



مهندسی آب و فاضلاب

www.abfaeng.ir

جلوتر از دیگران حرکت کنید

اطلاعات آموزشی

اطلاعات فنی و مهندسی

اخبار روز آب و فاضلاب

اخبار استخدامی کارفرمایان



[T.me/mohandesifazelab](https://t.me/mohandesifazelab)



[Instagram.com/abfaeng](https://www.instagram.com/abfaeng)

۳- عبارات اصلی و تعاریف

در این فصل عبارات اصلی استفاده شده در ارتباط با سیستم‌های RO تعریف می‌شوند. هم‌چنین جهت کسب اطلاعات بیشتر مانند چگونگی تأثیر این متغیرها بر روی عملکرد یک سیستم RO، بخش ۹ را ببینید.

۳-۱ نرخ شدت جریان در سیستم اسمز معکوس

یک سیستم RO بر مبنای نرخ شدت جریان تولید شده، سنجیده می‌شود. انتظار می‌رود که یک سیستم RO ۸۰۰ gpm، به اندازه‌ی 800 gpm آب تصفیه شده تولید نماید. معمولاً شدت جریان‌های ورودی و دفع شده، برابر با مقادیر پیش‌بینی شده در جزئیات طراحی نیستند (این مقادیر معمولاً با معلوم بودن نرخ شدت جریان آب تصفیه شده و درصد بازیافت محاسبه می‌شوند).

در برخی موارد، ممکن است نرخ شدت جریان واقعی و طراحی شده‌ی آب تصفیه شده در سیستم RO با نرخ شدت جریان موجود در "پلاک دستگاه" متفاوت باشد. در بیشتر مواقع، به دلیل وجود متابع نامرغوب آب ورودی یا به علت درجه حرارت پایین آب خوراک، سیستم RO از طریق محاسبات طراحی دوباره ارزیابی می‌شود.

۳-۲ بازیافت

بازیافت (که بعضی اوقات "تبدیل" نامیده می‌شود) عبارتی است که توضیح می‌دهد چه درصدی از حجم آب ورودی "بازیابی" یا تصفیه شده است. معمولاً، مقدار بازیافت در سیستم RO تقریباً بین ۵۰ تا ۸۵ درصد است، در بیشتر سیستم‌های طراحی شده مقدار بازیافت ۷۵ درصد در نظر گرفته می‌شود. (مقدار بازیافت در مدول ممبرین با بافت مارپیچی از ۱۰ تا ۱۵ درصد متغیر می‌باشد - بخش ۳-۴ را ببینید). اگر مقدار بازیافت یک سیستم مساوی با ۷۵ درصد باشد یعنی به ازای هر ۱۰۰ gpm جریان ورودی، ۷۵ gpm آب تصفیه شده و ۲۵ gpm جریان غلیظ شده تولید خواهد شد. مقدار بازیافت از طریق معادله‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$(۳-۱) \quad 100 \times (\text{شدت جریان آب خوراک} / \text{شدت جریان آب تصفیه شده}) = \% \text{بازیافت}$$

در مقدار بازیافت برابر با ۷۵٪، حجم جریان غلیظ شده مساوی با یک چهارم حجم جریان ورودی است. اگر فرض شود که ممبرین تمام جامدات حل شده را در خود نگه دارد، کل آن‌ها در یک چهارم از حجم آب ورودی قرار می‌گیرند. از این رو، غلظت جامدات حل شده و نگه‌داشته شده، چهار برابر مقدار آن در جریان ورودی است. (تا وقتی که کل جامدات حل شده توسط ممبرین نگه‌داشته نشده باشند، این مقدار فقط یک تقریب محسوب می‌شود). این مقدار "ضریب غلظت" نامیده می‌شود. در مقدار بازیافت برابر با ۵۰ درصد، حجم جریان غلیظ شده مساوی با نصف جریان آب ورودی است. در این حالت، غلظت جامدات حل شده دو برابر می‌شود، زیرا ضریب غلظت مساوی با ۲ است. جدول ۳-۱ ضریب غلظت را به‌عنوان تابعی از مقدار بازیافت نشان می‌دهد. درک مفهوم غلظت جریان دفع شده نیز مهم است زیرا سطحی از ممبرین که با جریان غلیظ شده در تماس است، سطحی است که بر روی آن لای و رسوب تشکیل می‌شود (بخش ۳-۶ و ۳-۷ را ببینید).

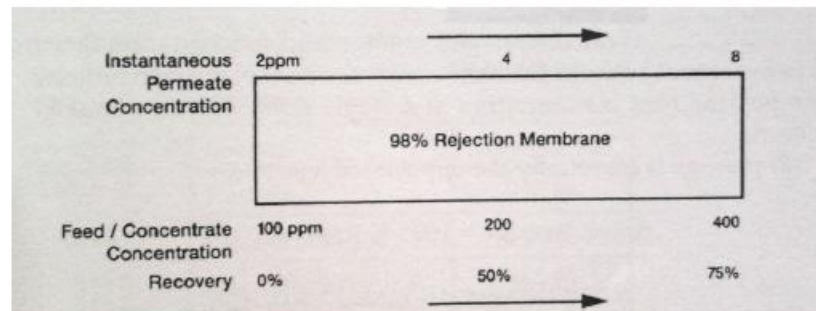
جدول ۳-۱ ضریب غلظت به‌عنوان تابعی از مقدار بازیافت

| مقدار بازیافت (%) | ضریب غلظت |
|-------------------|-----------|
| ۵۰ | ۲ |
| ۶۶ | ~۳ |
| ۷۵ | ۴ |
| ۸۰ | ۵ |
| ۸۳ | ۶ |
| ۸۷.۵ | ۸ |

بیشتر شدن بازیابی ، باعث می‌شود که مقدار آب دفع شده کاهش یابد. هر چند ، بیشتر شدن مقدار بازیابی باعث کمتر شدن خلوص آب تصفیه شده نیز می‌گردد. مثال نشان داده شده در شکل ۳-۱ را ببینید. در انتهای جریان ورودی بر روی ممبرین ، غلظت جریان ورودی مساوی با ۱۰۰ ppm است ، در صورتی‌که مقدار بازیافت برابر با ۰ درصد می‌باشد ، و ۲ درصد از کل جامدات حل شده (TDS) از ممبرین عبور می‌کنند (بخش ۳-۳ را ببینید). مقدار صحیح نفوذ در این نقطه مساوی با تقریباً ۲ ppm است. هنگامی‌که جریان آب ورودی از روی سطح ممبرین‌های بیشتر و بیشتری عبور نماید ، آب بیشتری نیز بازیابی می‌شود. در مقدار بازیافت برابر با ۵۰ درصد ، ضریب غلظت مساوی با ۲ است ، بنابراین اکتون غلظت آب ورودی تقریباً برابر با ۲۰۰ ppm می‌باشد. اکتون غلظت آب تصفیه شده در این نقطه مساوی با ۴ ppm است. در مقدار بازیافت برابر با ۷۵ درصد ، ضریب غلظت برابر با ۴ است ، بنابراین اکتون غلظت جریان آب ورودی تقریباً مساوی با ۴۰۰ ppm می‌باشد. غلظت آب تصفیه شده در این نقطه برابر با ۸ ppm خواهد بود. از این‌رو بازیابی بیشتر باعث کم شدن خلوص محصول می‌شود.

طراح سیستم RO ، مقدار بازیابی را برای سیستم انتخاب می‌کند ؛ این مقدار مربوط به خاصیت ممبرین نمی‌باشد. طراح باید بین بازیابی بیشتر و در نتیجه کاهش مقدار آب غلیظ و خارج شده و نیز کاهش مقدار خلوص آب تصفیه شده توازن ایجاد کند.

شکل ۳-۱ غلظت جریان آب نمک و جریان لحظه‌ای آب تصفیه شده به‌عنوان تابعی از مقدار بازیافت



عملاً ، مقدار بازیافت در سیستم RO با استفاده از شیر کنترل جریان نصب شده بر روی مسیر جریان غلیظ شده در RO ، تنظیم می‌شود (شکل ۲-۶ را ببینید). بسته شدن این شیر باعث زیاده‌تر شدن فشار عملیاتی می‌شود ، در نتیجه نیروی وارده به آب

موجود در ممبرین ، در جهت بخشی از ممبرین که مربوط به آب خوراک/محللول غلیظ شده می‌باشد ، بیشتر شده و در نتیجه مقدار بازیافت زیادتر می‌گردد.

مقدار بازیافت در یک سیستم RO توسط طراح ، ثابت در نظر گرفته می‌شود. زیاد کردن مقدار بازیافت طراحی شده ، می‌تواند باعث سریع‌تر شدن لای گرفتگی و رسوب گرفتگی ممبرین شود ، زیرا برای شستشوی ممبرین در قسمتی که مربوط به آب نمک است ، آب کمی وجود خواهد داشت. کم کردن مقدار بازیافت طراحی شده نیز مخالف با روند تراکم رسوب‌گذاری و لای گرفتگی بر روی ممبرین نخواهد بود ، اما باعث می‌شود که حجم پساب در سیستم RO زیادتر شود.

۳-۳ مقدار دفع

مقدار دفع عبارتی است که بیان می‌کند یک ممبرین چند درصد از ذرات ورودی را در خود نگه می‌دارد. برای مثال ، مقدار ۹۸٪ دفع برای سیلیکا یعنی این که ممبرین ۹۸ درصد از سیلیکای ورودی را در خود نگه می‌دارد و یا این که ۲ درصد از سیلیکای ورودی قادر خواهند بود از میان ممبرین عبور کنند و وارد جریان آب تصفیه شده شوند (این مقدار را "عبور نمک" می‌نامند).

مقدار دفع یک ذره‌ی مشخص با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$$\text{مقدار دفع} \% = [(C_f - C_p) / C_f] \times 100 \quad (3-2)$$

که :

$$C_f = \text{غلظت یک جزء خاص در جریان ورودی}$$

$$C_p = \text{غلظت یک جزء خاص در آب تصفیه شده}$$

توجه کنید که برای انجام محاسبه‌ی دقیق ، برای تخمین غلظت خوراک و غلظت آب نمک به‌جای استفاده از غلظت لحظه‌ای خوراک ، باید از غلظت متوسط خوراک استفاده شود.

ضرورتاً مقدار عبور نمک ، بر خلاف مقدار دفع می‌باشد :

$$\% \text{ مقدار دفع} - 100 = \% \text{ مقدار عبور نمک} \quad (3-3)$$

$$\% \text{ مقدار عبور نمک} = (C_p - C_f) \times 100 \quad (3-4)$$

مقدار دفع مربوط به خاصیت یک جزء مشخص در آب خوراک و غشای مورد نظر می‌باشد. جدول ۳-۲ فهرستی از قابلیت عمومی دفع را برای بیشتر غشاهای معمولی RO که از جنس کامپوزیت پلی‌آمید هستند ، نشان می‌دهد. توجه کنید که ظرفیت یونی مربوط به هر ترکیب نقش مهمی در مقدار دفع آن توسط غشاء RO بازی می‌کند. مقدار دفع یون‌های چند ظرفیتی معمولاً بیشتر از یون‌های چند ظرفیتی است.

مقدار دفع یک ذره‌ی خاص ، علاوه بر ظرفیت یونی به خواص زیر نیز بستگی دارد:

- درجه‌ی تفکیک : به‌طور کلی ، مقدار تفکیک بیشتر ، مقدار دفع بیشتر . برای مثال ، اسیدهای ضعیف در pH بالاتر بهتر دفع می‌شوند.
 - وزن مولکولی : به‌طور کلی ، وزن مولکولی بیشتر ، مقدار دفع بیشتر . برای مثال ، مقدار دفع کلسیم در حاشیه بهتر از مقدار دفع متیزیم می‌باشد.
 - قطبیت : به‌طور کلی ، قطبیت بیشتر ، مقدار دفع کمتر . برای مثال ، مواد آلی بهتر از آب دفع می‌شوند.
 - درجه‌ی هیدروتاسیون (آب‌دار شدن) : به‌طور کلی ، درجه‌ی هیدروتاسیون بیشتر ، مقدار دفع بیشتر . برای مثال ، کلراید بهتر از نیترات دفع می‌شود.
 - مقدار شاخه‌های مولکولی : به‌طور کلی ، شاخه‌های مولکولی زیادتر ، مقدار دفع بیشتر . برای مثال ، ایزوپروپانول بهتر از نرمال پروپانول دفع می‌شود.
- مقدار دفع در گازها برابر با ۰ درصد است ، یعنی غلظت گازها در جریان آب تصفیه شده و جریان ورودی و آب نمک یکسان می‌باشد. گازهایی که دفع نمی‌شوند عبارتند از کلر که برای ضدعفونی کردن آب ورودی به RO در سیستم پیش تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرد (بخش ۲-۸ را ببینید) و دی‌اکسید کربن .

جدول ۲-۳ ظرفیت‌های عمومی مقدار دفع برای بیشتر ممبرین‌های کامپوزیت پلی‌آمید در درجه حرارت اتاق

| انواع ذرات | مقدار دفع (%) |
|------------|---------------|
| سدیم | ۹۲ ۹۸ |
| کلسیم | ۹۳ ۹۹+ |
| منیزیم | ۹۳ ۹۸ |
| پتاسیم | ۹۲ ۹۶ |
| آهن | ۹۶ ۹۸ |
| منگنز | ۹۶ ۹۸ |
| آلومینیوم | ۹۶ ۹۸ |
| *آمونیم | ۸۰ ۹۰ |
| مس | ۹۶ ۹۹ |
| نیکل | ۹۶ ۹۹ |
| روی | ۹۶ ۹۸ |
| نقره | ۹۳ ۹۶ |
| جیوه | ۹۴ ۹۷ |
| سختی | ۹۳ ۹۹ |
| کلر | ۹۲ ۹۸ |
| بی‌کربنات | ۹۶ ۹۹ |
| سولفات | ۹۶ ۹۹+ |
| فلوراید | ۹۲ ۹۵ |
| سیلیکات | ۹۲ ۹۵ |
| فسفات | ۹۶ ۹۸ |
| برومید | ۹۰ ۹۵ |
| بورات | ۳۰ ۵۰ |
| کرومات | ۸۵ ۹۵ |
| سیانید | ۹۰ ۹۹+ |

* زیر pH ۷.۸. بالای این pH، آمونیاک به صورت گاز وجود دارد که توسط غشاء RO دفع نمی‌شود.

در بهره‌برداری از سیستم RO در pH نزدیک به خنثی، مقداری دی‌اکسید کربن در آب خوراک وجود خواهد داشت. چون گازها به وسیله‌ی ممبرین‌های RO دفع نمی‌شوند، جریان‌های آب تصفیه شده و آب نمک نیز حاوی دی‌اکسید کربن خواهند بود. اگر آب تصفیه شده پس از RO به مبدل یونی دمنین یا الکترونیوئیزاسیون فرستاده شود، کربن دی‌اکسید بر روی رزین‌های آنیونی قرار می‌گیرد آن‌چنان‌که سایر آنیون‌ها نتوانند به خوبی حذف شوند. در این شرایط، در برخی مواقع سود سوزآور (NaOH) به آب ورودی به RO افزوده می‌شود. این کار باعث افزایش pH و تبدیل دی‌اکسید کربن به بی‌کربنات می‌گردد. با این روش ماده‌ای که توسط ممبرین RO دفع نمی‌شد، به ماده‌ای قابل دفع تبدیل می‌شود. افزودن سودسوزآور پس از حذف سختی (کلسیم، منیزیم، باریوم، و استرنسیوم) با استفاده از سدیم توصیه می‌گردد. بدون انجام سختی‌گیری، سختی موجود در آب خوراک در pH بالاتر، پس از افزودن سودسوزآور به حالت اشباع می‌رسد و بر روی ممبرین رسوب می‌کند. در برخی مواقع، در سیستم‌های RO دو مرحله‌ای، سودسوزآور را در بین مراحل اضافه می‌کنند (بخش ۳-۵ را ببینید). در اولین مرحله‌ی RO، سختی حذف می‌شود، حال آن‌که جریان خروجی از مرحله‌ی دوم نسبتاً عاری از دی‌اکسید کربن می‌باشد.

۳-۴ شدت نفوذ

شدت نفوذ عبارت است از نرخ شدت جریان حجمی یک سیال که از سطح معینی عبور می‌کند. در سیستم RO، سیال آب بوده و سطح، همان ممبرین می‌باشد. در زبان RO، شدت نفوذ عبارت است از تعداد گالن‌های آب در فوت مربع از سطح ممبرین در یک روز، (gpd). شدت نفوذ آب از میان یک غشای RO متناسب با نیروی محرکه‌ی خالص ناشی از فشار اعمال شده بر روی آب می‌باشد (جهت توضیح در مورد مدول‌های انتقالی، بخش ۱-۴ را ببینید):

$$J = K (\Delta P - \Delta \Pi) \quad (۳-۵)$$

که :

J = شدت نفوذ آب

K = ضریب انتقال آب = مقدار قابلیت نفوذ / ضخامت لایه‌ی فعال در ممبرین

ΔP = اختلاف فشار در سرتاسر ممبرین

$\Delta \Pi$ = اختلاف فشار اسمزی در سرتاسر ممبرین

توجه داشته باشید که ضریب انتقال آب برای هر ممبرین متحصّر به فرد بوده و مقدار ثابتی نمی‌باشد؛ به‌طور مستقیم با درجه حرارت تغییر می‌کند. این ضریب در برخی از ممبرین‌های پلی‌آمیدی جدیدتر با مقدار pH نیز عوض می‌شود.

طراح سیستم RO ، نرخ شدت نفوذ را انتخاب می کند ؛ این مقدار جزو خواص ممبرین نمی باشد. به طور کلی ، شدت نفوذ در یک سیستم RO طراحی شده ، تابع کیفیت آب ورودی است.

زیرا شدت نفوذ بیشتر باعث تسریع رسوب گذاری در ممبرین می شود. پس ، کیفیت پایین تر آب ورودی موجب کاهش شدت نفوذ عملیاتی در سیستم RO می گردد. جدول ۳-۳ شدت نفوذهای توصیه شده را به عنوان تابعی از منبع آب ورودی نشان می دهد (که از این روش می توان به طور غیر مستقیم ، کیفیت آب را ارزیابی نمود) و شاخص تراکم لجن (SDI) ، که توسط آن می شود تمایل آب به رسوب گذاری بر روی ممبرین را سنجید (بخش ۹-۳ را ببینید). در موارد مشکوک ، معمولاً توصیه می شود که به طور قراردادی از شدت نفوذ مساوی با ۱۴ gfd استفاده شود.

جدول ۳-۳ شدت نفوذ توصیه شده به عنوان تابعی از منبع آب ورودی

| منبع آب خوراکی | SDI | شدت نفوذ توصیه شده ، * gfd |
|---|-----|----------------------------|
| آب تصفیه شده توسط RO | <1 | 21-25 |
| آب چاه | <3 | 14-16 |
| منبع سطحی | <3 | 12-14 |
| منبع سطحی | <5 | 10-12 |
| فاضلاب ثانویه شهری - با پیش تصفیه میکرو فیلتراسیون ** | <3 | 10-14 |
| فاضلاب ثانویه شهری - با پیش تصفیه متعارف | <5 | 8-12 |

* برای قطر ۸ اینچ ، مدول های ممبرین جهت آب لب شور

** اندازه ی متافذ میکرو فیلتراسیون کمتر از ۰.۵ میکرون

در برخی مواقع جهت مقایسه ی عملکرد یک نوع از ممبرین با انواع دیگر ، از شدت نفوذ ویژه استفاده می شود. شدت نفوذ ویژه با تقسیم کردن شدت نفوذ کلی در سیستم بر نیروی فشاری اعمال شده ، تخمین زده می شود:

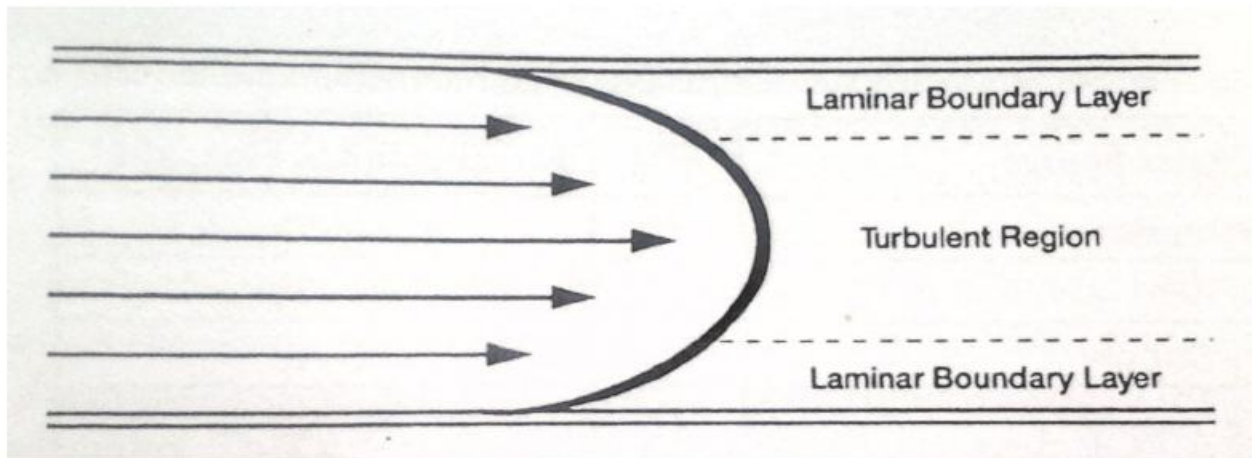
$$(۳-۶) \quad \text{فشار اعمال شده} / \text{شدت نفوذ} = \text{شدت نفوذ ویژه}$$

در مقایسه ی بین ممبرین ها ، جهت بهره برداری از سیستم RO ، لازم است که شدت نفوذ ویژه ی بیشتر و نیروی فشاری اعمال شده کمتر باشد. هم چنین می توان شدت نفوذ ویژه را به عنوان قابلیت نفوذ ممبرین تعریف نمود.

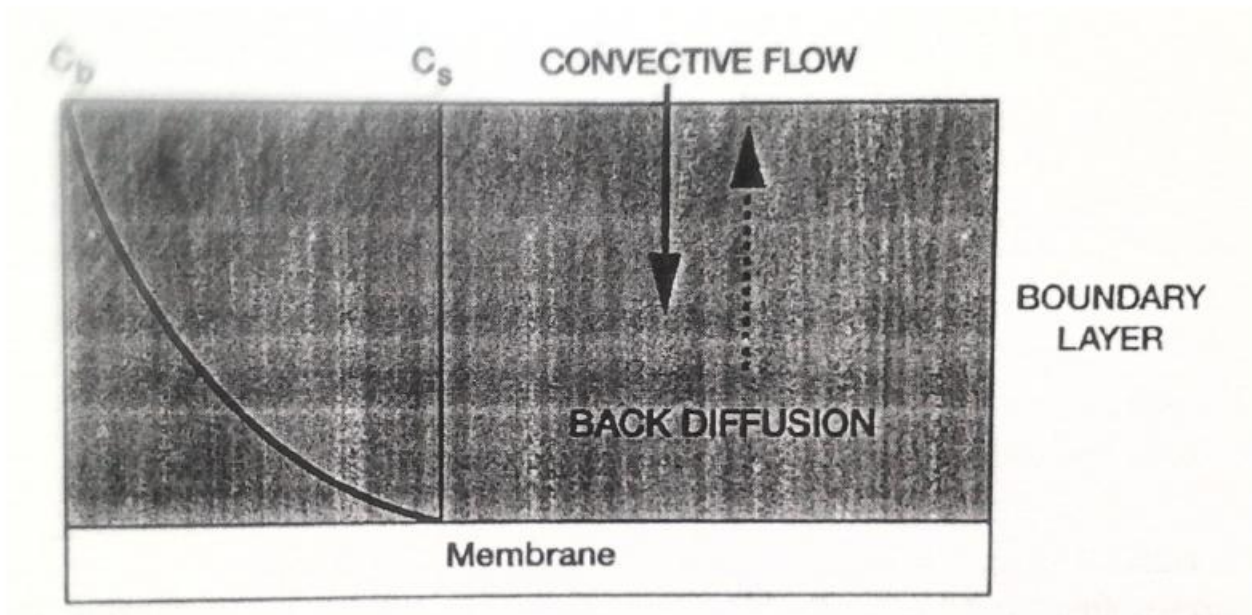
۳-۵ قطبش غلظتی

با استفاده از ساده‌ترین عبارات می‌توان بیان نمود که شدت جریان آب عبور کننده از یک ممبرین RO شبیه به شدت جریان آبی است که از یک لوله عبور می‌کند، شکل ۳-۲. جریان در توده‌ی محلول به شکل هدایتی است، در صورتی که جریان در لایه‌ی مرزی به صورت نفوذی بوده و عمود بر جریان هدایتی در حجم محلول می‌باشد. در لایه‌ی مرزی، جریان هدایتی وجود ندارد.

شکل ۳-۲ لایه‌ی مرزی هیدرولیکی ایجاد شده به وسیله‌ی جریان سیال در یک لوله



شکل ۳-۳ قطبش غلظتی، که C_B غلظت در حجم سیال و C_S غلظت در سطح ممبرین می‌باشد.



پایین تر بودن سرعت آب درون لوله ، باعث ضخیم تر شدن لایه‌ی مرزی می‌شود.

اکنون جریان موازی با سطح یک ممبرین را در نظر بگیرید. در این حالت لایه‌ی مرزی همانند لایه‌ی مرزی در جریان درون لوله می‌باشد. به هر حال ، در یک سیستم غشائی ، چون در خارج از ممبرین ، شدت جریان خالصی وجود دارد ، جریان ورودی به ممبرین به شکل هدایتی است ، اما فقط جریان خروجی از ممبرین به صورت نفوذی است. چون جریان نفوذی آهسته‌تر از جریان هدایتی است ، مواد محلول که توسط ممبرین دفع شده‌اند ، تمایل دارند که بر روی سطح و در لایه‌ی مرزی جمع شوند. بنابراین ، غلظت مواد حل شده در سطح ممبرین بیشتر از توده‌ی محلول می‌باشد. این لایه‌ی مرزی را "قطبش غلظتی" می‌نامند. این پدیده در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.

قطبش غلظتی تأثیر منفی بر روی عملکرد یک غشای RO دارد. این پدیده توان عملیاتی ممبرین را با سه شیوه‌ی مهم کاهش می‌دهد. در روش اول ، به‌عنوان یک مقاومت هیدرولیکی در برابر جاری شدن آب در میان ممبرین عمل می‌کند. در روش دوم ، تجمع مواد حل شده باعث افزایش فشار اسمزی در لایه‌ی مرزی شده ، و به‌طور مؤثری نیروی محرکه جهت عبور آب از میان ممبرین را کم می‌کند. در روش سوم ، زیادتر بودن غلظت مواد حل شده بر روی سطح ممبرین نسبت به توده‌ی محلول ، سبب زیادتر شدن عبور مواد حل شده نسبت به مقدار پیش‌بینی شده‌ی آن توسط غلظت آب خوراک می‌شود. زیرا یک غشای RO مواد حل شده را براساس غلظت نمکی که "می‌بیند" دفع می‌کند. اگر غلظت یک ذره در سطح ممبرین زیادتر باشد ، مانند حالت قطبش غلظتی ، مقدار عبور ماده‌ی محلول به‌درون آب تصفیه شده بیشتر از مقدار مورد انتظار بر مبنای غلظت آن ماده در درون توده می‌باشد. مقدار دفع و عبور نمک واقعی که توسط ممبرین نمایش داده می‌شود تغییر نمی‌کند. به هر حال ، مقدار دفع / عبور قابل مشاهده است. برای مثال ، فرض کنید که غلظت سیلیکا در توده‌ی سیال مساوی با ۱۰ ppm باشد ، در صورتی که غلظت آن بر روی سطح غشاء برابر با ۱۱.۵ ppm است. اگر مقدار دفع ۹۸٪ باشد ، انتظار می‌رود که بر مبنای غلظت در توده‌ی سیال ، غلظت سیلیکا در آب تصفیه شده برابر با ۰.۲۰ ppm باشد. به هر حال ، ممبرین ۱۱.۵ ppm را "می‌بیند" ، بنابراین مقدار واقعی عبور نمک ۲٪ از ۱۱.۵ ppm ، یا ۰.۲۳ ppm است. مقدار واقعی دفع فقط ۹۸٪ است. مقدار دفع مشاهده شده مساوی با ۹۷.۷٪ می‌باشد. (برای اطلاعات کامل‌تر درباره‌ی قطبش غلظتی ، مرجع ۱ را ببینید.)

۳-۶ عدد بتا

عدد بتا ، که در برخی مواقع "ضریب قطبش غلظتی" نامیده می‌شود ، عبارت است از نسبت غلظت یک جزء در سطح غشاء به غلظت همان جزء در حجم محلول. بنابراین ، عدد بتا روشی برای تعیین مقدار قطبش غلظتی می‌باشد.

هر قدر عدد بتا بزرگ‌تر باشد ، احتمال لای گرفتگی یا رسوب‌گرفتگی بر روی غشاء بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر ، چون عدد بتا نسبت غلظت در سطح را به غلظت در حجم محلول می‌سنجد ، عدد بتای بزرگ‌تر به معنی زیادتر بودن غلظت نسبی در سطح می‌باشد. اگر غلظت به‌اندازه‌ی کافی زیاد باشد ، ممکن است حالت اشباع رخ دهد و رسوب تولید گردد. برای ایجاد کمترین مقدار رسوب ، حداکثر مقدار قابل قبول برای عدد بتا معمولاً بین ۱ تا ۱.۲ می‌باشد. (بخش ۶-۹ را ببینید.)

عدد بتا ، جزو خواص غشاء نمی‌باشد ؛ بلکه ابزاری برای طراحی سیستم بوده و باید انتخاب شود. مخصوصاً این که عدد بتا تابعی از چگونگی شتاب جریان ورودی است که از میان ممبرین عبور کرده و آب‌زدایی می‌شود. اگر آب از جریان ورودی خیلی سریع حذف شود ، عدد بتا افزایش می‌یابد ، چون حجم زیادی از آب به‌داخل ممبرین نفوذ کرده و حجم نسبتاً زیادی از جامدات حل‌شده نیز بر روی ممبرین جمع می‌شود. بیشتر شدن قطبش غلظتی باعث ایجاد مشکل می‌شود زیرا جریان صرفاً نفوذی بعد از سطح ممبرین اتفاق می‌افتد. جهت اطلاعات بیشتر درباره‌ی عدد بتا و نسبت آن با شدت نفوذ آب و مقدار عبور نمک ، بخش ۶-۹ را ببینید.

۷-۳ لای‌گرفتگی

در اثر ته‌نشین شدن جامدات معلق ، مواد آلی ، یا میکروب‌ها بر روی سطح ممبرین ، معمولاً ممبرین در طرف مربوط به خوراک/جریان غلیظ شده ، دچار لای‌گرفتگی می‌شود. ذرات تولیدکننده‌ی لای عبارتند از :

- کلونیدها ، مانند سیلیکات‌های آلومین و آهن. سیلیکا می‌تواند با غلظتی کمتر از حالت اشباع در حضور آلومینیوم یا آهن رسوب کند.
- مواد آلی ، که برای میکروب‌ها غذا تهیه می‌کنند.
- میکروب‌ها
- رنگ ، که به‌طور برگشت‌ناپذیری جذب سطح پلیمری ممبرین می‌شود.
- فلزات ، مانند آهن و منگنز که اکسید آن‌ها رسوب می‌کند ؛ آلومینیوم حاصل از آلوم ، که به‌طور عادی بسیار زیاد وجود دارد ، مخصوصاً در منابع سطحی و شهری ؛ و سولفید هیدروژن ، که با انجام عمل اکسیداسیون باعث آزاد شدن عنصر گوگرد می‌شود ، ماده‌ای بسیار چسبنده جدا کردن آن از ممبرین غیرممکن یا خیلی سخت است.

جدول ۴-۳ فهرستی از رهنمودهای مربوط به کیفیت آب را برای حداقل شدن لای‌گرفتگی در غشاءهای RO ارائه می‌کند.

جدول ۴-۳ فهرستی از رهنمودهای مربوط به کیفیت آب برای حداقل شدن لای‌گرفتگی در غشاءهای RO

| انواع | مقیاس | مقدار |
|---------------------------------|-------------|-----------------|
| جامدات معلق | کدورت | <1 NTU |
| کلونیدها | SDI | <5 |
| میکروب‌ها | * شیب کاهشی | <1000 CFU/ml ** |
| مواد آلی | غلظت TOC | <3 ppm |
| رنگ | واحد رنگ | <3 APHA |
| آلومینیوم ، منگنز ، آهن : فلزات | غلظت | <0.05 ppm |
| سولفید هیدروژن | غلظت | <0.1 ppm |

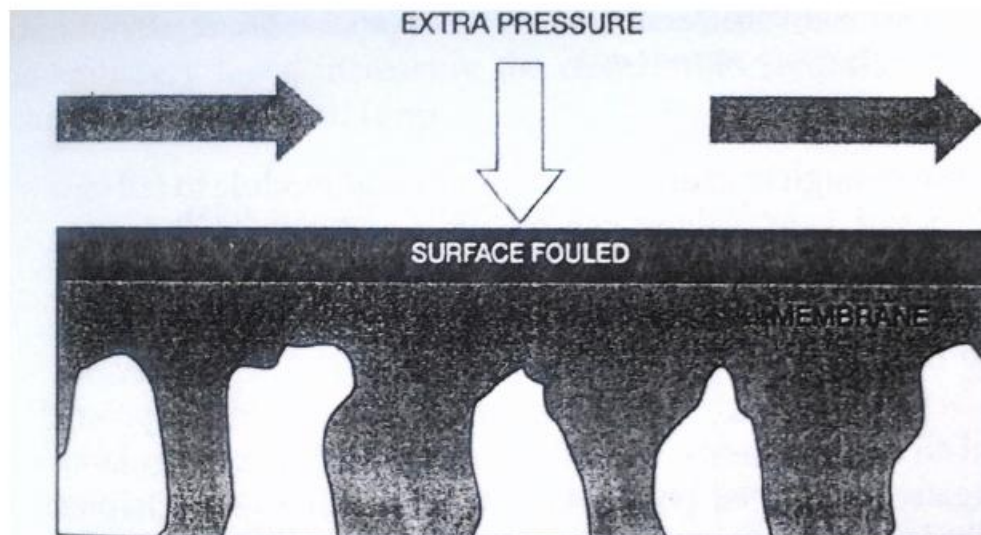
* برای مشاهده‌ی روش‌های دیگر به بخش ۳-۷ مراجعه کنید.

** در جریان دفع شده از RO

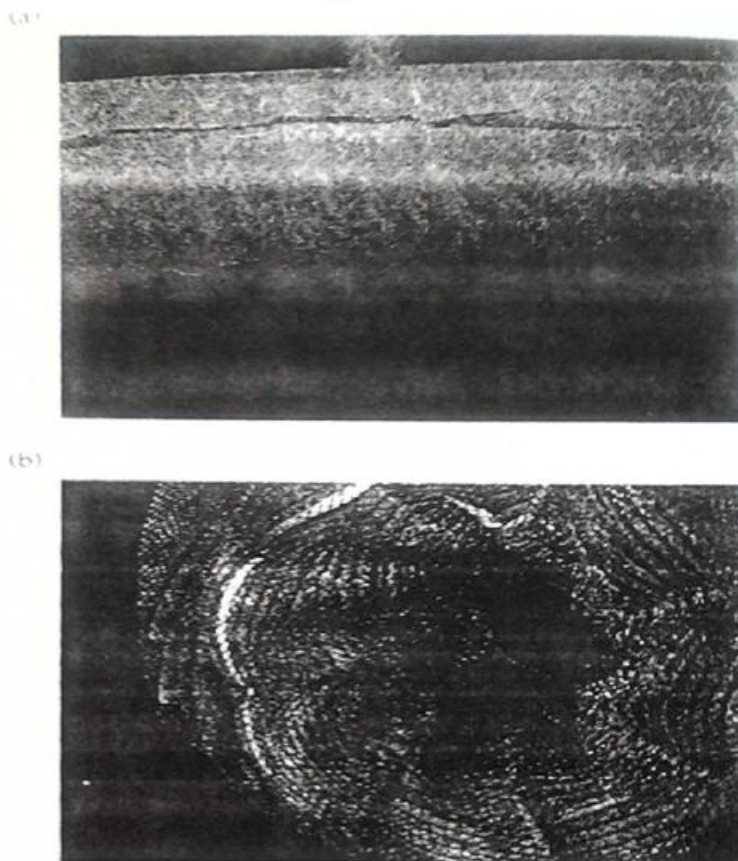
لای‌گرفتنگی با افزایش شدت نفوذ در ممبرین و کاهش سرعت جریان متقاطع ، دو حالتی که قطبش غلظتی را زیاد می‌کنند ، تشدید می‌شود. شدت نفوذ بیشتر یعنی این که ، آب با سرعت بیشتری از میان غشاء عبور کرده و از جامداتی جدا می‌شود که اکنون با سرعت بیشتری در لایه‌ی مرزی مربوط به قطبش غلظتی جمع شده‌اند. اگر زمان اقامت در لایه‌ی مرزی کافی باشد ، این جامدات در برخی مواقع به‌صورت دائمی بر روی سطح ممبرین رسوب می‌کنند. سرعت جریان متقاطع بر روی ضخامت لایه‌ی مرزی مؤثر است. هرچه سرعت جریان متقاطع کمتر باشد ، لایه‌ی مرزی ضخیم‌تر می‌شود. در لایه‌ی مرزی ضخیم‌تر ، مقدار تجمع جامدات در لایه بیشتر می‌شود و به‌دلیل افزایش ضخامت ، جامدات زمان بیشتری را در لایه سپری می‌کنند. از این طریق می‌توان پتانسیل لای‌گرفتنگی شدت یافته را تنظیم نمود.

یک ممبرین خراب دو مسأله‌ی اصلی را در رابطه با میزان عملکرد از خود نشان می‌دهد : بیشتر بودن فشار عملیاتی نسبت به حالت عادی (برای جبران کم شدن شدت نفوذ در ممبرین در فشار ثابت) و بیشتر شدن افت فشار نسبت به حالت عادی. هم‌چنان‌که رسوبات بر روی سطح ممبرین جمع می‌شوند ، یک لایه‌ی اضافی و مانع جهت انتقال از میان ممبرین را ایجاد می‌کنند (شکل ۳-۴ را ببینید). این مانع اضافی به نیروی محرکه‌ی بزرگ‌تری ، یا فشار عملیاتی بزرگ‌تر ، نیاز دارد. در اثر افزایش مقاومت در برابر جریان متقاطع ، به‌علت وجود لایه‌ی از رسوبات ، افت فشار بیشتر می‌شود. افت فشار یعنی فشار محوری در مدول ممبرین (بخش ۳-۱-۳-۱۱ را ببینید). اگر افت فشار به‌اندازه‌ی کافی بالا باشد ، فشار محوری در مدول ممبرین می‌تواند به‌قدری زیاد شود که باعث شکسته شدن ممبرین و مدول گردد (شکل‌های ۵-۱۱ و ۶-۱۱ را ببینید). این شکسته شدن می‌تواند به‌عنوان ترک‌هایی بر روی پوشش خارجی مدول و یا ترک‌های بسیار ریز در ممبرین‌ها و فضا‌های جداکننده ظاهر شود (به ترتیب شکل 3.5A و B).

شکل ۳-۴ لایه‌ی رسوبی بر روی سطح ممبرین ، یک مانع اضافی در برابر انتقال آب تصفیه شده ایجاد می‌کند که برای اعمال نیرو جهت انجام نفوذ از میان لایه‌ی رسوبی به فشار زیادتری نیاز می‌باشد.



شکل ۳-۵ ترک بر روی پوشش خارجی مدول (a) و ترک‌های بسیار ریز در ممبرین‌ها و فضا‌های جداکننده (b) به‌علت زیاد شدن افت فشار



لای‌گرفتگی یک ممبرین روپدادی است که در ابتدای فیلتراسیون فیزیکی رخ می‌دهد، اگرچه در برخی مواقع، بار الکتریکی ذرات می‌تواند قابلیت لای‌گرفتگی را در یک غشای RO تعیین نماید (مانند حالتی که منعقدکننده‌های کاتیونی برای غشای پلی‌آمیدی RO با بارمتفی به‌کار برده می‌شوند - بخش ۱-۱-۱-۸ را ببینید). معمولاً مدول‌های غشایی جلویی در یک سیستم RO، بیشتر در معرض لای‌گرفتگی قرار دارند (مدول غشایی "جلویی"، مدول انتهایی در یک لوله‌ی تحت فشار است که آب خوراک در ابتدا با آن تماس پیدا می‌کند). در این مورد، لای‌گرفتگی میکروبی یک استثناء محسوب می‌شود. میکروب‌ها می‌توانند در هر کجا از سیستم غشایی که شرایط رشد فراهم باشد، کلونی ایجاد کنند. کلونی‌های ماهواره‌ای می‌توانند تقسیم شوند و خودشان را در سیستم پراکنده‌تر کنند. توجه کنید که چنان‌چه شرایط مناسب، حتی برای مدت زمان کوتاهی، برای لای‌گرفتگی فراهم شود، برای یک غشاء می‌تواند لای‌گرفتگی طولانی‌مدت و حتی دائمی اتفاق بیفتد.

۳-۸ رسوب گذاری

در اثر رسوب نمک‌های اشباع بر روی سطح غشاء، ممبرین‌های RO دچار رسوب‌گرفتگی می‌شوند. جدول ۳-۵ فهرستی از رهنمودهای مربوط به کیفیت آب برای حداقل شدن رسوب‌گرفتگی در غشاء‌های RO را ارائه می‌دهد. این جدول دربرگیرنده‌ی انواع زیر است:

- رسوبات کلسیم ، از قبیل کربنات ، سولفات ، فلوراید ، و فسفات ،
- سیلیکای واکنش پذیر ، که در جریان دفع شده از RO اندازه گیری می شود و تابعی از درجه حرارت و pH می باشد ، و
- رسوبات سولفاتی فلزات نادر ، مانند باریوم و استرنسیوم .

رسوب گرفتگی با افزایش شدت نفوذ و کاهش سرعت جریان متقاطع تشدید می شود ، به همان طریقی که لای گرفتگی افزایش می یابد. شدت نفوذ بالاتر ، مواد حل شده ی زیادتری را با سرعت بیشتر به لایه ی مرزی قطبش غلظتی وارد می کند. اگر غلظت مواد حل شده در لایه ی مرزی به حالت اشباع برسد ، این مواد بر روی غشاء رسوب می کنند. هر قدر سرعت جریان متقاطع کمتر باشد ، لایه ی مرزی ضخیم تر می شود. این امر زمان اقامت مواد محلول را در لایه ی مرزی زیاد کرده و احتمال رسیدن به حالت اشباع و تشکیل رسوب را افزایش می دهد.

جدول ۳-۵ رهنمودهای مربوط به کیفیت آب برای حداقل شدن رسوب گرفتگی در غشاءهای RO

| انواع | مقیاس | مقدار |
|--------------------|-------|-------|
| سیلیکا (محلول) | ppm | 200 * |
| باريوم ، استرنسیوم | ppm | <0.05 |
| کلسیم | LSI | <0 ** |

* موجود در جریان دفع شده از RO

** با آنتی اسکالنت مناسب می تواند تا ۲.۵-۲.۰ برسد

یک ممبرین رسوب گرفته سه مسأله ی اصلی را در رابطه با میزان عملکرد از خود نشان می دهد : بیشتر بودن فشار عملیاتی نسبت به حالت عادی (برای جبران کم شدن شدت نفوذ در ممبرین در فشار ثابت) ، بیشتر شدن افت فشار ، و کمتر شدن مقدار دفع نمک نسبت به مقدار پیش بینی شده. هم چنان که رسوبات بر روی سطح ممبرین جمع می شوند ، یک لایه ی اضافی و مانع جهت انتقال از میان ممبرین را ایجاد می کنند. چنان چه بخواهیم مقدار بازدهی ثابت باقی بماند ، باید نیروی محرکه ی بیشتری را برای راندن آب به درون این مانع اعمال نماییم. به علت مقاومت لایه ی رسوب در برابر جریان متقاطع ، افت فشار بیشتر می شود. دفع نمک کمتر تابعی از قطبش غلظتی است ، زیرا غلظت مواد معدنی رسوب شده در سطح غشاء بیشتر از مقدار آن در حجم محلول می باشد. بنابراین ، ممبرین غلظت بیشتر را "می بیند" و اگر چه مقدار اصلی دفع در غشاء ثابت می باشد ، اما مقدار حقیقی ماده ی حل شده که از میان غشاء عبور می کند بزرگ تر است (معادله ی ۲-۴ را ببینید که شدت نفوذ یک ماده ی حل شده را از میان یک غشاء RO ، به عنوان تابعی از اختلاف غلظت ماده ی حل شده بین لایه ی مرزی و جریان آب تصفیه شده ، پیش بینی می کند). به هر حال ، مقدار دفع ظاهری و خلوص محصول کمتر می باشد.

چون رسوب‌گذاری پدیده‌ای مرتبط با غلظت است، به همین دلیل محتمل‌تر است که رسوب در مراحل نهایی یک سیستم RO یافت گردد زیرا غلظت نمک‌ها بیشتر می‌باشد. برای تعیین قابلیت تشکیل رسوب برای یک نمک، تولید یون در نمک مورد نظر (موجود در جریان دفع شده) با مقدار حلالیت آن در شرایط مربوط به جریان دفع شده مقایسه می‌شود.

معادله‌ی ۳-۷ تولید یون در هر درجه از حالت اشباع را تعریف می‌کند:

$$IP = [آنیون]^b [کاتیون]^a \quad (3-7)$$

که:

$$IP = \text{تولید یون}$$

$$[کاتیون] = \text{غلظت کاتیون}$$

$$[آنیون] = \text{غلظت آنیون}$$

بالا نویس‌ها:

$$a = \text{مقدار کاتیون موجود در نمک}$$

$$b = \text{مقدار آنیون موجود در نمک}$$

معادله‌ی ۳-۸ حلالیت محصول در حالت اشباع را تعریف می‌کند:

$$K_{SP} = [آنیون]^b [کاتیون]^a \quad (3-8)$$

که:

$$K_{SP} = \text{حلالیت محصول}$$

$$[کاتیون] = \text{غلظت کاتیون}$$

$$[آنیون] = \text{غلظت آنیون}$$

بالا نویس‌ها:

$$a = \text{مقدار کاتیون موجود در نمک}$$

$$b = \text{مقدار آنیون موجود در نمک}$$

به‌طور کلی ، وقتی که تولید یون بیشتر از حلالیت محصول باشد ، رسوب ایجاد می‌شود. در مورد رسوبات سولفاتی ، رسوب‌دهی وقتی اتفاق می‌افتد که تولید یون بزرگ‌تر از ۸۰ درصد حلالیت محصول باشد.

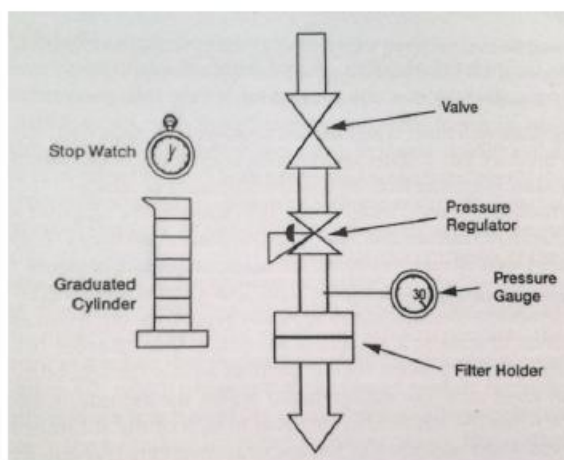
برای کمک در تعیین رسوب‌دهی یک نمک بر روی غشای RO ، از شاخص‌های رسوب‌دهی استفاده می‌شود. معمولاً از شاخص اشباع (LSI) Langelier و شاخص اشباع Stiff-Davis برای پیش‌بینی رسوب‌دهی کربنات کلسیم استفاده می‌شود (بخش ۱۰-۳ را ببینید). معمولاً برنامه‌های طراحی که توسط سازندگان ممبرین ایجاد می‌شوند ، شاخص‌های رسوب‌گذاری را برای دیگر رسوبات به‌عنوان درصدی از حالت اشباع گزارش می‌کنند (بخش ۱۰ را ببینید). در بیشتر نمک‌ها وقتی که تولید یون مساوی با ثابت حلالیت باشد ، شاخص رسوب‌گذاری ۱۰۰ درصد می‌شود. در مورد رسوبات سولفاتی ، وقتی که تولید یون مساوی با ۸۰ درصد از ثابت حلالیت باشد ، شاخص اشباع ۱۰۰ درصد می‌شود. وقتی که شاخص اشباع ۱۰۰ درصد یا بیشتر باشد ، باید آب خوراک را سختی‌گیری کرد یا از آنتی‌اسکالنت‌ها استفاده نمود.

۳-۹ شاخص تراکم گل و لای

شاخص تراکم گل و لای (SDI) آزمونی برای اندازه‌گیری قابلیت ایجاد گل و لای آب ورودی بر روی غشاء RO توسط جامدات معلق و کلونیدها می‌باشد. این آزمون عبارت است از اندازه‌گیری زمان جاری شدن آب ورودی از میان یک لایه فیلتر ۰.۴۵ میکرونی.

شکل ۳-۶ مواد اساسی لازم جهت انجام آزمون SDI را نشان می‌دهد. دستگاه نشان داده شده در شکل ۳-۶ تا جایی که ممکن است باید به ورودی RO نزدیک باشد (در صورت امکان ، بهتر است بین فیلترهای کارتریج و RO قرار بگیرد).

شکل ۳-۶ لوازم مربوط به آزمون شاخص تراکم گل و لای و تجهیزات اضافی



برای انجام مراحل آزمون SDI باید یک لایه فیلتر ۰.۴۵ میکرونی داخل محفظه‌ی شفاف قرار گیرد. از مقدار کمی آب بطری برای مرطوب کردن لایه‌ی فیلتر و استقرار کامل آن استفاده می‌شود. (اگر لایه‌ی فیلتر علائمی از وجود حباب‌های هوا نشان دهد یا به دلیل کثیف شدن رسوب از روی محفظه‌ی فیلتر، پوشش رسوبی نامنظمی بر روی لایه‌ی فیلتر قرار گیرد، فیلتر به درستی قرار نمی‌گیرد و آزمون SDI نامعتبر می‌شود). شیر جدا کننده باز شده و رگلاتور فشار بر روی ۳۰ psi تنظیم می‌شود. سپس زمان لازم برای جمع شدن ۵۰۰ ml از آبی که از لایه‌ی فیلتر ۰.۴۵ میکرونی عبور کرده است، ثبت می‌گردد. پس از جمع شدن این حجم از آب، به آب اجازه داده می‌شود که به طور پیوسته به مدت ۱۵ دقیقه از میان فیلتر عبور کند. در صورت نیاز، باید فشار را تنظیم کرد تا روی ۳۰ psi ثابت بماند. پس از اتمام ۱۵ دقیقه، زمان لازم برای جمع شدن ۵۰۰ ml آب دیگر ثبت می‌شود. سپس هر دو زمان ثبت شده در معادله‌ی ۳-۹ قرار می‌گیرند تا مقدار SDI محاسبه گردد (توجه داشته باشید که SDI بدون واحد است):

$$SDI_n = \frac{1 - \frac{t_0}{t_n}}{n} \times 100 \quad (3-9)$$

که:

n = زمان اجرای کل، ۱۵ دقیقه

t_0 = زمان جمع‌آوری ۵۰۰ ml از آب ورودی در زمان صفر، بر حسب ثانیه

t_n = زمان جمع‌آوری ۵۰۰ ml از آب ورودی در زمان n (15 min)، بر حسب ثانیه

این آزمون باید در فشار ۳۰ psi انجام شود. همان طوری که در بالا ذکر گردید، اگر فشار در طی انجام آزمون افت کند، باید آن را تنظیم کرد تا به ۳۰ psi برگردد.

(هم‌چنین توجه کنید که مدت زمان انجام آزمون SDI ۵ و ۱۰ دقیقه است. به‌رحال، بیشتر مراجع مربوط به SDI مدت زمان ۱۵ دقیقه را ذکر کرده‌اند، مگر اینکه غیر از آن اعلام شده باشد.)

بیشترین مقدار SDI_{15} که می‌تواند با استفاده از معادله‌ی ۳-۹ محاسبه شود وقتی است که زمان آخرین جمع‌آوری ۵۰۰ ml آب، t_n ، بی‌نهایت باشد. در این حالت حداکثر مقدار SDI_{15} مساوی با $100 \times (1/15)$ یا ۶.۷ می‌باشد.

آزمون SDI باید به‌طور درخط با استفاده از نمونه‌ی آب خوراک انجام شود؛ انتقال نمونه به آزمایشگاه برای انجام آزمایش توصیه نمی‌شود، چون جامدات ته‌نشین شده در ظرف انتقال یا چسبیده به آن باعث نامعتبر شدن آزمون می‌شوند. بیشتر ترجیح داده می‌شود که شاخص تراکم گل و لای تا جایی که امکان دارد به جریان ورودی به RO نزدیک باشد، یعنی بعد از فیلتر کارتریج. چنانچه میسر نباشد که این آزمون بعد از فیلتر کارتریج انجام شود، بهترین مکان بعدی، قبل از فیلتر کارتریج می‌باشد. آب باید از طریق دریچه یا شیر نمونه‌گیری حداقل به مدت یک ساعت و ترجیحاً یک شب قبل از انجام آزمون SDI جریان داشته باشد.

انجام این کار ضروری است تا نمونه‌ی آب خوراک عاری از مواد جامدی شود که ممکن است با گذشت زمان در دریچه یا شیر نمونه‌گیری جمع شده باشند.

اگرچه هیچ دستگاه سنجش SDI واقعاً خودکار نمی‌باشد، علاوه‌بر دستگاه دستی نشان داده شده در شکل ۶-۳، دستگاه‌های نیمه خودکاری نیز وجود دارند. این واحدهای نیمه خودکار آزمون SDI، شامل زمان ستجی و جمع‌آوری آب از فیلتر SDI را انجام می‌دهند. برای تعویض لایه‌ی فیلتر SDI و ثبت نتایج آزمایش، دخالت انسان لازم می‌باشد. توجه داشته باشید که پس از هر بار استفاده از دستگاه‌های خودکار، باید آن‌ها را با آب دارای کیفیت بالا به‌شدت شست، چون نقاط "کوری" در مسیر وجود دارند که آلودگی‌ها و باکتری‌ها می‌توانند در آن‌ها جمع شده و لوله را دچار لای‌گرفتگی کنند. اگر شستشوی سریع انجام نشود، این آلاینده‌ها متعاقباً بر روی آزمون‌های SDI تأثیر می‌گذارند.

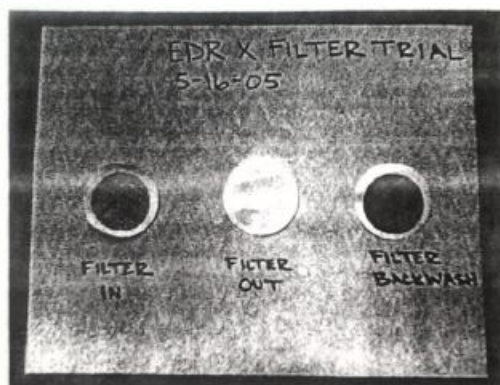
SDI کمتر معادل با قابلیت کمتر جهت لای‌گرفتگی یک غشاء توسط جامدات معلق می‌باشد. مقدار SDI₁₅ باید از ۵ کمتر باشد تا سازندگان ممبرین، محصول‌شان را ضمانت کنند. به‌هرحال، حتی اگر SDI کمتر از ۵ نیز باشد، ممکن است که آب بتواند بر روی ممبرین لای ایجاد کند. عملاً باید مقدار SDI₁₅ کمتر از ۳ باشد تا قابلیت لای‌گرفتگی به سطح قابل قبولی برسد.

توجه داشته باشید که SDI و کدورت ارتباط اندکی با هم دارند. به‌طور کلی، در کدورت بالاتر، SDI نیز بالاتر خواهد بود. به‌هرحال، کدورت پایین ($< 1 \text{ NTU}$)، به‌نوبه‌ی خود حاکی از کم بودن SDI (< 5) نمی‌باشد.

شکل ۷-۳ لایه‌های فیلتری SDI، که قبل و بعد از فیلتر مولتی‌مدیا نصب شده‌اند تا آب ورودی به RO را تصفیه کنند، را نشان می‌دهد. لایه‌های موجود در این شکل دو نکته‌ی مهم را نشان می‌دهند. نکته‌ی اول این‌که، با مشاهده‌ی لایه‌های فیلتر می‌توان درباره‌ی بازدهی فیلتر مولتی‌مدیا، جهت کاهش غلظت جامدات معلق در آب ورودی به RO، اطلاعاتی کسب نمود. نکته‌ی دوم این‌که، می‌توان لایه‌های فیلتری را جهت تعیین طبیعت رسوب موجود بر روی آن‌ها، تجزیه و تحلیل کرد. به‌روش بصری، رنگ‌های زیر نشانه‌هایی برای پتانسیل ویژه‌ی رسوبات می‌باشند:

- زرد: احتمالاً آهن یا مواد آلی
- قرمز تا قهوه‌ای مایل به قرمز: آهن
- سیاه: متگنز (اگر رنگ لایه‌های فیلتر در تماس با اسید پاک شود)

شکل ۷-۳ شاخص تراکم گل و لای برای لایه‌های فیلتر قبل و بعد از تصفیه شدن آب ورودی به‌وسیله‌ی RO



همچنین می‌توان لایه‌های فیلتر را برای تجزیه و تحلیل رسوب به آزمایشگاه فرستاد. نتایج حاصل از آنالیز رسوب به طراحی پیش‌تصفیه اختصاصی کمک خواهد کرد ، چون ذرات خاص با کمک کردن به بارگذاری جامدات معلق می‌توانند هدفی برای تصفیه باشند تا غلظت آن‌ها در آب ورودی به RO کاهش یابد .

۳-۱۰ شاخص اشباع Langelier

شاخص اشباع (LSI) Langelier روشی برای تعیین کیفیت رسوب‌گذاری یا تمایل به خوردگی آب می‌باشد. در اصل از این شاخص برای آب خنک‌کننده استفاده می‌شود. LSI مبتنی بر pH و درجه‌حرارت آب مورد نظر ، همچنین غلظت‌های TDS ، سختی کلسیم ، و قلیائیت می‌باشد.

شاخص اشباع Langelier با استفاده از معادله‌ی ۳-۱۰ محاسبه می‌شود :

$$LSI = pH - pH_a \quad (3-10)$$

که :

$$pH_a = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (3-11)$$

و :

$A = (\text{Log}_{10}[\text{TDS}]-1)/10$ ، که [TDS] برحسب ppm است

$$B = -13.12 \times \text{Log}_{10}(^{\circ}\text{C}+273)+34.55$$

$C = \text{Log}_{10}[\text{Ca}^{2+}]-0.4$ ، که $[\text{Ca}^{2+}]$ برحسب ppm CaCO_3 است

$D = \text{Log}_{10}[\text{قلیائیت}]$ ، که [قلیائیت] بر حسب ppm CaCO_3 است

جدول ۳-۶ شاخص اشباع Langelier

| LSI | وضعیت |
|------|--|
| ۳.۰ | رسوب‌دهی بسیار شدید |
| ۲.۰ | رسوب‌دهی خیلی شدید |
| ۱.۰ | رسوب‌دهی شدید |
| ۰.۵ | رسوب‌دهی متوسط |
| ۰.۲ | رسوب‌دهی کم |
| ۰.۰ | آب پایدار (بدون رسوب) |
| -0.2 | بدون رسوب ، تمایل بسیار کم برای حل کردن رسوب |

اگر LSI بزرگتر از ۰ باشد ، یعنی آب تمایل دارد که رسوب کربنات کلسیم تشکیل دهد. اگر LSI مساوی با ۰ باشد ، یعنی آب در حالت تعادل شیمیایی قرار دارد. اگر LSI کوچکتر از ۰ باشد ، یعنی آب خورنده است (به جدول ۳-۶ مراجعه نمایید).

شاخص اشباع Langelier برای TDS تا حدود ۴۰۰۰ ppm معتبر است. در غلظت‌های بالاتری از TDS ، شاخص اشباع Stiff-Davis (SDSI) استفاده می‌شود ، معادله‌ی ۳-۱۲ :

$$SDSI = pH - pCa - p_{ALK} - K \quad (3-12)$$

که :

$$pCa = -\log_{10}[Ca^{2+}] \text{ که } [Ca^{2+}] \text{ برحسب ppm است}$$

$$p_{ALK} = -\log_{10}[\text{قلیائیت کل}] \text{ که قلیائیت بر حسب ppm است}$$

$$K = \text{یک عدد ثابت براساس قدرت یونی و درجه حرارت}$$

در موارد مربوط به RO ، مثبت بودن LSI یا SDSI نشان می‌دهد که آب ورودی تمایل به تشکیل رسوب کربنات کلسیم دارد. در این شرایط ، وجود پیش تصفیه به شکل سختی گیر (با آهک یا مبدل یونی) ، یا استفاده از آنتی اسکالنت و/یا اسید ضروری می‌باشد.