوند. معمولا استفاده از دو مرحله برای رسیدن به مقدار بازیافت تا ۷۵٪ کافی می‌باشد و برای رسیدن به مقدار بازیافت‌های بیش‌تر از سه مرحله استفاده می‌شود. این اعداد با فرض این‌که از لوله‌های تحت فشاری با شش المان استفاده شود، به دست آمده اند. برای محفظه‌های لوله‌های کوتاه‌تر، مثلا فقط با سه المان، تعداد مراحل برای رسیدن به مقدار بازیافت یکسان، باید دو برابر شود. عموما، برای مقدار بازیافت بالاتر، به تعداد بیش‌تری المان سری ممبرینی احتیاج است. برای جبران آب تصفیه شده ی حذف شده و برای حفظ یک‌نواختی جریان خوراک در هر مرحله، تعداد لوله‌های تحت فشار باید در مسیر جریان خوراک کاهش یابند.

یک سیستم دو مرحله ای با استفاده از نسبت مرحله ای ۱: ۲ در شکل ۵-۳ نشان داده شده است. نسبت لوله‌های تحت فشار در دو مرحله ی مجاور، لوله‌های تحت فشار مربوط به جریان بالایی: لوله‌های تحت فشار مربوط به جریان پایینی، نسبت مرحله ای نامیده می‌شود.

شکل ۵-۳: سیستم دو مرحله ای



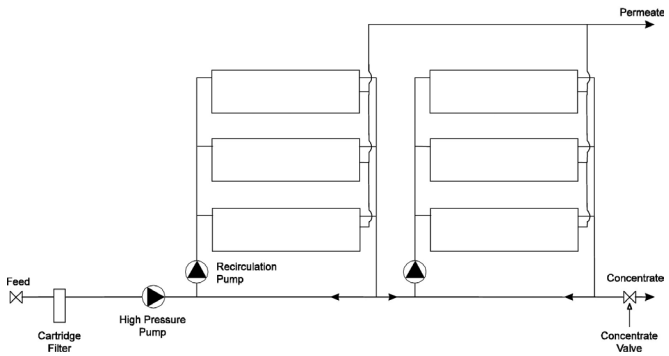
### ۳-۶ برگشت جریان plug بر حسب جریان غلیظ شده

طراحی استاندارد سیستم RO برای مصارف نمک زدایی از آب در بر گیرنده مفهوم جریان plug می‌باشد. در سیستمی‌با جریان پلاگ، حجم خوراک به یک‌باره از میان سیستم عبور می‌کند. کسر معین Y از خوراک عبوری، از میان ممبرین می‌گذرد تا آب تصفیه شده تولید شود. خوراک به تدریج غلیظ می‌شود و از سیستم با غلظت بالاتری خارج می‌گردد. مثال‌هایی از سیستم‌های با جریان پلاگ در شکل‌های ۱-۳ و ۴-۳ و ۵-۳ نشان داده شده است.

برگشت محلول غلیظ شده زمانی انجام می‌شود که تعداد المان‌ها جهت رسیدن به مقدار بازیافت بالای سیستم توسط جریان پلاگ بسیار کم باشد. سیستم‌های با جریان برگشتی محلول غلیظ شده می‌توانند کاربردهای خاصی داشته باشند، مانند فرآیندهای مایع و پساب. در سیستم‌هایی با برگشت داخلی محلول غلیظ شده، کسری از جریان غلیظ شده خارج از مدول ( یا مرحله ) به سمت قسمت مربوط به خوراک مدول ( یا مرحله ) برگشت داده می‌شود و با جریان خوراک مخلوط می‌گردد. شکل ۳-۳ سیستمی‌با برگشت درونی محلول غلیظ شده را نشان می‌دهد.

سیستم‌های چند مرحله ای می‌توانند با برگشت داخلی محلول غلیظ شده برای هر مرحله و با استفاده از پمپ برگشتی جداگانه، طراحی شوند. مثلا سیستم نشان داده شده در شکل ۵-۳ می‌تواند با برگشت محلول غلیظ شده به‌جای جریان پلاگ، طراحی شود، شکل ۶-۳ را ببینید.

شکل ۶-۳: سیستم دو مرحله ای با برگشت داخلی محلول غلیظ شده



مزیت اصلی نظریه برگشت، شدت جریان خوراک تعریف شده بدون در نظر گرفتن مدول‌ها از نظر شدت رسوب گیری مدول‌های قبلی و تغییرات ترکیب آب خوراک می‌باشد. فرآیند ناپیوسته در برابر پیوسته در بخش ۳-۳، و سیستم تک مدولی در بخش ۲-۳، به جوانب بیش‌تر نظریه برگشتی اشاره می‌کند. خلاصه ای از موارد فوق در جدول ۳-۳ آمده است.

جدول ۳-۳: مقایسه ای برای سیستم با جریان پلاگ و سیستم‌های برگشتی

| Parameter | Plug flow | Recirculation |
|---|---|---|
| Feed composition | Must be constant | Can vary |
| System recovery | Must be constant | Can vary |
| Cleaning circuit | More complicated | Simple |
| Compensating fouling | More difficult | Easy |
| Membrane pressure from feed inlet to concentrate end | Decreasing | Uniform |
| Power consumption | Lower | Higher (15 - 20%) |
| Number of pumps (investment, maintenance) | Lower | Higher |
| Extension, varying the membrane area | More difficult | Easy |
| Taking individual stages of multi-stage systems in/out of service | Not possible | Possible |
| System salt passage | Lower | Higher |

عبور ظاهری نمک در سیستم، $SP_s$، عبور نمک سیستم نامیده می‌شود و عبارت است غلظت یک ترکیب ( می‌تواند یک یون مشخص، یک ترکیب آلی یا TDS باشد ) در آب تصفیه شده ($C_p$) نسبت به غلظت آن در آب خوراک ($C_f$):

معادله (۱)
$$SP_s = \frac{C_P}{C_f}$$

در سیستم‌های با جریان پلاگ، $SP_s$ کسری از بازیافت سیستم $Y$ و عبور نمک در ممبرین $SP_M$ می‌باشد:

معادله (۲)
$$SP_S = \frac{1-(1-Y)^{SP_M}}{Y}$$

که عبور نمک ممبرین عبارت است از غلظت یک ترکیب در آب تصفیه شده ($C_p$) نسبت به غلظت متوسط آن در بخش خوراک – محلول غلیظ شده ($C_{fc}$):

معادله (۳)
$$SP_M = \frac{C_P}{C_{fC}}$$

به‌هرحال، در سیستم‌هایی با برگشت درونی محلول غلیظ شده، یک تابع اضافی به نام عدد بتا $\beta$ وجود دارد

که چنین تعریف می‌شود:

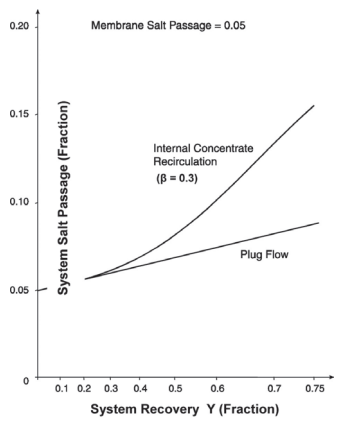
معادله (۴)
$$\beta = \frac{\text{شدت جریان آب تصفیه شده که از مدول خارج می‌شود}}{\text{شدت جریان غلیظ شده که از مدول خارج می‌شود}}$$

برای سیستم‌هایی که بخشی از محلول غلیظ شده به جریان خوراک برگشت داده می‌شود، عبور نمک سیستم چنین تعریف می‌شود:

معادله (۵)
$$SP_S = \frac{(1+\beta)^{SP_M} - 1}{Y(1+\beta)^{SP_M} - Y(1+\beta) + \beta}$$

برای مقادیر زیاد بازیافت سیستم، عبور نمک سیستم در یک سیستم برگشتی بیش‌تر از مقداری است که در سیستم با جریان پلاگ وجود دارد. با محاسبه ای ساده می‌توان این مطلب را اثبات نمود، شکل ۷-۳ را ببینید. به‌هرحال، برای سیستم‌های چند مرحله ای با دوره‌های برگشتی در هر مرحله، تفاوت اندک می‌باشد. عبور نمک سیستم از چنین سیستمی( برای مثال شکل ۶-۳ را ببینید )، توسط معادله (۵) برای هر مرحله محاسبه می‌شود.

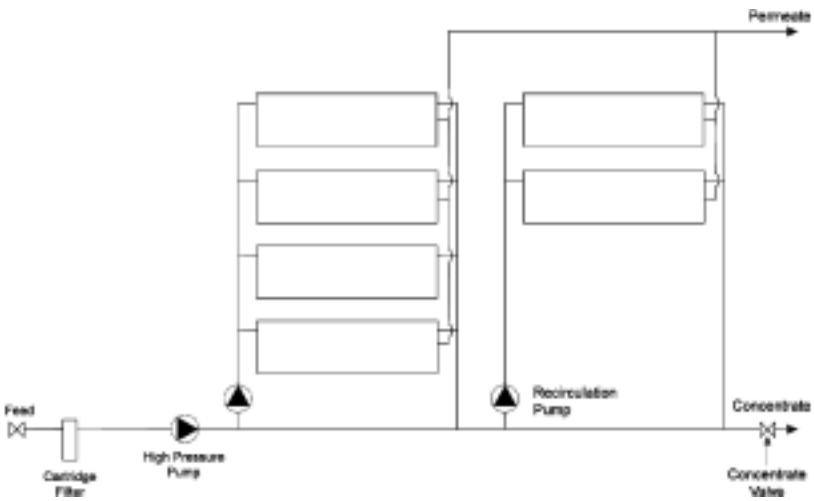
شکل ۷-۳: عبور نمک سیستم برای جریان پلاگ و سیستم برگشتی محلول غلیظ شده



وقتی که جریان محلول غلیظ شده ی برگشتی به صفر نزدیک می‌شود، عدد $\beta$ به مقدار $\frac{1}{\frac{1}{Y}-1}$ می‌رسد

و سیستم برگشتی تبدیل به سیستم با جریان پلاگ می‌شود. قرارداد بین جریان پلاگ و سیستم‌های برگشتی چنین است که وقتی به ظاهر مسیر خوراک دقت می‌شود، سیستم برگشتی کاهنده ای با تعداد رو به کاهش مدول‌های موازی در هر مرحله دیده می‌شود. تا زمانی که بخش بزرگی از محلول غلیظ شده به مرحله بعدی جریان یابد، پمپ برگشتی می‌تواند به گونه ای عمل کند که تنها بخش کوچکی از محلول غلیظ شده ی خارج شده از آن مرحله، برگشت داده شود. سپس، شرایط مانند جریان پلاگ بوده، اما مزایای نظریه برگشتی را نیز دارا می‌باشد.

شکل ۸-۳: سیستم برگشتی کاهنده



### ۳-۷ سیستم نفوذ مرحله ای

سیستم با نفوذ مرحله ای به دلایل زیر در نظر گرفته می‌شود:

ـ کیفیت استاندارد آب تصفیه شده رضایت بخش نباشد.

ـ استفاده از مرحله بعد از تصفیه با روش تبادل یونی امکان پذیر نباشد ( به جهت مراحل احیای شیمیایی )

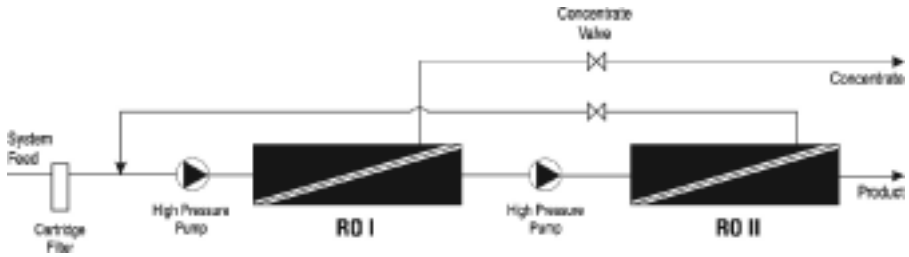
ـ دفع باکتری، مواد قابل اشتعال و آلی بسیار اهمیت داشته باشد.

ـ قابلیت اطمینان بالا.

نوعی کاربرد جهت سیستم‌های نفوذ مرحله ای، تولید آب برای استفاده در صنایع دارویی و پزشکی است. سیستم نفوذ مرحله ای تلفیقی از دو سیستم RO/NF است که آب تصفیه شده حاصل از اولین سیستم ( اولین گذر ) به عنوان خوراک برای دومین سیستم ( دومین گذر ) مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر دو سیستم RO/NF با استفاده از جریان پلاگ، یا جریان برگشتی محلول غلیظ شده، باید از نوع تک مرحله ای یا چند مرحله ای باشند.

شکل ۹-۳ نمودار جریانی سیستم RO با نفوذ مرحله ای را نشان می‌دهد. محلول غلیظ شده حاصل از RO II به سمت ورودی RO I برگشت داده می‌شود زیرا کیفیت آن معمولا بهتر از آب خوراک سیستم می‌باشد. به علت این‌که آب خوراک ورودی به RO II دارای کیفیت بالایی است ( آب تصفیه شده RO)، RO II می‌تواند برای مقدار بازیافت بالاتری نسبت به RO I و با تعداد المان‌های ممبرینی کم‌تری طراحی شود. ( بخش ۹-۳ را ببینید، راهنمای طراحی سیستم ممبرین )

شکل ۹-۳: سیستم نفوذ مرحله ای



به‌جای استفاده از پمپ فشار قوی جداگانه برای مرحله دوم، تمام سیستم می‌تواند با یک پمپ فشار قوی کار کند و حداکثر فشار مجاز خوراک مهیا شده برای المان ممبرین افزایش پیدا نمی‌کند. ( ۶۰۰ psi ( ۴۱ بار ) برای المان‌های BW)

گذر دوم با استفاده از فشار معکوس آب تصفیه شده حاصل از RO I کار می‌کند. برای حداکثر فشار معکوس مجاز جهت آب تصفیه شده، به بخش ۲-۱۳-۳، لوله‌های تحت فشار، مراجعه فرمائید. در مورد افزایش پیدا نکردن فشار معکوس آب تصفیه شده بیش از ۵ psi ( ۰/۳ بار ) نسبت به فشار خوراک، باید دقت به عمل آورد. باید از یک مخزن آب جهت جمع آوری آب تصفیه شده حاصل از اولین گذر استفاده نمود. این مخزن باید به دقت در مقابل گرد و خاک و آلوده کننده‌های میکروبیولوژیکی حفاظت شود.

هدایت الکتریکی در بسیاری از حالات مهم‌ترین عامل کیفیت در مورد آب تولید شده می‌باشد. از آن‌جاکه ممبرین مانع از عبور کربن دی اکسید نمی‌شود، این ماده در آب تولید شده وجود دارد، که باعث تولید اسید کربونیک شده و سبب افزایش هدایت الکتریکی می‌شود. با تنظیم pH آب ورودی به RO I بر روی ۸/۲، عبور کربن دی اکسید می‌تواند متوقف گردد. در این pH، بخش اعظمی‌از کربن دی اکسید به کربنات هیدروژن تبدیل می‌شود که ممبرین به خوبی می‌تواند مانع از عبور آن شود. هیدروکسید سدیم ( سود سوز آور، NaOH ) می‌تواند هم به آب تصفیه شده حاصل از RO I و هم به خوراک RO II تزریق شود. اگر pH آب ورودی به RO I بهینه باشد، به بهترین هدایت الکتریکی در مورد آب تولید شده می‌توانیم دست پیدا کنیم.

این مطلب اشاره به این دارد که پتانسیل رسوب دهی کربنات کلسیم در pH بین ۸/۲ تا ۸/۵ تحت کنترل است. بنابراین نظر، هدایت الکتریکی نوعا کم‌تر از ۱ µs/cm می‌شود. معمولا مقدار بازیافت RO I توسط پتانسیل رسوب دهی آب خوراک محدود می گردد، اما مقدار بازیافت RO II برای کاهش هزینه‌های سیستم می‌تواند در حدود ۹۰ الی ۹۵٪ باشد. به عبارت دیگر مقدار بازیافت متعادل تر برای RO II نسبت به هزینه بیش‌تر اولین گذر، به بالا رفتن کیفیت آب تولیدی کمک می‌کند. ( که باعث افزایش شدت جریان غلیظ شده حاصل از RO II می‌شود. )

### ۸-۳ احتمالات در طراحی‌های خاص

تعدادی احتمالات ویژه جهت طراحی برای نیازهای خاص وجود دارد:

۱) بهبود کیفیت محصول:

ـ استفاده جزئی یا کامل از المان‌های آب دریا برای آب لب شور جهت خوراک

ـ استفاده از المان‌های آب دریا در یک یا دو مرحله از سیستم نفوذ مرحله ای

ـ بازگشت آب تصفیه شده حاصل از آخرین مرحله به خوراک

۲) افزایش مقدار بازیافت سیستم:

ـ پس از پیش تصفیه‌ی مخصوص، محلول غلیظ شده به دومین سیستم به عنوان خوراک وارد می‌شود.

۳) به دست آوردن مقدار بازیافت بالا و جریان یکنواخت آب تصفیه شده از هر المان با استفاده از آب خوراک با شوری متوسط.

ـ استفاده از بوستر پمپ بین مراحل برای جبران افزایش فشار اسمزی.

ـ استفاده از کم کردن فشار معکوس آب تصفیه شده از مرحله اول تا آخرین مرحله.

ـ استفاده از طراحی سیستم هیبرید ( با جنس مخالف ) با ممبرین‌های نفوذ ناپذیر در برابر هوا (tighter) در اولین و دومین مرحله، مانند ممبرین BW30 در اولین مرحله و ممبرین XLE در مرحله دوم.

۴) تولید کیفیت متفاوت از آب تصفیه شده:

ـ جدا کردن آب‌های تصفیه شده حاصل از مراحل مختلف؛ آب تصفیه شده حاصل از مرحله‌ی اول بهترین کیفیت را دارد، مخصوصا وقتی که اولین مرحله توسط ممبرین‌های با دفع زیاد تجهیز شده باشد.

۵) کاهش ظرفیت تاسیسات برای حصول کیفیت مورد نیاز آب تصفیه شده:

ـ مخلوط نمودن آب تصفیه شده با آب خوراک

۶) پیش بینی توسعه بعدی سیستم:

ـ استفاده از فضای آزاد در لوله تحت فشار(فضای المان برای تعویض آن )

ـ طراحی نگه دارنده مدول برای استقرار لوله‌های تحت فشار زیادتر

### ۹-۳ راهنمای طراحی سیستم ممبرین

عاملی که بیش‌ترین تاثیر را بر روی طراحی سیستم ممبرین دارد، تمایل به رسوب دهی آب خوراک می‌باشد. رسوب گذاری در ممبرین توسط مواد ذره ای یا کلوئیدی موجود در آب خوراک انجام می‌شود که در سطح ممبرین تجمع می‌کنند. مقدار شاخص SDI در مورد آب خوراکی که از پیش تصفیه عبور کرده است، به روشنی به مقدار مواد رسوب کرده موجود بستگی دارد. غلظت مواد رسوبی در سطح ممبرین با افزایش شدت جریان آب تصفیه شده ( شدت جریان آب تصفیه شده در واحد سطح ممبرین ) و افزایش مقدار بازیافت المان FILMTEC ( نسبت شدت جریان آب تصفیه شده به شدت جریان خوراک برای یک المان ) زیاد می‌شود. بنابراین سیستمی‌با شدت جریان زیاد آب تصفیه شده، احتمالا شدت رسوب دهی زیادتر و تعداد دفعات شستشوی شیمیایی بیش‌تری را تجربه می‌کند.

طراحی یک سیستم ممبرینی باید به گونه ای باشد که در آن هر المان از سیستم در قالبی از شرایط عملیاتی توصیه شده کار کند تا شدت رسوب دهی کم شده و آسیب به ممبرین وارد نشود. این شرایط عملیاتی برای المان توسط حداکثر مقدار بازیافت، حداکثر شدت جریان آب تصفیه شده، حداقل شدت جریان غلیظ شده و حداکثر شدت جریان خوراک در هر المان، محدود می‌گردد. محدودیت این عوامل باعث تمایل بیش‌تر آب خوراک به رسوب دهی می‌شود. حدود مورد نظر در کتابچه‌های راهنما آورده شده است که بر اساس سال‌ها

تجربه در مورد ممبرین‌های FILMTEC گرد آوری شده اند. شدت جریان متوسط ورودی به سیستم، مانند شدت جریان آب تصفیه شده از سیستم که بستگی به مجموع سطح فعال ممبرین در سیستم دارد، عدد اختصاصی یک طرح می‌باشد. شدت جریان سیستم عدد مفیدی برای تخمین سریع تعداد المان‌های لازم جهت یک پروژه ی جدید می‌باشد. سیستم‌هایی که بر اساس آب‌های خوراک با کیفیت بالا مورد بهره برداری قرار می‌گیرند، با استفاده از شدت جریان‌های پایین طراحی شده اند.

به هرحال، در گروه‌های یکسانی از آب خوراک، بر حسب اهمیت حداقل شدن سرمایه اولیه یا حداقل شدن هزینه‌های طولانی مدت بهره برداری، سیستم‌ها با شدت جریان‌های زیادتر یا کم‌تری طراحی می‌شوند.

محدودیت مقادیر مربوط به شدت جریان در جدول زیر آورده شده است، که این اعداد مربوط به اکثریت سیستم‌ها می‌باشند اما منظور محدود کردن آن‌ها نمی‌باشد.

یک فرآیند RO/NF پیوسته طراحی شده بر اساس راهنمای طراحی سیستم با یک طراحی خوب و سیستم پیش تصفیه در حال بهره برداری، عملکرد ثابتی را با استفاده از چهار مرتبه شستشو در سال با کارکرد استاندارد نشان می‌دهد. با گذر از حدود توصیه شده، تعداد شستشوها بیش‌تر شده، ظرفیت کاهش می‌یابد، فشار خوراک زیاد شده و طول عمر ممبرین کاهش می‌یابد. تا آن‌جاکه محدودیت‌های فیزیکی – حداکثر افت فشار و حداکثر فشار خوراک – زیاد نشود، تخطی اندک از این حدود برای مدت زمان کوتاه پذیرفتنی می‌باشد. به عبارت دیگر، پیش بینی تمایل سیستم به رسوب گذاری و طراحی آن عبارت است از اعمال محدودیت‌های سخت گیرانه که باعث از بین بردن مشکل در بهره برداری از سیستم و افزایش طول عمر ممبرین می‌شود.

### ۱-۹-۳ راهنمای طراحی سیستم ممبرین برای المان‌های FILMTEC ۸ اینچی

جدول زیر راهنمای طراحی سیستم‌های RO با المان‌های FILMTEC ۸ اینچی بر طبق نوع آب ورودی می‌باشد.

جدول ۴-۳: راهنمای طراحی برای المان‌های FILMTEC ۸ اینچی در مورد کاربردهای تصفیه‌ی آب

| Feed source | | RO Permeate | Well Water | Surface Supply | | Wastewater (Filtered Municipal Effluent) | | Seawater | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | MF[1] | Conventional | Well or MF[1] | Open intake |
| Feed silt density index | | SDI < 1 | SDI < 3 | SDI < 3 | SDI < 5 | SDI < 3 | SDI < 5 | SDI < 3 | SDI < 5 |
| Average | gfd | 21-25 | 16-20 | 13-17 | 12-16 | 10-14 | 8-12 | 8-12 | 7-10 |
| system flux | l/m²h | 36-43 | 27-34 | 22-29 | 20-27 | 17-24 | 14-20 | 13-20 | 11-17 |
| Maximum element recovery % | | 30 | 19 | 17 | 15 | 14 | 12 | 15 | 13 |
| **Active Membrane Area** | | **Maximum permeate flow rate, gpd (m³/d)** | | | | | | | |
| 320 ft² elements | | 9,000 (34) | 7,500 (28) | 6,500 (25) | 5,900 (22) | 5,300 (20) | 4,700 (18) | 6,700 (25) | 6,100 (23) |
| 365 ft² elements | | 10,000 (38) | 8,300 (31) | 7,200 (27) | 6,500 (25) | 5,900 (22) | 5,200 (20) | | |
| 380 ft² elements | | 10,600 (40) | 8,600 (33) | 7,500 (28) | 6,800 (26) | 5,900 (22) | 5,200 (20) | 7,900 (30) | 7,200 (27) |
| 390 ft² elements | | 10,600 (40) | 8,900 (34) | 7,700 (29) | 7,000 (26) | 6,300 (24) | 5,500 (21) | | |
| 400 ft² elements | | 11,000 (42) | 9,100 (34) | 7,900 (30) | 7,200 (27) | 6,400 (24) | 5,700 (22) | | |
| 440 ft² elements | | 12,000 (45) | 10,000 (38) | 8,700 (33) | 7,900 (30) | 7,100 (27) | 6,300 (24) | | |
| **Element type** | | **Minimum concentrate flow rate[2], gpm (m³/h)** | | | | | | | |
| BW elements (365 ft²) | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 16 (3.6) | 18 (4.1) | | |
| BW elements (400 ft² and 440 ft²) | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 18 (4.1) | 20 (4.6) | | |
| NF elements | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 18 (4.1) | 18 (4.1) | | |
| Full-fit elements | | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | | |
| SW elements | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 16 (3.6) | 18 (4.1) | 13 (3.0) | 15 (3.4) |
| **Element type** | **Active area ft² (m²)** | **Maximum feed flow rate[2], gpm (m³/h)** | | | | | | | |
| BW elements | 365 (33.9) | 65 (15) | 65 (15) | 63 (14) | 58 (13) | 52 (12) | 52 (12) | | |
| BW or NF elements | 400 (37.2) | 75 (17) | 75 (17) | 73 (17) | 67 (15) | 61 (14) | 61 (14) | | |
| BW elements | 440 (40.9) | 75 (17) | 75 (17) | 73 (17) | 67 (15) | 61 (14) | 61 (14) | | |
| Full-fit elements | 390 (36.2) | 85 (19) | 75 (17) | 73 (17) | 67 (15) | 61 (14) | 61 (14) | | |
| SW elements | 320 (29.7) | 65 (15) | 65 (15) | 63 (14) | 58 (13) | 52 (12) | 52 (12) | 63 (14) | 56 (13) |
| SW elements | 380 (35.3) | 72 (16) | 72 (16) | 70 (16) | 64 (15) | 58 (13) | 58 (13) | 70 (16) | 62 (14) |

[1] MF: Microfiltration - continuous filtration process using a membrane with pore size of <0.5 micron.

[2] The maximum recommended pressure drop across a single element is 15 psid (1bar) or 50 psid (3.5 bar) across multiple elements in a pressure vessel, whichever value is more limiting. We recommend designing at maximum of 80% (12 psid) for any element in a system.

Note: The limiting values listed above have been incorporated into the ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) software. Designs of systems in excess of the guidelines results in a warning on the ROSA printout.

### ۳-۹-۲ راهنمای طراحی جهت برای المان‌های FILMTEC با اندازه متوسط

جدول زیر راهنمای طراحی سیستم‌های RO با المان‌های FILMTEC ۲/۵ و ۴ اینچی برای صنایع نوری و تجاری کوچک می‌باشد.

سیستم‌های مربوط به صنایع سبک موجود در جدول ۵-۳ همانند سیستم‌های بزرگ، در طی چند سال عملکرد ثابتی دارند. این سیستم‌ها از نوع سیستم‌های آزمایشی بزرگ با عملکرد پیوسته، CIP راحت و بدون ( یا کمی) برگشت محلول غلیظ شده می‌باشند. طول عمر مورد انتظار برای ممبرین بیش از ۳ سال است.

جدول ۵-۳: راهنمای طراحی برای المان‌های FILMTEC در صنایع سبک و آب دریای کوچک

| Feed source | | RO Permeate | Well Water | Surface Supply | | Wastewater (Filtered Municipal Effluent) | | Seawater | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | MF[1] | Conventional | Well or MF[1] | Open intake |
| Feed silt density index | | SDI < 1 | SDI < 3 | SDI < 3 | SDI < 5 | SDI < 3 | SDI < 5 | SDI < 3 | SDI < 5 |
| Average | gfd | 21-25 | 16-20 | 13-17 | 12-16 | 10-14 | 8-12 | 8-12 | 7-10 |
| system flux | l/m²h | 36-43 | 27-34 | 22-29 | 20-27 | 17-24 | 14-20 | 13-20 | 11-17 |
| Maximum element recovery % | | 30 | 19 | 17 | 15 | 14 | 12 | 15 | 13 |
| **Active Membrane Area** | | **Maximum permeate flow rate, gpd (m³/d)** | | | | | | | |
| 320 ft² elements | | 9,000 (34) | 7,500 (28) | 6,500 (25) | 5,900 (22) | 5,300 (20) | 4,700 (18) | 6,700 (25) | 6,100 (23) |
| 365 ft² elements | | 10,000 (38) | 8,300 (31) | 7,200 (27) | 6,500 (25) | 5,900 (22) | 5,200 (20) | | |
| 380 ft² elements | | 10,600 (40) | 8,600 (33) | 7,500 (28) | 6,800 (26) | 5,900 (22) | 5,200 (20) | 7,900 (30) | 7,200 (27) |
| 390 ft² elements | | 10,600 (40) | 8,900 (34) | 7,700 (29) | 7,000 (26) | 6,300 (24) | 5,500 (21) | | |
| 400 ft² elements | | 11,000 (42) | 9,100 (34) | 7,900 (30) | 7,200 (27) | 6,400 (24) | 5,700 (22) | | |
| 440 ft² elements | | 12,000 (45) | 10,000 (38) | 8,700 (33) | 7,900 (30) | 7,100 (27) | 6,300 (24) | | |
| **Element type** | | **Minimum concentrate flow rate[2], gpm (m³/h)** | | | | | | | |
| BW elements (365 ft²) | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 16 (3.6) | 18 (4.1) | | |
| BW elements (400 ft² and 440 ft²) | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 18 (4.1) | 20 (4.6) | | |
| NF elements | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 18 (4.1) | 18 (4.1) | | |
| Full-fit elements | | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | 25 (5.7) | | |
| SW elements | | 10 (2.3) | 13 (3.0) | 13 (3.0) | 15 (3.4) | 16 (3.6) | 18 (4.1) | 13 (3.0) | 15 (3.4) |
| **Element type** | **Active area ft² (m²)** | **Maximum feed flow rate[2], gpm (m³/h)** | | | | | | | |
| BW elements | 365 (33.9) | 65 (15) | 65 (15) | 63 (14) | 58 (13) | 52 (12) | 52 (12) | | |
| BW or NF elements | 400 (37.2) | 75 (17) | 75 (17) | 73 (17) | 67 (15) | 61 (14) | 61 (14) | | |
| BW elements | 440 (40.9) | 75 (17) | 75 (17) | 73 (17) | 67 (15) | 61 (14) | 61 (14) | | |
| Full-fit elements | 390 (36.2) | 85 (19) | 75 (17) | 73 (17) | 67 (15) | 61 (14) | 61 (14) | | |
| SW elements | 320 (29.7) | 65 (15) | 65 (15) | 63 (14) | 58 (13) | 52 (12) | 52 (12) | 63 (14) | 56 (13) |
| SW elements | 380 (35.3) | 72 (16) | 72 (16) | 70 (16) | 64 (15) | 58 (13) | 58 (13) | 70 (16) | 62 (14) |

[1] MF: Microfiltration - continuous filtration process using a membrane with pore size of <0.5 micron.

[2] The maximum recommended pressure drop across a single element is 15 psid (1bar) or 50 psid (3.5 bar) across multiple elements in a pressure vessel, whichever value is more limiting. We recommend designing at maximum of 80% (12 psid) for any element in a system.

Note: The limiting values listed above have been incorporated into the ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) software. Designs of systems in excess of the guidelines results in a warning on the ROSA printout.

در جدول ۶-۳، سیستم‌های تجاری کوچکی آورده شده اند که نوعا بین ۱ تا ۶ المان داشته و به‌طور مرتب تعویض یا شستشو می‌شوند ( در پایان هر نیم سال یا هر سال ) یا کاهش عملکرد در آنها قابل قبول می‌باشد. طول عمر مورد انتظار المان بیش از ۳ سال نمی‌باشد. این یک راه حل ارزان قیمت و فشرده برای سیستم‌های با عملکرد متناوب می‌باشد.

جدول ۶-۳: راهنمای طراحی برای المان‌های FILMTEC در کاربردهای تجاری کوچک

| Feed source | RO permeate | Softened Municipal | Well water | Surface or Municipal Water |
|---|---|---|---|---|
| Feed silt density index | SDI < 1 | SDI < 3 | SDI < 3 | SDI < 5 |
| Typical target flux, gfd (l/m²h) | 30 (51) | 30 (51) | 25 (42) | 20 (34) |
| **Maximum element recovery %** | 30 | 30 | 25 | 20 |
| **Maximum permeate flow rate, gpd (m³/d)** | | | | |
| 2.5-inch diameter | 1,100 (4.2) | 1,100 (4.2) | 900 (3.4) | 700 (2.7) |
| 4.0-inch diameter | 3,100 (11.7) | 3,100 (11.7) | 2,600 (9.8) | 2,100 (7.9) |
| **Minimum concentrate flow rate[1], gpm (m³/h)** | | | | |
| 2.5-inch diameter | 0.5 (0.11) | 0.5 (0.11) | 0.7 (0.16) | 0.7 (0.16) |
| 4.0-inch diameter | 2 (0.5) | 2 (0.5) | 3 (0.7) | 3 (0.7) |

| Element type | Active area ft² (m²) | Maximum feed flow rate U.S. gpm (m³/h) | Maximum pressure drop per element[1] psig (bar) | Maximum feed pressure psig (bar) |
|---|---|---|---|---|
| Tape-wrapped 2540 | 28 (2.6) | 6 (1.4) | 13 (0.9) | 600 (41) |
| Fiberglased 2540 | 28 (2.6) | 6 (1.4) | 15 (1.0) | 600 (41) |
| Seawater 2540 | 29 (2.7) | 6 (1.4) | 13 (0.9) | 1,000 (69) |
| Tape-wrapped 4040 | 87 (8.1) | 14 (3.2) | 13 (0.9) | 600 (41) |
| TW30-4040 | 82 (7.6) | 14 (3.2) | 13 (0.9) | 600 (41) |
| Fiberglassed 4040 | 82 (7.6) | 16 (3.6) | 15 (1.0) | 600 (41) |
| SW Fiberglassed 4040 | 80 (7.4) | 16 (3.6) | 15 (1.0) | 1,000 (69) |

[1] We recommend that the pressure drop for new/clean elements be at least 20% below the maximum.

Note: The limiting values listed above have been incorporated into the ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) software. Designs of systems in excess of the guidelines results in a warning on the ROSA printout.

### ۳-۱۰ مراحل طراحی سیستم ممبرین

طراحی سیستم ممبرین شامل مراحل زیر می‌باشد:

**مرحله ۱: منبع خوراک، کیفیت خوراک، شدت جریان خوراک ـ آب تصفیه شده و کیفیت لازم برای آب تولیدی را در نظر بگیرید:**

طراحی سیستم ممبرین به آب خوراک موجود و نوع کاربرد آن بستگی دارد. بنابراین ابتدا باید اطلاعات طراحی سیستم را مطابق با جدول ۱-۳ و آنالیز آب خوراک را مطابق با جدول ۲-۳ جمع آوری نمایید.

**مرحله ۲: شکل جریان و تعداد گذرها را انتخاب کنید:**

شکل استاندارد جریان برای فرآیند نمک زدایی از آب، جریان پلاگ می‌باشد، زیرا حجم خوراک به یک‌باره از میان سیستم عبور می‌کند. برگشت محلول غلیظ شده برای سیستم‌های کوچک‌تر که در موارد تجاری استفاده می‌شوند و نیز سیستم‌های بزرگ‌تری که تعداد المان آن‌ها برای رسیدن به مقدار بازیافت بالا با

استفاده از جریان پلاگ کافی نیست، عمومیت دارد. سیستم‌های با جریان برگشتی غلیظ شده در موارد خاصی مانند فرآیندهای مربوط به مایعات و پساب استفاده می‌شوند. معمولا یک سیستم RO برای بهره برداری پیوسته طراحی می‌شود و شرایط عملیاتی برای هر المان ممبرین موجود در تاسیسات با زمان ثابت است. به هرحال، در کاربردهای معین، عملیات ناپیوسته نیز استفاده می‌شود مانند تصفیه پساب یا فرآیند مربوط به محلول‌های صنعتی، که حجم‌های نسبتا کم ( مرحله ای ) از آب خوراک به‌طور ناپیوسته خارج می‌شوند. آب خوراک در یک مخزن جمع آوری می‌شود و سپس به‌طور متناوب تصفیه می گردد. حالت نیمه پیوسته، اصلاح شده ی حالت ناپیوسته می‌باشد، که در آن مخزن خوراک با آب ورودی در طی مدت بهره برداری دوباره پر می‌شود. بخش ۲-۳، فرآیند ناپیوسته در برابر پیوسته را ببینید.

سیستم نفوذ مرحله ای ( با دو گذر ) از دو سیستم RO متداول تشکیل شده است که در آن آب تصفیه شده حاصل از اولین سیستم ( اولین گذر ) وارد سیستم دوم ( دومین گذر ) می‌شود. هر دو سیستم می‌توانند از نوع تک مرحله ای یا چند مرحله ای، با جریان پلاگ یا با جریان برگشتی غلیظ شده باشند. سیستم‌های نفوذ مرحله ای برای تولید آب جهت موارد داروسازی و پزشکی کاربرد دارد. سیستم تبادل یونی می‌تواند جایگزین گذر دوم باشد.

**مرحله ۳: نوع المان ممبرین را انتخاب کنید:**

المان‌ها بر حسب شوری آب خوراک، تمایل به رسوب دهی آب خوراک، دفع نمک مقتضی و تجهیزات مربوط به انرژی، انتخاب می‌شوند. اندازه استاندارد قطر المان برای سیستم‌های بزرگ‌تر از ۱۰ gpm ( ۲/۳ $m^3/h$) ۸ اینچ و طول آن برابر با ۴۰ اینچ می‌باشد. المان‌های کوچک‌تر برای سیستم‌های کوچک‌تر استفاده می‌شوند.

خواص المان‌های FILMTEC و کاربردهای ویژه ی آن‌ها در بخش ۸-۱ توضیح داده شده است، خواص المان. راهنمای انتخاب محصول Interactive product selection guide برای محدوده ی

کاربردهای مختلف در وب سایت ما موجود می‌باشد.

برای کاربردهایی که به آب با کیفیت بالا نیاز دارند و در آن‌ها شوری آب تولید شده باید بسیار کم باشد، از رزین‌های تبادل یونی برای نرم کردن آب تصفیه شده حاصل از RO استفاده می‌شود.

**مرحله ٤: شدت جریان متوسط ممبرین را انتخاب کنید:**

شدت جریان طراحی( f) را بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی، تجربیات مشتری یا شدت جریان‌های طراحی بر حسب منابع آب ورودی موجود در بخش ۹-۳، راهنمای طراحی سیستم ممبرین، بر حسب gfd یا $l/m^2.h$ انتخاب نمایید.

**مرحله ٥: تعداد المان‌های مورد نیاز را محاسبه کنید:**

شدت جریان آب تصفیه شده طراحی شده (QP) را بر شدت جریان طراحی، f، و بر مساحت سطح ممبرین المان انتخاب شده $S_E$ ($ft^2$ یا $m^2$ ) تقسیم کرده تا تعداد المان‌های $N_E$ بدست آید:

معادله (۶)
$$N_E = \frac{Q_P}{f.S_E}$$

**مرحله ٦: تعداد لوله‌های تحت فشار مورد نیاز را محاسبه کنید:**

تعداد المان‌ها $N_E$ را به تعداد المان‌ها در لوله تحت فشار $N_{EPV}$ تقسیم کرده تا تعداد لوله‌های تحت فشار بدست آید $N_V$ - به عدد صحیح نزدیک گرد کنید. برای سیستم‌های بزرگ، لوله‌های تحت فشار ۴ المانی استاندارد هستند اما لوله‌های تحت فشاری تا ۸ المان نیز موجود می‌باشند. برای سیستم‌های کوچک‌تر و یا فشرده، لوله‌های کوتاه‌تر باید انتخاب شوند.

معادله (۷)
$$N_V = \frac{N_E}{N_{EPV}}$$

اگرچه موارد ذکر شده در بخش‌های زیر برای تمام سیستم‌ها به کار برده می‌شود، اما کاربرد ویژه ی آن‌ها

برای سیستمهای ۸ اینچی با تعداد بیش‌تری المان و لوله تحت فشار می‌باشد، که به روشی معین در کنار هم قرار می‌گیرند. برای حفظ مقدار شدت جریان عبوری از میان کانال‌های مربوط به خوراک آب نمک، در سیستم‌های کوچک با یک یا چند المان، المان‌ها به صورت سری با جریان برگشتی غلیظ شده نصب می‌شوند.

**مرحله ۷: تعداد مراحل را انتخاب کنید:**

تعداد مراحل بیان کننده این مطلب است که خوراک از چند لوله تحت فشار سری شده عبور می‌کند تا از سیستم به عنوان محلول غلیظ شده خارج شود. هر مرحله شامل تعداد معینی لوله تحت فشار موازی است. تعداد مراحل تابعی از مقدار بازیافت طراحی شده، تعداد المان‌ها در لوله تحت فشار، و کیفیت آب خوراک می‌باشد. مقدار زیادتر بازیافت برای سیستم و کیفیت پایین تر آب خوراک و طولانی تر بودن سیستم، باعث افزایش المان‌های سری شده می‌باشد. مثلا، سیستمی‌با ۴ لوله تحت فشار ۶ المانی در اولین مرحله و ۲ لوله تحت فشار ۶ المانی در مرحله دوم، ۱۲ المان سری شده دارد. سیستمی‌با ۳ مرحله و لوله‌های تحت فشار ۴ المانی با چیدمان ۲: ۳: ۴، ۱۲ المان سری دارد. نوعا، تعداد وضعیت‌های ردیفی المان با بازیافت سیستم ارتباط دارد و تعداد مراحل برای سیستم‌های آب لب شور در جدول ۷-۳ و برای سیستم‌های آب دریا در جدول ۸-۳ نشان داده شده است.

جدول ۷-۳: تعداد مراحل برای سیستم آب لب شور

| System recovery (%) | Number of serial element positions | Number of stages (6-element vessels) |
|---|---|---|
| 40 - 60 | 6 | 1 |
| 70 - 80 | 12 | 2 |
| 85 - 90 | 18 | 3 |

اگر در سیستم‌های تک مرحله ای از برگشت محلول غلیظ شده استفاده شود، می‌توان به بازیافت بیش‌تری رسید. بازیافت در سیستم‌های آب دریا نسبت به سیستم‌های آب لب شور کم‌تر است. تعداد مراحل بستگی به بازیافت موجود در جدول ۸-۳ دارد.

جدول ۸-۳: تعداد مراحل برای سیستم آب دریا

| System recovery (%) | Number of serial element positions | Number of stages (6-element vessels) | Number of stages (7-element vessels) | Number of stages (8-element vessels) |
|---|---|---|---|---|
| 35 - 40 | 6 | 1 | 1 | — |
| 45 | 7 - 12 | 2 | 1 | 1 |
| 50 | 8 - 12 | 2 | 2 | 1 |
| 55 - 60 | 12 - 14 | 2 | 2 | — |

**مراحل ۸: نسبت مرحله ای را انتخاب کنید:**

نسبت تعداد لوله‌های تحت فشار در مراحل متوالی، نسبت مرحله ای RO، نامیده می‌شود.

$$R= \frac{R_V(i)}{N_V(i+1)}$$

برای سیستم‌هایی با ۴ لوله تحت فشار در اولین مرحله و دو لوله تحت فشار در دومین مرحله نسبت مرحله ای ۱: ۲ می‌باشد. یک سیستم سه مرحله ای با ۴، ۳ و ۲ لوله تحت فشار در اولین، دومین و سومین مرحله، دارای نسبت مرحله ای ۲: ۳: ۴ می‌باشد. در سیستم‌های آب لب شور، نسبت مرحله ای بین دو مرحله متوالی معمولا نزدیک به ۱: ۲ برای لوله‌های تحت فشار ۶ المانی و کم‌تر از آن برای لوله‌های کوتاه‌تر است. در سیستم‌های دو مرحله ای آب دریا با لوله‌های تحت فشار ۶ المانی، نسبت مرحله ای ۲: ۳ می‌باشد. مرحله ایده آل یک سیستم آن چنان است که هر مرحله با کسر یکسانی از بازیافت سیستم کار کند و تمام لوله‌های تحت فشار دارای تعداد برابری المان باشند. نسبت مرحله ای R برای سیستمی با n مرحله و بازیافت Y ( به عنوان کسر ) چنین محاسبه می‌شود:

$$R= \left[\frac{1}{(1-Y)}\right]^{\frac{1}{n}}$$

تعداد لوله‌های تحت فشار در اولین مرحله $N_V(1)$ می‌تواند با نسبت مرحله ای R برای تعداد کل لوله‌های تحت فشار $N_V$ محاسبه شود.

برای یک سیستم دو مرحله ای (n=2) و یک سیستم سه مرحله ای (n=3)، تعداد لوله‌های تحت فشار در اولین مرحله:

برای n=2:

$$N_{V(1)} = \frac{N_V}{1+R^{-1}}$$

برای n=3:

$$N_{V(1)} = \frac{N_V}{1+R^{-1}+R^{-2}}$$

و...

تعداد لوله‌های تحت فشار در مرحله دوم $N_{V(2)} = \frac{N_V(1)}{R}$ می‌باشد. مورد دیگری که برای انتخاب چیدمان معینی از لوله‌های تحت فشار موثر است، شدت جریان خوراک برای لوله تحت فشار اولین مرحله و سرعت جریان غلیظ شده در مرحله آخر می‌باشد. شدت جریان خوراک و سرعت جریان غلیظ شده در سیستم معلوم می‌باشد ( از طریق شدت جریان آب تصفیه شده و مقدار بازیافت ). سپس تعداد لوله‌های تحت فشار در اولین مرحله برای ایجاد نسبت شدت جریان خوراک در محدوده ۳۵ تا ۵۵ gpm (۸ الی ۱۲ $m^3/h$) در لوله ۸ اینچی باید انتخاب گردد. هم‌چنین تعداد لوله‌های تحت فشار در آخرین مرحله باید به گونه ای انتخاب گردد که سرعت جریان غلیظ شده تولیدی بیش‌تر از حداقل ۱۶ gpm ( ۳/۶ $m^3/h$ ) شود. راهنمای شدت جریان برای المان‌های مختلف در بخش ۹-۳، راهنمای طراحی سیستم ممبرین، آورده شده است.

**مرحله ۹: شدت جریان آب تصفیه شده را موازنه کنید:**

شدت جریان آب تصفیه شده برای المان‌های انتهایی در سیستم ( المان‌هایی که در انتهای مسیر محلول غلیظ شده قرار گرفته اند ) به طور عادی کم‌تر از شدت جریان المان‌های جلویی می‌باشد. این امر در نتیجه افت فشار مسیر خوراک - آب نمک اتفاق می‌افتد و سبب افزایش فشار اسمزی از سمت خوراک به طرف محلول غلیظ شده می‌شود و تحت شرایط معین، نسبت شدت جریان آب تصفیه شده المان جلویی و المان انتهایی می‌تواند بسیار زیاد باشد:

- مقدار بازیافت بالای سیستم
- شوری زیاد خوراک

ـ فشار پایین ممبرین‌ها

ـ درجه حرارت بالای آب

ـ ممبرین‌های جدید

هدف از یک طرح خوب، ایجاد موازنه برای شدت جریان‌ها در المان‌ها در محل‌های متفاوت می‌باشد. این مطلب می‌تواند توسط عوامل زیر تحقق یابد:

- تقویت فشار خوراک بین مراحل: برای استفاده جهت بازدهی انرژی ترجیح داده می‌شود.
- ایجاد فشار معکوس برای آب تصفیه شده فقط برای اولین مرحله از سیستم دو مرحله ای: کاهش هزینه‌های سیستم پیشنهاد دیگر می‌باشد.
- سیستم هیبرید: استفاده از ممبرین‌هایی با قابلیت نفوذ بالا برای آب در محل‌های ابتدایی و ممبرین‌هایی با قابلیت نفوذ زیادتر در محل‌های انتهایی: مثلا ممبرین‌های مخصوص آب دریا با دفع بالا در اولین مرحله و ممبرین‌های مخصوص آب دریا با قابلیت تولید زیاد در دومین مرحله از سیستم RO قرار داده شود. برای موازنه جریان و روش تعیین آن به ROSA جهت آنالیز سیستم نیاز داریم.

**مرحله ۱۰: سیستم انتخاب شده باید توسط برنامه کامپیوتری ROSA آنالیز و شفاف سازی شود: (Reverse Osmosis System Analysis)**

مثال:

- مخزن خوراک: آب لب شور فراهم آمده از طریق منابع سطحی، SDI<5
- شدت جریان لازم جهت آب تصفیه شده = ۱۳۲ gpm (۷۲۰ $m^3/d$ )
- از لوله‌های تحت فشار ۶ المانی استفاده شود.

۱) آب لب شور حاصل از منابع سطحی با SDI<5 ؛

شدت جریان کل آب تصفیه شده = ۱۳۲ gpm (۷۲۰ $m^3/d$ )

۲) جریان پلاگ را انتخاب کنید.

۳) BW30-365( المان BW با سطح فعال ممبرینی ۳۶۵ $ft^2$ ( ۳۳/۹ $m^2$ )

۴) شدت جریان متوسط برای خوراک آب سطحی با SDI<5

15gpm (25 l/m/h)= توصیه شده است.

۵) تعداد کل المان‌ها = $\frac{(132gpm)(1440gpd/gpm)}{(15gfd)(365ft^2)} = 35$

یا : $\frac{(720m^3/d)(41.67l/h)(m^3/d)}{(33.9m^2)(25l/m^2/h)} = 35$

۶) تعداد کل لوله‌های تحت فشار = 35.6 = 5.83 = 6

۷) تعداد مراحل برای لوله‌های تحت فشار ۶ المانی و بازیافت ٪75 = 2

۸) نسبت مرحله ای انتخاب شده: 1: 2. نسبت مرحله ای متناسب = 2: 4.

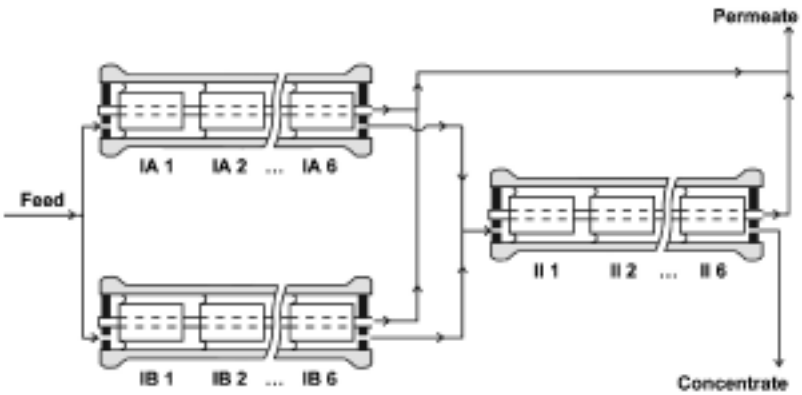
۹) انتخاب سیستم باید توسط آنالیز شدن با برنامه کامپیوتری ROSA انجام شود. این برنامه فشار خوراک و کیفیت آب تصفیه شده در سیستم را در تمام المان‌ها در طی مدت بهره برداری محاسبه می‌کند. بهینه کردن طراحی سیستم توسط عوض کردن اعداد و نوع المان‌ها و چیدمان آن‌ها آسان می‌باشد.

## ۳-۱۱ طرح عملکرد سیستم

### ۳-۱۱-۱ خواص عملیاتی سیستم

قبل از این‌که طرح عملکرد سیستم اجرا شود، شخص باید با خواص عملیاتی سیستم کاملا آشنا باشد. با استفاده از یک مثال، این امر روشن خواهد گردید. شکل ۳-۱۰ یک سیستم دو مرحله ای با لوله‌های تحت فشار ۶ المانی را با استفاده از نسبت مرحله ای ۱: ۲ نشان می‌دهد.

شکل ۱۰-۳: وضعیت دو مرحله ای برای المان‌های مارپیچی RO/NF




سیستم‌های دو مرحله ای با لوله‌های تحت فشار ۶ المانی به طور موثر از ۱۲ المان مارپیچی سری شده استفاده می‌کنند و عموما قابلیت کار کردن در شدت بازیافت کلی ۵۵ تا ۷۵٪ را دارا هستند. برای چنین سیستم‌هایی شدت بازیافت میانگین در هر المان بین ۷ تا ۱۲٪ تغییر می‌کند. کار با یک سیستم دو مرحله ای با مقدار بازیافت کلی بیش از ۷۵٪ سبب افزایش یافتن مقدار بازیافت هر المان از حداکثر مقدار نشان داده شده در بخش ۹-۳، راهنمای طراحی سیستم ممبرین، می‌شود. این امر باعث می‌شود که برای رسیدن مقدار بازیافت میانگین به مقادیر کم‌تر، از مرحله دوم با ۱۸ المان سری شده استفاده شود. اگر سیستم دو مرحله ای با مقدار بازیافت بسیار کمی‌مورد بهره برداری قرار گیرد (کم‌تر از ۵۵٪)، شدت جریان خوراک ورودی به اولین مرحله از لوله‌های تحت فشار، بسیار زیاد می‌شود و سبب افزایش افت فشار در قسمت خوراک – محلول غلیظ شده و نیز پتانسیل آسیب رسیدن به ممبرین می‌گردد. به عنوان مثال، در یک المان FILMTEC ۸ اینچی بنا بر منبع آب، شدت جریان ماکزیمم در حدود ۵۰ تا ۷۰ gpm (۱۱ تا ۱۶ $m^3/h$) می‌باشد. اطلاعات بیش‌تر در بخش ۹-۳، راهنمای طراحی سیستم ممبرین، موجود است.

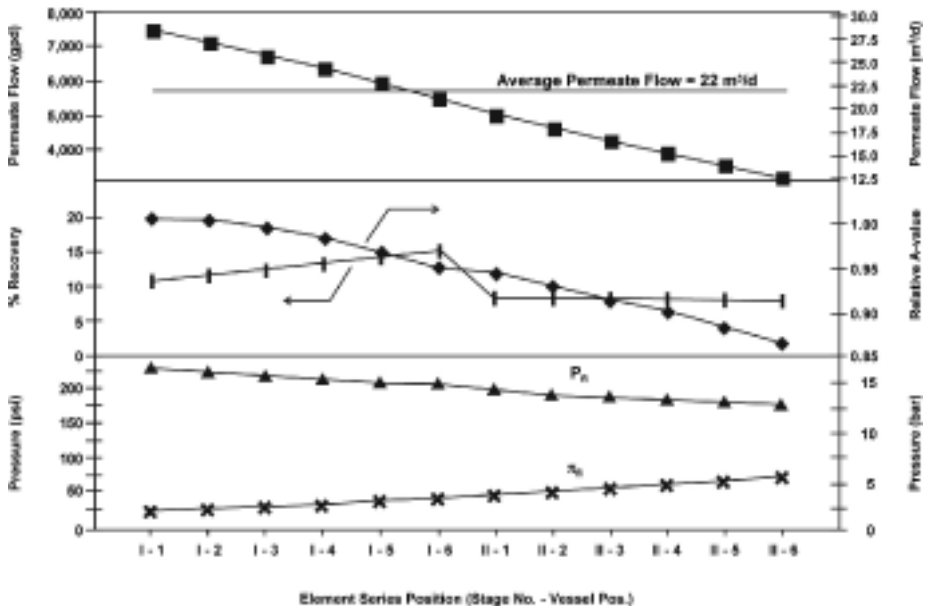
به عنوان نتیجه، سیستم‌هایی که مقدار بازیافت کم‌تر از ۵۰٪ دارند، ترکیب یک مرحله ای دارند. حداکثر شدت جریان‌های در نظر گرفته شده می‌تواند برای نسبت مرحله ای محدودیت ایجاد کند. سیستم‌هایی با نسبت

مرحله ای بزرگ‌تر از ۱: ۳ غیر محتمل هستند. وقتی یک المان RO شروع به کار می‌کند، متغیرهای عملیاتی به سرعت اندازه گیری می‌شوند و عملکرد آن به آسانی تصحیح می‌گردد. وقتی تعداد بیش‌تری از المان‌ها در سیستمی‌با چند مرحله با یکدیگر ترکیب شوند، ( مانند ترکیب المان‌ها به طور موازی و سری ) فقط شکل و متغیرهای عملیاتی ورودی معلوم هستند، و پیش بینی عملکرد سیستم بسیار مشکل است. فشار خوراک و غلظت نمک برای هر المان سری شده تغییر می‌کند. شدت و اندازه این تغییرات فقط بستگی به شرایط ورودی و بازیافت کلی ندارد بلکه به ترکیب مراحل نیز وابسته است مانند نسبت (های ) مرحله ای.

شکل ۱۱-۳ طبیعت دینامیک پیش بینی عملکرد سیستم را بر اساس مجموع عملکرد هر المان در سیستم نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که چگونه عوامل عملیاتی ۵ المان مختلف در ۱۲ محلی که به صورت سری با آرایش ۱: ۲ در ۶ لوله تحت فشار ۶ المانی قرار گرفته اند، تغییر می‌کنند. چنین سیستمی‌با مقدار بازیافت ۷۵٪ و در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با فشار اسمزی خوراک ۲۰ psi ( ۱/۴ بار که با TDS خوراک برابر با ۲۰۰۰ mg/l مطابق است ) کار می‌کند. فشار ورودی خوراک آن‌چنان تنظیم شده است که اولین المان BW ۷۵۰۰ gpd ( ۲۸/۴ $m^3/d$ ) تولید داشته باشد، حداکثر شدت جریان آب تصفیه شده برای این المان خاص بر اساس سیستم آب چاه با SDI خوراک کم‌تر از ۳ تولید می‌گردد.

بخش بالایی و سوم شکل ۱۱-۳ شدت جریان‌های آب تصفیه شده برای هر المان را نشان می‌دهد که به طور یک‌نواختی با عبور از ترکیب سری شده از ۷۵۰۰ gpd ( ۲۸/۴ $m^3/d$) در اولین المان در مرحله نخست به تقریبا ۳۳۰۰ gpd ( ۱۲/۵ $m^3/d$) در آخرین المان از مرحله دوم کاهش پیدا می‌کنند. شدت جریان متوسط آب تصفیه شده در المان ۵۸۰۰ gpd (۲۲ $m^3/d$) یا ۷۷٪ برای ماکزیمم مجاز می‌باشد.

شکل ۱۱-۳: عملکرد هر المان در سیستم با آرایش ۱: ۲ با المان‌های ۸ اینچی BW30 ( به‌طور مثال )




شدت جریان آب تصفیه شده کاهش می‌یابد زیرا مقدار فشار محرک، $\Delta P - \Delta\pi$ به طور یک‌نواخت کم می‌شود. ( $\Delta P$ اختلاف فشار بین طرف خوراک و طرف آب تصفیه شده در ممبرین است ؛ $\Delta\pi$ اختلاف فشار اسمزی بین هر دو طرف است ). این مطلب در دو منحنی پایینی شکل مشخص است. منحنی بالایی نشان می‌دهد که فشار خوراک ورودی برای هر المان ($P_{fi}$) تا رسیدن به فشار مربوط به جریان غلیظ شده چگونه کاهش می‌یابد. منحنی پایینی نشان می‌دهد هم‌چنان‌که آب تصفیه شده بدون نمک ( تقریبا بدون نمک ) به طور تصاعدی توسط جریان بالایی از هر المان خارج می‌شود و غلظت غلیظ شده باقی‌مانده به‌طور ثابت افزایش می‌یابد، فشار اسمزی خوراک ورودی نیز برای هر المان ($\pi_{fi}$) زیاد می‌شود. اختلاف بین دو منحنی فشار به‌طور قابل توجهی با فشار محرک آب تصفیه شده است.

بخش میانی شکل ۱۱-۳ دو نکته مهم را نشان می‌دهد. قسمت سمت چپ نشان می‌دهد که چگونه مقدار بازیافت برای هر المان در ۱۲ المان متوالی سری شده تغییر می‌کند. بین اولین و دومین مرحله یک شکست

اتفاق می‌افتد. عموما نمودار بازیافت در هر دو مرحله افزایش می‌یابد اما این امر در مرحله اول بیش‌تر رخ می‌دهد. طراح سیستم، با استفاده از برنامه کامپیوتری، باید مشخص کند که بازیافت المان آخر در اولین مرحله از حد تعیین شده فراتر نمی‌رود. هم‌چنان‌که مقدار بازیافت المان افزایش می‌یابد، فشار اسمزی موثر که sees نامیده می‌شود، زیاد می‌شود تا غلظت دو قطبی شود. چنان‌چه این مانع افزایش یابد شدت جریان آب تصفیه شده کم شده و باعث ایجاد رسوب در ممبرین می‌شود.

منحنی دیگر در بخش میانی شکل ۱۱-۳ ( سمت راست ) رخداد جالبی را در ممبرین FILMTEC نشان می‌دهد. این منحنی نشان می‌دهد که ضریب نفوذ آب در ممبرین، یا مقدار A، با غلظت نمک نسبت عکس دارد، در شوری بالاتر کم و در شوری پایین تر زیاد می‌شود. در این مثال، در المان‌های ۱۲ تایی سری شده، نفوذ آب تقریبا ۱۵٪ کاهش پیدا کرده است. اگر بخواهیم یک طرح دقیق برای شدت جریان آب تصفیه شده در سیستم داشته باشیم باید این مطلب در نظر گرفته شود.

### ۲-۱۱-۳ پارامترها و معادلات طراحی

عملکرد یک سیستم RO مشخص توسط فشار خوراک آن ( یا شدت جریان آب تصفیه شده، چنان‌چه فشار خوراک مشخص شده باشد ) و مقدار عبور نمک معین می‌گردد. در ساده ترین حالت، شدت جریان آب تصفیه شده Q از میان یک ممبرین RO به طور مستقیم با مساحت سطح خیس شده S ضرب در مقدار فشار محرک ($\Delta P - \Delta \pi$) متناسب است. ثابت تناسب، ضریب نفوذ ممبرین یا مقدار A است. معادله نفوذ آب به این شکل می‌باشد:

$$Q = (A)(S)(\Delta P - \Delta \pi) \qquad \text{معادله (۸)}$$

نمک به‌واسطه خاصیت نفوذ عبور می‌کند، بنابراین شدت عبور نمک $N_A$ با اختلاف غلظت نمک بین دو طرف ممبرین متناسب است. ثابت تناسب، ضریب نفوذ نمک یا مقدار B می‌باشد.

$$N_A = B\,(C_{fc} - C_P) \qquad \text{معادله (۹)}$$

که:

$C_{fc}$ = غلظت متوسط خوراک – محلول غلیظ شده

$C_P$ = غلظت آب تصفیه شده

اساسا برای محاسبه عملکرد یک طرح خاص دو روش وجود دارد: " المان به المان " و " کل سیستم ".

**المان به المان:**

این روش دقیق ترین نوع محاسبه است. این روش برای محاسبه دستی خسته کننده بوده، اما برای محاسبات کامپیوتری مناسب می‌باشد. تمام شرایط عملیاتی برای اولین المان باید معلوم باشد، مانند فشار خوراک. سپس شدت جریان، فشار و... برای محلول غلیظ شده ای که به عنوان خوراک وارد المان دوم می‌شود، می‌تواند محاسبه گردد. پس از محاسبه ی نتایج برای تمام المان‌ها، فشار خوراک اولیه باید زیاد یا کم شود تا فرآیند سعی و خطا با فشار جدید شروع گردد. با استفاده از برنامه کامپیوتری ROSA ، نتایج درست می‌توانند به سرعت به دست آیند. از این برنامه برای اصلاح و بهینه سازی طراحی سیستم RO یا NF استفاده می‌شود. از این‌رو روش محاسبه برای کل سیستم در این قسمت توضیح داده نمی‌شود. هم‌چنین محاسبه کامپیوتری به گونه المان به المان نیز آورده نمی‌شود. به هرحال، معادلات و پارامترهای حاکم در جدول ۹-۳ آمده است. برای تعیین مقادیر $A$، $\Delta P$، و $\Delta \pi$ در معادله ۸، معادله نفوذ آب، تا معادله ۱۰ ادامه می‌یابد. غلظت آب تصفیه شده می‌تواند از معادله ۹ تا معادله ۱۹ به‌دست آید. معادلات طراحی در جدول ۹-۳ فهرست شده اند، تعاریف نشانه‌ها در جدول ۱۱-۳ آمده است. زیر نویس $i$ در معادلات جدول ۹-۳ نشان می‌دهد که این معادلات برای المان $i$ ام در توالی $n$ المان به شکل جریان سری به‌کار برده می‌شوند. برای تعیین دقیق عملکرد سیستم، معادله ۱۰ به‌طور متوالی با شروع از شرایط ورودی، برای هر یک از $n$ المان حل می‌شود. راه حل‌ها بستگی به موازنه جرم نمک ( معادله ۱۴ ) و آب ( معادله ۱۹) در اطراف هر المان دارد، و نیز پارامترهای هر المان مانند مقاومت در برابر جریان در طرف محلول غلیظ شده، $\Delta P_{fc}$ ( معادله c ۲۷)، ضریب تصحیح

دما برای آب قابل نفوذ، TFC ( معادله ۱۶)، عامل قطبیت $P_{fi}$ ( معادله ۱۷ ) و ضریب قابلیت نفوذ ممبرین برای آب $A_i(\pi_i)$ ( معادله ۲۸) با هم ارتباط دارند، که در مورد ممبرین FILMTEC FT30 بستگی به میانگین غلظت محلول غلیظ شده یا فشار اسمزی دارد. در این راه حل‌ها معمولا از میانگین مناسب جهت فشار هیدرولیکی در طرف خوراک و طرف آب تصفیه شده و فشار اسمزی استفاده می‌شود. در بهره برداری از یک المان، برای مقادیر پایینی از بازیافت، با استفاده از میانگین ساده حسابی و با استفاده از شرایط ورودی و خروجی، یک راه حل دقیق می‌توان به دست آورد. هم‌چنین از آن‌جاکه شرایط خروجی معلوم نمی‌باشد، از روش سعی و خطا می‌توان استفاده نمود.

جدول ۹-۳: معادلات طراحی برای طراحی عملکرد سیستم RO: عملکرد هر المان

| Item | Equation | Equation Number |
|---|---|---|
| Permeate flow | $Q_i = A_i \overline{\pi}_i S_E (\mathrm{TCF})(\mathrm{FF})\left(P_{fi} - \frac{\Delta P_{fci}}{2} - P_{pi} - \overline{\pi} + \pi_{pi}\right)$ | 10 |
| Average concentrate-side osmotic pressure | $\overline{\pi}_i = \pi_{fi}\left(\frac{C_{fci}}{C_{fi}}\right)(pf_i)$ | 11 |
| Average permeate-side osmotic pressure | $\overline{\pi}_{pi} = \pi_{fi}(1 - R_i)$ | 12 |
| Ratio: arithmetic average concentrate-side to feed concentration for Element *i* | $\frac{C_{fci}}{C_{fi}} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{C_{ci}}{C_{fi}}\right)$ | 13 |
| Ratio: concentrate to feed concentration for Element *i* | $\frac{C_{ci}}{C_{fi}} = \frac{1 - Y_i(1 - R_i)}{(1 - Y_i)}$ | 14 |
| Feed water osmotic pressure | $\pi_f = 1.12(273 + T)\sum m_j$ | 15 |
| Temperature correction factor for RO and NF membrane | $\mathrm{TCF} = \mathrm{EXP}\left[2640\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T}\right)\right]; \mathrm{T} \geq 25°\mathrm{C}$<br>$\mathrm{TCF} = \mathrm{EXP}\left[3020\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T}\right)\right]; \mathrm{T} \leq 25°\mathrm{C}$ | 16a,b |
| Concentration polarization factor for FILMTEC 8-inch elements | $pf_i = \mathrm{EXP}[0.7Y_i]$ | 17 |
| System recovery | $Y = 1 - [(1 - Y_1)(1 - Y_2)..(1 - Y_n)] = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - Y_i)$ | 18 |
| Permeate concentration | $C_{pj} = B(C_{fcj})(pf_i)(\mathrm{TCF})\frac{S_E}{Q_i}$ | 19 |

**کل سیستم:**

چنان‌چه کیفیت خوراک، درجه حرارت، شدت جریان آب تصفیه شده و تعداد المان‌ها معلوم باشد، برای محاسبه فشار خوراک و کیفیت آب تصفیه شده، از مقادیر میانگین استفاده می‌شود. اگر به جای تعداد المان‌ها، فشار خوراک مشخص شده باشد، تعداد المان‌ها از طریق چند انتگرال گیری به‌دست می‌آید. معادلات طراحی برای المان‌های FILMTEC BW30 ۸ اینچی در جدول ۱۰-۳ و تعاریف نشانه‌ها در جدول ۱۱-۳ آورده شده است.

جدول ۱۰-۳: معادلات مربوط به طراحی عملکرد سیستم RO: عملکرد متوسط سیستم

| Item | Equation | Equation Number |
|---|---|---|
| Total permeate flow | $Q = N_E S_E \overline{A}\,\overline{\pi}(\mathrm{TCF})(\mathrm{FF})P_f - \frac{\overline{\Delta P}_{fc}}{2} P_p - \pi_f\left[\frac{\overline{C}_{fc}}{C_f} p_f - (\overline{1-R})\right]$ | 20 |
| Ratio: average concentrate-side to feed concentration for system | $\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{-\overline{R}\ln(1-Y/Y_L)}{Y-(1-Y_L)\ln(1-Y/Y_L)} + (1-\overline{R})$ | 21 |
| Limiting system recovery | $Y_L = 1 - \frac{\pi_f(\overline{pf})(\overline{R})}{P_f - \overline{\Delta P}_{fc} - P_p}$ | 22 |
| Approximate log-mean concentrate-side to feed concentration ratio for system | $\left.\frac{C_{fc}}{C_f}\right\|_{Y_L,\overline{R}=1} = -\frac{\ln(1-Y)}{Y}$ | 23 |
| Average element recovery | $Y_i = 1-(1-Y)^{1/n}$ | 24 |
| Average polarization factor | $\overline{pf} = EXP[0.7\overline{Y}_i]$ | 25 |
| Average concentrate-side osmotic pressure for system | $\overline{\pi} = \pi_i\left(\frac{\overline{C}_{fc}}{C_f}\right)\overline{pf}$ | 26 |
| Average concentrate-side system pressure drop for FILMTEC 8-inch elements; 2 stages | $\overline{\Delta P}_{fc} = 0.04\overline{q}_{fc}^{\,2}$ | 27a,b,c |
| | $\Delta P_{fc} = \left[\frac{0.1(Q/1440)}{YN_{V2}}\right]\left(\frac{1}{N_{VR}} + 1 - Y\right)$ | |
| Individual FILMTEC 8-inch element, or single-stage concentrate-side pressure drop | $\Delta P_{fc} = 0.01n\overline{q}_{fc}^{\,1.7}$ | |
| FILMTEC membrane permeability as a function of average concentrate-side osmotic pressure | $\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125;\ \overline{\pi} \le 25$ | 28a,b,c |
| | $\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125 - 0.011\left(\frac{\overline{\pi}-25}{35}\right);\ 25 \le \overline{\pi} \le 200$ | |
| | $\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.070 - 0.0001(\overline{\pi}-200);\ 200 \le \overline{\pi} \le 400$ | |
| Permeate concentration | $C_p = BC_{fc}\overline{pf}(\mathrm{TCF})\left(\frac{N_E S_E}{Q}\right)$ | 29 |

جدول ۱۱-۳: تعاریف نشانه‌ها

| | | | |
|---|---|---|---|
| $Q_i$ | permeate flow of Element *i* (gpd) | $\sum_j$ | summation of all ionic species |
| $A_i\pi_i$ | membrane permeability at 25° for Element *i*, a function of the average concentrate-side osmotic pressure (gfd/psi) | $Y$ | system recovery (expressed as a fraction) = permeate flow/feed flow |
| $S_E$ | membrane surface area per element ($ft^2$) | $\prod_{i=1}^{n}$ | multiplication of n terms in a series |
| TCF | temperature correction factor for membrane permeability | $n$ | number of elements in series |
| FF | membrane fouling factor | $Q$ | system permeate flow (gpd) |
| $P_{fi}$ | feed pressure of Element *i* (psi) | $N_E$ | number of elements in system |
| $\Delta P_{fci}$ | concentrate-side pressure drop for Element *i* (psi) | $\overline{Q_i}$ | average element permeate flow (gpd) = $Q/N_E$ |
| $P_{pi}$ | permeate pressure of Element *i* (psi) | $\overline{A\pi}$ | average membrane permeability at 25°C: a function of the average concentrate-side osmotic pressure (gfd/psi) |
| $\overline{\pi}_i$ | average concentrate-side osmotic pressure (psi) | $\overline{C_{fc}}$ | average concentrate-side concentration for system (ppm) |
| $\pi_{fi}$ | feed osmotic pressure of Element *i* | $\overline{R}$ | average fractional salt rejection for system |
| $\pi_{pi}$ | permeate-side osmotic pressure of Element *i* (psi) | $\overline{\pi}$ | average concentrate-side osmotic pressure for system (psi) |
| $pf_i$ | concentration polarization factor for Element *i* | $\Delta\overline{P_{fc}}$ | average concentrate-side system pressure drop (psi) |
| $R_i$ | salt rejection fraction for Element *i* $= \frac{\text{feed conc.} - \text{perm. conc.}}{\text{feed conc.}}$ | $Y_L$ | limiting (maximum) system recovery (expressed as a fraction) |
| $C_{fci}$ | average concentrate-side concentration for Element *i* (ppm) | $\overline{Y_i}$ | average element recovery (expressed as a fraction) |
| $C_{fi}$ | feed concentration for Element *i* (ppm) | $\overline{pf}$ | average concentration polarization factor |
| $C_{ci}$ | concentrate concentration for Element *i* (ppm) | $\overline{q}_{fc}$ | arithmetic average concentrate-side flow rate (gpm) (=1/2(feed flow + concentrate flow) |
| $Y_i$ | recovery fraction for Element *i* $= \frac{\text{permeate flow}}{\text{feed flow}}$ | $N_V$ | number of six-element pressure vessels in system ($\approx N_E/6$) |
| $\pi_f$ | treated feed water osmotic pressure (psi) | $N_{V1}$ | number of pressure vessels in first stage of 2-stage system ($\approx 1/3\ N_V$) |
| $T$ | feed water temperature (°C) | $N_{V2}$ | number of pressure vessels in second stage of 2-stage system ($\approx N_V/3$) |
| $m_j$ | molal concentration of $j^{th}$ ion species | $N_{VR}$ | stage ratio ($=N_{V1}/N_{V2}$) |

### ۳-۱۱-۳ مقایسه‌ی عملکرد حقیقی المان‌های FILMTEC با طراحی ROSA

ROSA ابزاری است برای تخمین عملکرد پایدار سیستم RO یا NF که در شرایط مربوط به طراحی یا حقیقی استفاده می‌شود. چنین عملکرد طراحی شده ای، اساس مشخصات اسمی‌عملکرد المان (های )

FILMTEC استفاده شده در سیستم می‌باشد. در طرح از ضریب رسوب دهی ۱ برای محاسبه عملکرد المان‌های جدید با شدت جریان اسمی‌دقیق استفاده می‌شود. ضریب رسوب دهی کوچک‌تر از ۱ وقتی به کار برده می‌شود که در نظر است طرح برای مدت طولانی مورد بهره برداری قرار بگیرد.

در یک سیستم واقعی، تفاوت عملکرد جریانی با مقدار اسمی‌آن در المان‌ها ۱۵٪±، یا هر مقداری که برای این نوع المان مشخص شده است، می‌باشد. هم‌چنین دفع نمک در یک المان خاص می‌تواند بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار اسمی‌آن باشد ( اما از مقدار حداقل عبور نمک کم‌تر نمی‌شود ). بنابراین، عملکرد پایدار اندازه گیری شده مشابه با مقدار کاملا دقیق عملکرد طراحی شده نمی‌باشد، اما برای سیستم‌هایی با بیش از ۳۶ المان جدید، به این مقدار نزدیک می‌شود.

ضریب رسوب دهی حقیقی سیستم نو و پایدار RO با حداقل ۳۶ المان، بین ۰/۹۵ تا ۱/۰۵ می‌باشد. TDS اندازه گیری شده ی حقیقی برای آب تصفیه شده نباید بیش از ۱/۵ برابر TDS محاسبه شده باشد. برای سیستم‌هایی که فقط یک یا تعداد کمی‌المان دارند، انحراف عملکرد حقیقی اندازه گیری شده از مقدار طراحی شده ی آن به اندازه انحراف عملکرد همان المان خاص می‌باشد. اگر عملکرد اندازه گیری شده به اندازه کافی به عملکرد طراحی شده نزدیک نباشد، به بخش ۸، عیب یابی، رجوع کنید، یا بخش راهنمای عیب یابی را در وب سایت ما ملاحظه نمایید.

### ۱۲-۳ آزمایش

برای نمک زدایی از آب‌های استاندارد با منبع و ترکیب تعریف شده، عملکرد سیستم می‌تواند با دقت کافی توسط استفاده از برنامه کامپیوتری مانند ROSA طراحی شود. به هرحال، در برخی مواقع پیشنهاد می‌گردد که از آزمایش کردن، برای تایید درست بودن طراحی سیستم، استفاده شود. این موارد شامل:

- کیفیت نامعلوم آب خوراک
- تغییر نامعلوم کیفیت آب خوراک

- کاربردهای خاص یا جدید در مورد خروجی فرآیندها یا پساب
- کیفیت آب تصفیه شده جهت نیازهای خاص
- مقادیر بازیافت بسیار بالا برای سیستم ( بیش از ۸۰٪)
- تاسیسات بزرگ بیش از ۳/۵ mgd (۱۳۲۵۰ $m^3/d$)

آزمایش نوعا در سطوح مختلف بعدی انجام می‌شود:

### ۳-۱۲-۱ آزمایش غربالی

هدف از آزمایش غربالی انتخاب ممبرین مناسب برای جداسازی مطلوب و به‌دست آوردن ایده مورد نظر درباره خواص مربوط به شدت جریان($L/m^2h$ یا gfd ) و مقدار دفع ممبرین می‌باشد. قطعه کوچکی از المان پهن شده در یک "cell" ( سلول ) قرار داده می‌شود و با استفاده از مکانیسم جریان متقاطع با استفاده از محلول آزمایش مورد بررسی قرار می‌گیرد. این روش سریع و ارزان بوده و فقط به مقدار کمی‌از محلول آزمایش نیاز دارد. به هرحال آزمایش غربالی نمی‌تواند در مورد اطلاعات مهندسی بزرگ کردن مقیاس و اثرات طولانی مدت محلول آزمایش بر روی ممبرین به‌کار برده شود، هم‌چنین نمی‌تواند اثرات محلول آزمایش را در مورد رسوب گذاری مشخص سازد.

### ۳-۱۲-۲ آزمایش کاربردی

آزمایش کاربردی اطلاعات مربوط به بزرگ کردن مقیاس مثلا در مورد شدت جریان آب تصفیه شده و کیفیت آن را به عنوان تابعی از فشار خوراک و بازیافت سیستم در اختیار ما قرار می‌دهد. این آزمایش جهت ارزیابی ۱۵ الی ۶۰ gal ( ۵۰ تا ۲۰۰ لیتر ) محلول نمونه، با استفاده از المان با اندازه 2540 ( ۲/۵ اینچ × ۴۰ اینچ ) یا 4040 ( ۴ اینچ × ۴۰ اینچ ) به‌کار برده می‌شود. این المان در یک سیستم آزمایشی با ترکیب مهندسی قرار می‌گیرد که قابل تنظیم برای شدت جریان خوراک، فشار خوراک و درجه حرارت خوراک در محدوده‌های عملیاتی المان می‌باشد.

**تعیین فشار عملیاتی:**

فشار بهینه عملیاتی توسط تنظیم فشار خوراک تا رسیدن به کیفیت و شدت جریان مورد نظر جهت آب تصفیه شده تعیین می‌شود. ( نوعا بین ۶ تا ۲۰ gfd ( ۱۰ الی ۳۴ $L/m^2.h$ ) هم‌چنان‌که شدت جریان ممبرین افزایش می‌یابد باید در مقدار مناسب برای حتمی‌شدن پایین بودن مقدار بازیافت ( کم‌تر از ۵٪) نگه داشته شود. در حین انجام اولین آزمایش، جریان‌های مربوط به آب تصفیه شده و محلول غلیظ شده به مخزن ورودی برگردانده می‌شوند. با تعیین شدت بازیافت، فشار خوراکی که باعث بهینه شدن شدت جریان آب تصفیه شده و کیفیت آن می‌شود، همان فشار خوراک استفاده شده برای دومین آزمایش می‌باشد.

**تعیین ضریب غلظت / شدت بازیافت:**

برای کمک به تعیین بیش‌ترین مقدار بازیافت برای یک المان ( شدت جریان آب تصفیه شده تقسیم بر شدت جریان خوراک ) دومین آزمایش در حالت مرحله ای ( ناپیوسته ) انجام می‌شود. این عمل توسط هدایت جریان آب تصفیه شده به داخل ظرف دوم انجام می‌شود، تا زمانی که جریان محلول غلیظ شده به مخزن خوراک برگردانده می‌شود. کیفیت آب تصفیه شده و شدت جریان آن در طی انجام آزمایش مورد بازبینی و کنترل قرار می‌گیرد. زمانی که شدت جریان آب تصفیه شده به مقداری غیر اقتصادی برسد یا کیفیت آب به زیر حدود قابل قبول کاهش یابد، آزمایش تمام می‌شود.

عامل غلظت (CF) توسط تقسیم حجم ابتدایی خوراک به حجم خوراک باقی‌مانده محاسبه می‌شود. شدت بازیافت توسط کم کردن حجم باقیمانده خوراک از حجم ابتدایی خوراک و سپس تقسیم آن به حجم اولیه خوراک محاسبه می‌شود.

تکرار آزمایش مرحله ای ثبات ممبرین تاثیرات رسوب دهی را نشان می‌دهد. به هرحال، بهره برداری طولانی مدت، که شامل تعیین روش شستشو نیز می‌شود، تنها توسط انجام آزمایش‌هایی در مقیاس صنعتی کوچک (pilot) میسر می‌گردد.

### ۳-۱۲-۳ آزمایش‌های صنعتی در مقیاس کوچک

یک آزمایش کوچک صنعتی (pilot) در شرایط با جریان خوراک پیوسته انجام می‌شود. توصیه می‌شود که در تاسیسات پایلوت حداقل از یک المان با طول ۴۰ اینچ استفاده گردد. ترجیحا باید چیدمان المان‌ها مشابه با سیستم در مقیاس بزرگ باشد. شدت جریان آب تصفیه شده در تاسیسات پایلوت باید حداقل ۱٪ تاسیسات در مقیاس بزرگ بوده و باید حداقل به مدت ۳۰ روز از آن بهره برداری شود. صحت طرح سیستم باید تایید شده و پارامترهای عملیاتی باید به گونه ای باشند که در پروژه‌های بزرگ مقدار خطر پذیری به حداقل برسد.

### ۳-۱۳ اجزای سیستم

#### ۳-۱۳-۱ پمپ فشار قوی

فشار خروجی پمپ با ثابت نگه داشتن شدت جریان طراحی شده آب تصفیه شده و افزایش پیدا نکردن فشار خوراک از مقدار حداکثر، کنترل می گردد که به شرح ذیل می‌باشد:

۶۰۰ psi ( ۴۱ بار ) برای المان‌های TW30 , NF, BW30

۱۰۰۰ psi (۶۹ بار ) برای SW30

۱۲۰۰ psi ( ۸۲ بار ) برای المان‌های SW30HR

آخرین برگه‌های اطلاعاتی مربوط به تولیدات را جهت تایید حدود درست ببینید. همان‌طور که فشار خوراک توسط شیر فشار شکن در خط کنار گذر از خروجی پمپ به سمت بخش مکش پمپ کنترل می‌شود، پمپ با جابه‌جایی مثبت از کار نمی‌افتد. از یک تنظیم کننده ضربان ( جمع کننده – اکومولاتور ) بر روی خط خروجی پمپ جهت حداقل کردن منابع فشار استفاده می‌شود. با استفاده از یک شیر کمکی، فشار از مقدار حداکثر مجاز بالاتر نمی‌رود. یک شیر کنترل (throttling) بر روی خط خروجی، یک پمپ سانتریفیوژ را کنترل می‌کند. در بیش‌تر سیستم‌های ممبرینی از یک پمپ سانتریفیوژ با موتور سرعت ثابت، استفاده می‌شود. استفاده از موتور با سرعت متغیر سبب ذخیره انرژی می‌شود اگرچه هزینه بالاتر می‌رود. زمانی

موتورهای با سرعت متغیر استفاده می‌شوند که اختلاف بیش از ۵ درجه سانتی گراد بین درجه حرارت‌های بالا و پایین آب خوراک وجود داشته باشد.

در سیستم‌های آب دریا، نوعا ۵۵ تا ۶۰٪ از آب خوراک تحت فشار، با فشاری در حدود ۸۷۰ psi (۶۰ بار) در جریان غلیظ شده، از سیستم خارج می‌شود. با کاهش مصرف انرژی سیستم، این انرژی می‌تواند بازیافت شود. روش‌های بازیافت انرژی عبارتند از:

- چرخ دوار pelton wheel
- توربین با چرخش معکوس
- مبدل از نوع پیستونی

محلول غلیظ با فشار بالا به داخل تجهیزات بازیافت انرژی به عنوان خوراک وارد می‌شود که محصول این عمل توان چرخان خروجی می‌باشد. این انرژی برای کمک به موتور الکتریکی اصلی در به حرکت درآوردن پمپ فشار قوی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه با پمپ‌هایی که دارای سیستم نیروی محرکه سنتی هستند، سیستم بازیافت انرژی بالغ بر ۴۰٪ از انرژی را حفظ می‌کند.

### ۲-۱۳-۳ لوله‌های تحت فشار

لوله‌های تحت فشار با قطرها، طول‌ها و فشارهای مختلف موجود می‌باشند. در زمان انتخاب یک لوله تحت فشار، نسبت فشار انتخاب شده باید به اندازه ای زیاد باشد که افزایش فشار در رسوب گذاری برگشت ناپذیر را جبران کند. ( نوعا ۱۰٪ بیش از آن‌چه که در یک طراحی ۳ ساله نیاز است. ) وقتی که از فشار معکوس دینامیکی برای آب تصفیه شده در طی مدت بهره برداری از تاسیسات استفاده می‌شود، ساختار برخی از لوله‌های تحت فشار در بخش آب تصفیه شده محدودیت ایجاد می‌کنند. در بسیاری از لوله‌های تحت فشار از موادی مانند پلی وینیل کلرید (PVC) برای بخش مربوط به آب تصفیه شده استفاده می‌شود. همان‌گونه که در جدول ۱۲-۳ نشان داده شده است، فشار نسبی آب تصفیه شده به شدت تابع درجه حرارت می‌باشد. برای

مشخصات جزئی تر لوله تحت فشار با سازنده آن تماس بگیرید. توجه داشته باشید که در شرایط سکون، مانند خاموش کردن پمپ فشار قوی، فشار معکوس آب تصفیه شده نباید از ۵ psi بیش‌تر شود. ( ۰/۳ بار )

جدول ۱۲-۳: حداکثر فشار دینامیکی معکوس آب تصفیه شده برای لوله‌های تحت فشار با استفاده از المان‌های FILMTCE

| | | Maximum dynamic permeate backpressure | |
|---|---|---|---|
| Temperature (°F) | Temperature (°C) | psi | bar |
| 113 | 45 | 145 | 10.0 |
| 104 | 40 | 180 | 12.4 |
| 95 | 35 | 219 | 15.1 |
| 86 | 30 | 257 | 17.7 |
| 77 | 25 | 299 | 20.6 |
| 68 | 20 | 338 | 23.3 |

### ۳-۱۳-۳ کلیدهای خاموش کردن

المان‌های ممبرین باید در مقابل وضعیت‌هایی که بهره برداری تحت آن شرایط نباید انجام شود، محافظت شوند. اگر چنین وضعیت‌هایی ایجاد شد، مثلا به هم خوردن شرایط پیش تصفیه، باید سیستم را خاموش کرد. برخی از شرایطی که در آن‌ها نباید بهره برداری صورت گیرد و طرق برخورد با آن‌ها در جدول ۱۳-۳ آورده شده است.

جدول ۱۳-۳: شرایط مقابله با حالت‌هایی که در آن‌ها نباید بهره برداری انجام شود:

| Undue operating condition | Provision |
|---|---|
| Too high feed pressure | High pressure shutdown switch in the feed line |
| Insufficient feed pressure | Low pressure shutdown switch in the pump suction line |
| Too high feed temperature | High temperature switch in the feed line |
| Permeate pressure exceeding feed by more than 0.3 bar (5 psi) pressure | Pressure relief mechanism in the permeate line |
| Too high concentration of colloidal matter in the feed | Turbidity control in the feed line |
| Too high concentration of sparingly soluble salts in the feed | Dosing pumps for acid and antiscalant should be electrically interlocked with the feed pump drive<br>High pH shutdown switch |
| Oxidizing agents in the feed | ORP (Oxidation Reduction Potential) control in feed line or chlorine detection monitor with automatic shutdown |

### ٤-۱۳-۳ شیرآلات

در یک سیستم ممبرین شیرهای زیر وجود دارند:

- شیر ورودی مربوط به خوراک برای خاموش کردن تاسیسات برای حفاظت و نگه‌داری

- شیر مربوط به خط خروجی پمپ یا خط جریان کنار گذر برای کنترل فشار خوراک در طی بهره برداری و افزایش فشار خوراک در زمان روشن کردن
- شیر کنترل (check valve) بر روی خط خروجی پمپ
- شیر کنترل و شیر اتمسفری تخلیه بر روی خط مربوط به آب تصفیه شده برای این‌که فشار آب تصفیه شده از فشار خوراک بیش‌تر نشود.
- شیر کنترل جریان بر روی خط محلول غلیظ شده برای تنظیم مقدار بازیافت.

( توجه: شیر فشار شکن نباید استفاده شود (back pressure))

- شیر بر روی خط آب تصفیه شده برای انجام تخلیه آب تصفیه شده در طی مدت شستشو و روشن کردن سیستم
- شیر بر روی خطوط مربوط به خوراک و محلول غلیظ شده ( و بین مراحل ) برای اتصال به سیستم شستشو در محل.

### ۵-۱۳-۳ ابزار کنترلی

جهت اطمینان از عملکرد صحیح سیستم RO یا NF، استفاده از تعدادی ابزار کنترلی ضروری می‌باشد. دقت تمامی‌ابزار کنترلی امری ضروری و بحرانی است. آن‌ها باید بر طبق دستور سازنده نصب و کالیبره شوند.

- فشارسنج‌ها برای اندازه گیری افت فشار ایجاد شده در فیلتر کارتریج، فشار خط ورودی پمپ و خروجی آن، فشار خوراک المان (های ) ممبرین، افت فشار بین خوراک و محلول غلیظ شده در هر مرحله، و سرانجام فشار خط مربوط به آب تصفیه شده. فشار سنج‌هایی که با مایع پر شده اند باید دارای سیالی باشند که با ممبرین سازگار باشد، مانند آب برجای روغن‌ها یا دیگر مایعاتی که با آب مخلوط نمی‌شوند.
- جریان سنج برای اندازه گیری شدت جریان غلیظ شده و کل آب تصفیه شده، و نیز شدت جریان آب

تصفیه شده در هر مرحله.

- اندازه گیر آب در خط آب تصفیه شده و خوراک برای اندازه گیری حجم کل آب تصفیه شده و تولید شده
- زمان سنج برای اندازه گیری زمان کل بهره برداری

pH سنج در خط خوراک پس از بخش اسید زنی برای اندازه گیری پتانسیل رسوب گذاری کربنات

- هدایت سنج در خط خوراک، خط محلول غلیظ شده و خط آب تصفیه شده برای تعیین کیفیت آب تصفیه شده و دفع نمک
- نقاط نمونه برداری خوراک، محلول غلیظ شده و آب تصفیه شده ( آب تصفیه شده کل و آب تصفیه شده در هر مرحله ) برای ارزیابی عملکرد سیستم.

توصیه می‌شود که برای ساده شدن عیب یابی در خروجی هر لوله تحت فشار محلی برای نمونه برداری از آب تصفیه شده تعبیه گردد.

### ۶-۱۳-۳ مخازن

مدت زمان ذخیره آب در مخازن باید کوتاه باشد. وقتی از مخازن استفاده می‌کنیم، ورودی و خروجی باید در جایی قرار گرفته باشند که آب نتواند داخل آن راکد باشد. مخازن باید در برابر گرد و خاک و آلودگی میکروبیولوژیکی حفاظت شوند. در موارد بحرانی مخازن باید سرپوشیده باشند و در آنها از فیلتر HEPA استفاده شود.

مخزن خوراک: زمانی که از کلر استفاده می‌شود، مخزن خوراک باید دارای زمان واکنش بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه باشد. در این موارد به‌خوبی می‌توان از فیلترهای مدیا با حجم آزاد استفاده نمود. از مخازن خوراک برای پیوسته نگه داشتن سیستم RO یا NF به تناوب می‌توان استفاده کرد ( مثلا در طی عملیات شستشوی معکوس فیلترها ). سیستم‌هایی که به‌صورت ناپیوسته ( مرحله ای ) یا نیمه پیوسته عمل می‌کنند نیاز به مخزن

خوراک دارند.

مخزن آب تصفیه شده: این مخزن نوعا زمانی استفاده می‌شود که آب تصفیه شده تولید شده باشد. روشن و خاموش کردن تاسیسات توسط علائمی‌که مخزن در سطوح بالا و پایین ارسال می‌کند، انجام می‌شود. ظرفیت سیستم و اندازه مخزن باید آن‌چنان طراحی شود که تاسیسات RO یا NF بتوانند برای چندین ساعت به‌طور پیوسته کار کنند. چنان‌چه این زمان کاهش پیدا کند بهتر است سیستم خاموش شود.

مخزن کشش معکوس: مخزن کوچکی است که در خط آب تصفیه شده قرار داده می‌شود و حجم کافی جهت جریان معکوس اسمز طبیعی را در زمانی که سیستم خاموش است فراهم می‌آورد. معمولا برای سیستم‌های آب دریا استفاده می‌شود، اما در سیستم‌های آب لب شور استفاده نمی‌شود. مخزن خالی جریان معکوس سبب می‌شود که هوا به داخل المان‌های FILMTEC کشیده شود. این امر مشکلات زیر را سبب می‌شود:

- آلودگی طرف آب تصفیه شده در ممبرین توسط میکروب‌ها و قارچ‌های موجود در هوا
- شوک‌های هیدرولیکی و نفوذ آرام هوا که دستگاه‌های اندازه گیر را از تنظیم خارج می‌نماید. این عمل زمانی انجام می‌شود که هوا در لحظه روشن شدن از سیستم خارج می‌شود.
- خشک شدن ممبرین‌ها ( کاهش شدت جریان )
- چنان‌چه آب خوراک دچار افت کیفیت شود و دارای $H_2S$، $Fe^{2+}$، $Mn^{2+}$ و غیره شود، ورود هوا توسط اکسید کردن و رسوب دادن مواد کلوئیدی، سبب ایجاد رسوب در ممبرین می‌شود. ( بخش ۱۱-۲ را ببینید، تصفیه آب خوراک حاوی سولفید هیدروژن )

اگر آب تولید شده از RO کلر زنی شود، باید مواظب بود که کلر به سمت ممبرین‌ها برگشت نکند. خروج هوا باید به شکل مناسبی انجام شود. اگر از یک مخزن کشش معکوس استفاده شده باشد، سطح آب آن باید بالاتر از بالاترین لوله تحت فشار باشد، اما نباید از ۹/۸ ft ( ۳ متر ) نسبت به پایین ترین سطح تجاوز کند. برای جلوگیری از آلودگی، جریان از کف داخل شده و از بالا خارج می‌شود، مخزن نیز باید سرپوشیده باشد. چنان‌چه کلر زنی بعد از تصفیه شدن انجام شود این کار باید در مسیر جریان پایینی مخزن انجام گردد. حجم

مخزن کشش معکوس به شکل زیر تعیین می‌شود:

$$V_{DBT} = (25\ T_E) - V_{PP}$$

که:

$V_{DBT}$ = حجم مخزن کشش معکوس

$T_E$ = تعداد المان‌های نصب شده

$V_{PP}$ = حجم لوله کشی آب تصفیه شده بین لوله‌های تحت فشار و مخزن کشش معکوس ( بر حسب لیتر )

مخازن تزریق: زمانی که مواد شیمیایی در آب خوراک تزریق می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه آن‌ها باید به گونه ای باشند که به صورت روزانه پر شوند.

مخزن شستشو: بخشی از تجهیزات توضیح داده شده در بخش ۶ می‌باشد، شستشو و ضد عفونی کردن.

لوازم اختیاری: استفاده از برخی لوازم به طور اختیاری در بهره برداری و مانیتورینگ سیستم مفید می‌باشد.

۱. سیستم فلاش جهت خاموش کردن، خط خوراک – محلول غلیظ شده را با آب خوراک که از مرحله پیش تصفیه عبور کرده است، یا با آب تصفیه شده و تصفیه شده، پس از خاموش شدن به‌طور ناگهانی شستشو می‌دهد. زمانی که از ضد رسوب استفاده می‌شود، باید حتما از سیستم فلاش بهره گرفت.

۲. سیستم اخطار شامل:

ـ هدایت الکتریکی زیاد آب تصفیه شده

ـ هدایت الکتریکی زیاد محلول غلیظ شده

ـ pH پایین خوراک

ـ pH بالای خوراک

ـ سختی زیاد خوراک

ـ درجه حرارت زیاد خوراک

ـ پایین بودن سطح در مخزن تزریق

۳. ثبات‌های پیوسته شامل:

ـ درجه حرارت خوراک

ـ pH خوراک

ـ هدایت الکتریکی خوراک و آب تصفیه شده

ـ SDI خوراک

ـ ORP خوراک

ـ فشار خوراک، آب تصفیه شده و محلول غلیظ شده

ـ جریان آب تصفیه شده و محلول غلیظ شده

مطلوب است که یک سیستم مانیتورینگ ( نمایش دهنده ) آن‌چنان نصب شود که به صورت (on line) اطلاعات مهم فرآیند سیستم را ثبت کند. اطلاعات بیش‌تر در بخش ۶-۵، نگه داری سوابق، آورده شده است. پانل اتوماتیک ( panel) کنترل روشن کننده موتور باعث ایجاد ایمنی در بهره برداری از تاسیسات می‌شود. اتوماسیون برای شستشوی معکوس فیلتر، شستشوی ممبرین و فلاش تاسیسات می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند.

۴. سیستم شستشو، هوا خشک کن شامل کمپرسور، خشک کننده هوا، کنترل هوا و سیستم‌های کامل لوله کشی.

۰۵ لوازم یدکی برای مدت ۱ تا ۲ سال برای بهره برداری عادی

۶. لوازم جهت سرویس‌های عمومی‌و خاص

۷. موارد اختیاری مانند آموزش، نظارت و حراست

### ۱۴-۳ مواد سازنده، کنترل خوردگی

از نقطه نظر خوردگی، محیط بسیار نامطلوب، به تاسیسات نمک زدایی از آب با استفاده از اسمز معکوس، غلبه پیدا می‌کند. بنابراین مواد سازنده باید دارای در برابر خوردگی مقاوم باشند. این مساله برای قسمت‌های بیرونی که در ارتباط با محیط توام با بارش و نم دار و نمک دار هستند و نیز قسمت‌های داخلی که ارتباط گسترده ای با تصفیه آب دارند، مطرح است. اگرچه کار اندکی نیست، اما کنترل خوردگی در سطوح خارجی موادی که احتمال پوسیدگی آنها زیاد است، معمولا می‌تواند با استفاده از روش پوشش دادن ( رنگ کردن، گالوانیزه و غیره ) و با استفاده از اجرای برنامه نگه‌داری با انجام دوره ای فلاش و شستشو و برطرف کردن نشتی و امثال آن، موفقیت آمیز باشد. انتخاب مواد سازنده برای سیستم‌هایی که سطح داخلی آنها مرطوب می‌شود، به مراتب کار پیچیده تری است. مواد در بخشی که دچار فشار، ارتعاش، درجه حرارت و مسائل موجود در یک سیستم RO می‌باشد، در برابر پتانسیل خوردگی ناشی از مقدار زیاد کلرید در آب ورودی و جریان محلول غلیظ شده، اثر آب تولید شده و مواد شیمیایی استفاده شده در شستشوی ممبرین‌ها، باید بتوانند مقاومت کنند. کاربرد مواد غیر فلزی مانند پلاستیک، فایبرگلاس و غیره در جلوگیری از خوردگی و آسیب ناشی از مواد شیمیایی در بخش‌هایی از سیستم RO که فشار پایینی دارند ( کم‌تر از ۱۴۵ psi / ۱۰ بار ) همانند المان‌های RO و لوله‌های تحت فشار، بسیار زیاد می‌باشد. به هرحال، استفاده از فلز برای بخش‌هایی که در فشار بالا کار می‌کنند ( ۱۰۰۰-۱۴۵ psi / ۷۰-۱۰ بار ) ضروری می‌باشد مانند پمپ‌ها، لوله‌ها و شیرآلات. کربن و آلیاژهای پایین فولاد مقاومت خوبی در برابر خوردگی ندارند و مواد حاصل از خورده شدن آنها می‌تواند بر روی ممبرین‌ها رسوب کند.

خطوط لوله: معمولا دارای پیشنهاد جایگزین نمی‌باشد زیرا طراحی متراکم لوله‌ها و استفاده از مقدار نسبتا زیاد اتصالات و زانوها، امری ضروری می‌باشد. آلومینیوم – برنز برای استفاده در پمپ‌ها و غیره پیشنهاد می‌گردد، اما خطر خوردگی فرسایشی و آسیب ناشی از مواد شیمیایی باید در نظر گرفته شود. در بخش‌هایی که دارای فشار زیاد هستند، فولاد ضد زنگ(stainless steel) بیش‌ترین کاربرد را دارد.

مزیت اصلی فولاد ضد زنگ مقاومت زیاد آن در برابر خوردگی عمومیو خوردگی فرسایشی می‌باشد. فولاد ضد زنگ ندرتا تحت تاثیر خوردگی گالوانیکی قرار می گیرد، اما این تاثیر بر روی فلز دیگری که با فولاد ضد زنگ تشکیل کوپل دو فلزی داده است، نمودار می‌شود ( مانند مس و برنج و غیره ).در تاسیسات نمک زدایی توسط اسمز معکوس، نیازی نیست که اثر تنش خوردگی ناشی از کراکینگ در فولاد ضد زنگ در مقدار متوسط کلرید که ندرتا زیر ۱۵۸ درجه فارنهایت ( ۷۰ درجه سانتی گراد ) رخ می‌دهد، در نظر گرفته شود. متاسفانه در تاسیسات اسمز معکوس، برخی از فولادهای ضد زنگ تمایل به خوردگی ناشی از سوراخ شدن و ترک برداشتن در مقابل آب از خود نشان می‌دهند. سوراخ شدن به معنی این است که فلز تحت تاثیر آسیب قرار گرفته و در نتیجه در آن حفره ایجاد شده است. در قسمتی که لایه نازکی از اکسیدهای کروم ایجاد شده باشد و کلریدها بتوانند به بدنه فلز آسیب برسانند، سوراخ ایجاد می‌شود. خوردگی ناشی از ترک برداشتن در اثر سوراخ شدن با آب راکد در حفره‌ها، سطح درزها، رسوبات و درز زیر پیچها و غیره، ایجاد می‌شود. برای جلوگیری از خوردگی ناشی از سوراخ شدن و ترک برداشتن در تاسیسات اسمز معکوس، جهت نمک زدایی از آب، توصیه‌های زیر ارائه می‌شود:

**تاسیسات RO با TDS زیر ۷۰۰۰ ppm برای جریان غلیظ شده:**

فولاد ضد زنگ تیپ AISI 316L با کربن کم‌تر از ۰/۰۳٪ حداقل آسیب برای سیستم لوله کشی را در بر دارد زیرا فولاد ضد زنگ با درجه پایین تر دارای کربن بیش‌تر بوده و در محل‌های جوشکاری شده سوراخ می‌شود (خوردگی دانه ای ). برای بخش‌هایی که جوشکاری نمی‌شوند، فولاد ضد زنگ تیپ AISI 316 قابل قبول می‌باشد.

**تاسیسات RO با TDS بیش از ۷۰۰۰ ppm برای جریان غلیظ شده:**

برای بخش‌هایی که در آنها جوش‌کاری انجام می‌شود یا قسمت‌های مشابه بدون درز، جهت لوله‌ها و زانوها، فولاد ضد زنگ تیپ 904L توصیه می‌شود. در قسمت‌هایی که درز وجود دارد مانند اتصالات فلنچی،

شیرآلات، پمپ‌ها و غیره، فولاد ضد زنگ تیپ 254 SMO یا مشابه با بیش از ۶٪ MO توصیه می‌شود. این دو نوع فولاد ضد زنگ می‌توانند بدون ایجاد مشکل در ارتباط با خوردگی گالوانیکی به یکدیگر جوش داده شوند. المان‌های حس گر در ابزارهای دقیق باید روکش شوند. ترکیب ساختاری فولادهای ضد زنگ نام برده شده در جدول ۱۴-۳ آورده شده است.

جدول ۱۴-۳: ترکیب ساختاری فولادهای ضد زنگ

| Usual designation | UNS No. | C% | Cr% | Ni% | Mo% | Cu% | N% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AISI 316 | S 31600 | < 0.08 | 16.0 - 18.0 | 10 - 14 | 2.0 - 3.0 | — | — |
| AISI 316L | S 31603 | < 0.03 | 16.0 - 18.0 | 10 - 14 | 2.0 - 3.0 | — | — |
| 904 L | N 08904 | < 0.02 | 19.0 - 23.0 | 23.0 - 28.0 | 4.0 - 5.0 | 1.0 - 2.0 | — |
| 254 SMO | S 31254 | < 0.02 | 19.5 - 20.5 | 17.5 - 18.5 | 6.0 - 6.5 | 0.5 - 1.0 | 0.18 - 0.22 |

در کنار توصیه‌های فوق، احتیاط‌های عمومی‌در طی مراحل طراحی و ساخت باید انجام پذیرد مانند:

- طراحی با حداقل درز و لبه‌های فرسوده.
- طراحی لوله کشی آن‌چنان که سرعت جریان بیش از ۵ ft/s باشد ( ۱/۵ m/s). این امر باعث حفاظت از لایه تاثیر پذیر می‌شود.
- استفاده از گاز پشتیبان در زمان جوشکاری به لحاظ اجتناب از تشکیل لایه اکسید شده بر روی بخش جوشکاری شده که علت اساسی خوردگی درزی می‌باشد.
- Pickle کردن و غیر فعال کردن سیستم لوله کشی آن‌چنان‌که در برابر آسیب کلرید به بهترین وجه مصون باقی بماند.
- فلاش کردن تاسیسات با آبی که TDS پایین دارد قبل از خاموش کردن سیستم.

### ۱۵-۳ ملاحظات مربوط به طراحی سیستم برای کنترل عملکرد میکروبیولوژیکی

رسوب بیولوژیکی یکی از عمومی‌ترین و دشوارترین مسایل در بهره برداری از سیستم‌های اسمز معکوس می‌باشد. کنترل فعالیت میکروبیولوژیکی در تاسیساتی که از آب سطحی، یا آبی که دارای باکتری است، به عنوان منبع استفاده می‌کنند، اهمیت ویژه ای دارد. سیستمی‌که به درستی طراحی شده باشد موفق است:

- اگر از مخازن میانی رو باز استفاده شده باشد، باید برای ضد عفونی کردن درست آن و جریان بعد از آن تدابیری اندیشیده شود.
- اگر از مخازن سر پوشیده استفاده شده باشد، جریان هوای آن‌ها و تجهیزات مربوط به دریچه مخازن باید با وسایل کنترل کننده باکتری ( مانند فیلترهای HEPA ) مجهز شده باشند.
- در طراحی باید از به‌کار بردن در پوش‌ها و قطعات لوله با طول‌های زیاد اجتناب ورزید، در غیر این صورت باید به صورت دوره ای آن‌ها را ضد عفونی کنید.
- اجزای سیستم پیش تصفیه مانند لوله‌ها، manifoldها، فیلترها و مخازن نگه‌داری باید کدر انتخاب شوند تا در برابر نور خورشید از زیاد شدن رشد بیولوژیکی در آن‌ها جلوگیری به عمل آید.
- وسایل یدکی با سطوح زیاد، مانند فیلترهای شنی و کارتریج را به صورت stand-by نباید به کار برد. در غیر این صورت از شیرهای تخلیه جهت خروج مواد شیمیایی ضد عفونی کننده پس از انجام عمل ضد عفونی کردن تجهیزات و قبل از اتصال آنها به سیستم در حال کار، باید استفاده نمود.
- تا آن‌جاکه ممکن است باید بخش RO/NF از بخش پیش تصفیه با استفاده از فلنچ جدا شود. این مساله باعث می‌شود تا زمان مصونیت ممبرین‌ها در برابر تماس کلر، از کلر برای ضد عفونی کردن پیش تصفیه بتوان استفاده نمود. یک سیستم تخلیه باید در پایین مکان نزدیک به فلنچ نصب شود تا تخلیه محلول کلر به‌طور کامل انجام شود.
- انتخاب ممبرین: شرکت FILMTEC پیشنهاد می‌کند که از ممبرین‌هایی با سطح خاص که مقاوم در برابر رسوب بیولوژیکی هستند استفاده گردد. این المان‌ها BW30FR نامیده می‌شوند و برای آب‌های سطحی و پساب به کار برده می‌شوند. برای مواردی که به المان‌های ممبرین با درجه بهداشتی نیاز باشد، نوع خاص دیگری از المان به شکل full-fit ساخته می‌شود. این نوع المان سطوح راکد را به حداقل می‌رساند و با استانداردهای FDA تطبیق دارد. بخش ۱ را ببینید، اصول اسمز معکوس و نانوفیلتر، و برگه‌های اطلاعاتی مربوط به محصول.

### ۱۶-۳ نظریات مربوط به طراحی سیستم جهت عیب یابی بهتر:

وقتی که طرحی در نظر گرفته می‌شود و سیستم ممبرینی بزرگی خریداری می‌شود، در میان تجهیزات طراحی شده و افزوده شده، برخی نیز برای کمک به عیب یابی در آینده در نظر گرفته شده اند. بر اساس اندازه و پیچیدگی سیستم، برخی یا تمام این موارد می‌توانند برای تهیه کننده سیستم شما توضیح داده شوند. این مسائل برای بهره برداری موفق ضروری نیستند اما برای عملکرد روز به روز و عیب یابی آسان‌تر، سریع تر و موثر تر لازم می‌باشند.

### فضای مناسب و قابل دسترس جهت جاگذاری و عیب یابی سیستم:

اگرچه سیستم‌های ممبرینی کاملا فشرده هستند، اغلب برای حفظ فضای کف، تجهیزات و لوله‌ها و نگه‌دارنده‌ها را به‌طور فشرده نصب می‌کنند، آن‌چنان که دست‌یابی به سیستم ممبرین محدود می‌شود. به طور ایده آل، شخص باید به صورت کاملا آزاد به خطوط خوراک، آب شور در انتهای هر لوله، جهت گذاشتن و برداشتن و عیب یابی المان‌های ممبرین دسترسی داشته باشد. در هنگام جاگذاری بین انتهای لوله خوراک و لوله‌های تحت فشار، نزدیک‌ترین تجهیزات یا نگه دارنده‌ها برای یک المان،کوتاه‌ترین فاصله لازم می‌باشد. در هنگامی‌که هنوز سیستم جاگذاری نشده است، اغلب از فضاهای بیش‌تری باید استفاده کرد آن‌چنان که یک تابلوی چوبی بزرگ یا سایر لوازم با فشرده کردن المان‌ها به سمت انتهای خط آب شور، قابل استفاده باشند.

### اتصالاتی برای انجام جستجو، نمودار کشیدن و نمونه برداری:

در هنگام عیب یابی کردن مشکلات بالقوه المان، اغلب یکی از اولین کارها جستجوی محل بوجود آمدن مشکل می‌باشد ( مرحله، لوله تحت فشار یا حتی یک المان ).

با داشتن محل‌هایی برای نمونه برداری از سراسر مسیر مربوط به آب تصفیه شده در لوله تحت فشار، امکانات زیادی فراهم می‌شود. به‌طور ایده آل، محل‌های مربوط به نمونه برداری آب تصفیه شده می‌توانند برای لوله جستجوگر نیز استفاده شوند. داشتن نقاط نمونه برداری اضافی بر روی خط خوراک، محلول غلیظ شده

و در آغاز هر جریان درون مرحله ای، می‌تواند به پیدا کردن محل مشکل در یک مرحله کمک کند و حتی امکان اندازه گیری جهت انجام موازنه جرم برای تایید جریان و مقدار قطعی بازیافت سیستم فراهم می‌شود. برای کنترل فعالیت میکروبیولوژیکی، باید از نقاط کافی جهت نمونه برداری، برای موازنه میکروبیولوژیکی و کنترل آن‌ها تا حد امکان در تاسیسات استفاده کرد. حداقل تعداد نقاط نمونه برداری به قرار زیر می‌باشد:

۱) ورودی ( سطح )یا چاه، قبل از کلر زنی، چنان‌چه وجود داشته باشد.

۲) پس از زلال کننده، حوضچه ته نشینی، واحد تماس لجن، یا فرآیند رسوب گیری مشابه

۳) پس از واحدهای فیلتراسیون ( شنی، مولتی مدیا، کربن اکتیو یا امثال آن )

۴) پس از کلر زدایی ( معمولا پس از فیلتر کارتریج )

۵) جریان غلیظ شده

۶) جریان آب تصفیه شده

**ابزاری که در مونیتور کردن عملکرد در هر مرحله مورد استفاده قرار می‌گیرند:**

پس از تعیین نقاط ساده نمونه برداری، مرحله بعدی در تکمیل شدن سیستم، اندازه گیری عملکرد مراحل است، آن‌چنان‌که اطلاعات مربوطه جمع آوری و عادی سازی شوند تا تغییرات روزانه عملکرد سیستم در مقابل شرایط مرجع، مانند روشن شدن، نشان داده شوند.

ابزار اندازه گیری دقیق به معنی لوازمی‌جهت اندازه گیری هدایت الکتریکی یا TDS ، فشار، درجه حرارت، شدت جریان خوراک، محلول غلیظ شده و آب تصفیه شده در هر مرحله می‌باشد. با داشتن این اطلاعات، عملکرد آن مرحله نشان داده می‌شود ( مانیتور می‌شود ) و با عادی سازی اطلاعات بروز مشکلات به آسانی آشکار می‌شود. از موازنه جرم در اطراف سیستم می‌توان برای حذف برخی از ابزار استفاده کرد، داشتن تمام ابزارهای اندازه گیر به معنی این است که موازنه جرم می‌تواند برای آزمایش سازگاری داخلی اطلاعات و بنابراین نشان دادن عملکرد ابزار دقیق به‌کار برده شود.

**زمان واقعی عادی سازی درون خطی:**

در هنگام مانیتوزینگ سیستم، ابزار دقیق درون خطی در نهایت توسط برنامه عادی سازی پیوسته و مداوم نغذیه می‌شوند. برای سیستم‌های بسیار بزرگ، یا برای سیستم‌هایی که شرایط خوراک بسیار متغییر دارند، کنترل زمان حقیقی باید تضمین شود.

**ملزومات جهت شستشوی هر مرحله به‌طور جداگانه:**

بسیاری از سیستم‌های بزرگ دارای سیستمی‌به نام سیستم شستشو در محل (CIP) هستند. یک طرح خوب باید آن‌چنان باشد که در آن سیستم لوله کشی و شیرآلات مناسب جهت شستشوی هر مرحله از سیستم به‌طور جداگانه مهیا شده باشد زیرا ثابت بودن این سیستم سبب موثر تر شدن عملیات شستشو می‌گردد. شستشوی چند مرحله با هم به این معنی است که خاک، آشغال، موجودات زنده و رسوبات از اولین مرحله جدا شده و قبل از خروج از سیستم، از روی مراحل بعدی عبور می‌کنند. سیستم‌های CIP باید دارای شدت جریان کافی برای شستشوی موثر و امکاناتی جهت گرم کردن محلول‌های پاک کننده باشند.

**قابلیت فلاش کردن آب تصفیه شده:**

یک ویژگی بالقوه ی سیستم که می‌تواند تعداد شستشوها را کم کند، فراهم آوردن امکاناتی جهت فلاش کردن دوره ای آب تصفیه شده در سیستم می‌باشد. جریان ناگهانی آب تصفیه شده توسط بازگشت آب تصفیه شده یا آب تولید شده به سیستم در شدت زیاد برای سست کردن و کندن لایه‌های رسوبی قبل از رسیدن آن‌ها به سطح ممبرین به‌کار برده می‌شود. این قابلیت به طور خاص برای سیستم‌هایی که پساب را تصفیه می‌کنند کاربرد دارد.

**تجهیزات اندازه گیری SDI و نقاط اتصال در سیستم:**

یک راه تشخیصی مهم مخصوصا برای انتهای پیش تصفیه یک سیستم، داشتن و بهره بردن از ابزار اندازه گیری SDI می‌باشد. این ابزار می‌توانند همانند ترسیم نمودار و روش جستجو در المان‌ها، می‌تواند محل مشکل بالقوه ممبرین را تعیین کند، و ابزار اندازه گیری SDI با داشتن رابط در سراسر سیستم پیش تصفیه می‌تواند به پیدا کردن سریع محل مشکل در آن کمک کند.

**آزمایشگاه آب در محل تاسیسات:**

داشتن قابلیت برای انجام کارهای آزمایشگاهی در محل تاسیسات به معنی آسان شدن آنالیز آب و مانیتور شدن آن، مخصوصا برای برپایی و برقراری افزودن مواد شیمیایی به پیش تصفیه می‌باشد.

**واحد آزمایش برای یک المان:**

داشتن یک واحد آزمایش برای یک المان در تاسیسات می‌تواند یک مزیت واقعی داشته باشد. المان‌های ممبرین مشکوک، به سرعت آزمایش شده و سالم یا ناسالم بودن آن‌ها مشخص می‌شود. به‌علاوه می‌توان استراتژی شستشو را آزمایش کرد و المان معیوب را قبل از این‌که به کل سیستم آسیب برساند مشخص گرداند.