



Integrated Kidney Care Solutions



+98 21 91303256



www.iDiasys.com



@ I_DIASYS

فصل ۷

اصول همودیالیز

پیشینه تاریخی

در سال ۱۸۶۱ توماس گراهام^۱ (شیمی‌دان اهل لندن) اصول کار پرده نیمه‌تراوا را گزارش داد. گراهام روند گذار و عبور انتخابی مواد را دیالیز نامید. سپس در سال ۱۹۱۳، ابل^۲، رونتري^۳ و ترنر^۴ با استفاده از لوله‌های مویینه دستگاہی را برای دیالیز خونی طراحی کردند. خون در لوله‌های این دستگاہ در گردش بود درحالی‌که لوله‌ها در مخزنی از محلول نمکی قرار داشتند (تصویر ۷-۱).

این دستگاہ در درمان حیوانات مبتلا به اورمی با موفقیت استفاده شد. بعدها، پس از به‌کارگیری هپارین به‌عنوان ماده ضد انعقاد و دسترسی به سلولز برای ساخت لوله‌های سلوفان، کلف^۵ و برک^۶ موفق به ساخت اولین دستگاہ کلیه مصنوعی شدند. آن‌ها از یک طبل دوار که از میله‌های باریک چوبی ساخته شده بود، استفاده کردند که با ماریچی از لوله‌های سلوفانی پوشیده شده بود. درحالی‌که خون با حرکت دوار طبل در لوله‌ها در گردش بود، قسمت تحتانی طبل در حوضچه‌ای از مایع دیالیز فروبرده می‌شد. در سال ۱۹۴۸ سگز^۷ و لئوناردز^۸، صافی صفحه‌مانندی را با ساختار موازی ساختند. اولین صافی یک‌بارمصرف به‌نام کوئل (صافی دورهم پیچیده از جنس سلوفان) دوتایی تراونول^۹ در سال ۱۹۵۶ وارد بازار شد. حدود سال ۱۹۶۵ گامبرو^{۱۰} تولید صافی‌های صفحه‌ای یا Plate موازی یک‌بارمصرف را آغاز کرد؛ درحالی‌که در همان زمان کلیه‌های مصنوعی با الیاف توخالی^{۱۱} در ایالات متحده به مرحله بهره‌برداری رسیده بود.

¹ Thomas Graham

² Abel

³ Rowntree

⁴ Turner

⁵ Kolff

⁶ Berk

⁷ Skeggs

⁸ Leonards

⁹ Travenol

¹⁰ Gambro

¹¹ Hollow- fiber

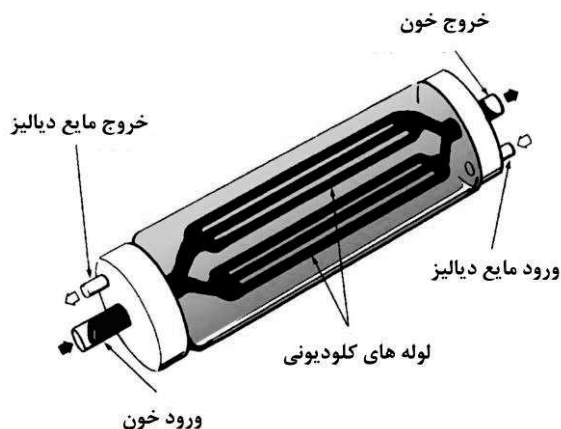
انتقال مواد محلول

همودیالیز به چه معناست؟

همو به معنای خون است و دیالیز به جدا کردن یا فرآیند پالایش اشاره دارد. سموم یا مواد زائد متابولیک توسط یک پرده نیمه تراوا از خون پالایش و از راه مایع دیالیز بیرون ریخته می‌شوند. اهداف همودیالیز، درمان اورمی، برداشت اضافه بار مایع تصحیح اختلال الکترولیتی ناشی از بیماری مزمن کلیه است.

کدام یک از مواد زائد سمی در طی درمان با دیالیز برداشت می‌شوند؟

در سندرم اورمی، میزان زیادی از مواد زائد سمی جمع می‌شوند (به فصل ۴ مراجعه کنید). اندازه مولکولی بسیاری از این مواد کمتر از ۵۰۰ دالتون است. دالتون یک واحد جرم مولکولی است و گاهی واحد توده یا جرم اتمی (amu) نامیده می‌شود. ذرات با اندازه کمتر از ۵۰۰ دالتون به آسانی از غشاهای سلولزی انتشار می‌یابند. ذرات در اندازه ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ دالتون که گاهی مولکول‌های متوسط نامیده می‌شوند، از خلال



تصویر ۷-۱ دستگاه دیالیز ابل، رونتری و ترنر

چنین غشاهایی به سختی انتشار می‌یابند. اینکه پلی‌پپتیدهایی در این اندازه عامل ایجاد برخی نشانه‌های سندرم اورمیک باشند، جای بحث است؛ اگرچه این موضوع ثابت نشده است. مولکول‌های بزرگ‌تر از ۳۰۰۰ دالتون عموماً توکسین به‌شمار نمی‌آیند به‌جز بتا ۲-میکروگلوبولین (۱۱۸۰۰ دالتون) که عامل بیماری آمیلوئیدوز، بیماری‌های استخوانی و کم‌خونی است. برای اطلاع از وزن مولکولی برخی مواد، جدول ۷-۱ را ملاحظه کنید.

جدول ۷-۱ وزن مولکولی برخی از مواد شایع

Substance	Molecular Weight (Da)	Substance	Molecular Weight (Da)
Acetylsalicylic acid (aspirin)	180	Hemoglobin	68,800
Albumin	68,000	Insulin	5500
β_2 -Microglobulin	11,600	Myoglobin	17,000
Cholesterol	386	Sodium	23
Creatinine	113	Urea	60
Dextrose	198	Vancomycin	1486
Glucose	180	Water	18

چه عواملی بر انتشار یا برداشت توکسین‌ها در دیالیز تأثیر دارند؟

- ۱- درجه حرارت محلول دیالیز؛ هرچه درجه حرارت بالاتر باشد، مواد محلول بیشتری برداشته می‌شود.
- ۲- سرعت جریان محلول همودیالیز؛ هرچه سرعت جریان محلول دیالیز بیشتر باشد، برداشت مواد حل‌شده بیشتر خواهد شد.
- ۳- سرعت جریان خون؛ سرعت بیشتر جریان خون یعنی برداشت بیشتر مواد.
- ۴- وزن مولکولی ماده؛ هرچه وزن مولکولی کوچک‌تر باشد، برداشت آن بیشتر می‌شود.
- ۵- شیب غلظت؛ شیب غلظت بیشتر یعنی مقدار انتشار بیشتر.
- ۶- نفوذپذیری غشا؛ هرچه نفوذپذیری غشا بیشتر باشد برداشت مواد بیشتر است.

پرده نیمه‌تراوا چیست؟

پرده نیمه‌تراوا پرده‌ای انتخابی است که مانند یک صافی عمل می‌کند. غشای نیمه‌تراوای مورد استفاده در دیالیز به آب و بعضی مواد (نه تمام مواد) اجازه عبور می‌دهد. این امر به علت وجود روزنه یا روزنه‌های بسیار ریز^{۱۲} در غشا است. ذراتی که بزرگ‌تر از این روزنه‌ها هستند، نمی‌توانند از آن بگذرند و باقی می‌مانند. ذراتی که به اندازه کافی کوچک‌اند از این روزنه‌ها عبور می‌کنند. میزان عبور این ذرات با اندازه آن‌ها نسبت عکس دارد؛ یعنی ذرات بسیار کوچک نسبت به ذرات درشت‌تر با سرعت بیشتری عبور می‌کنند.

¹² Submicroscopic



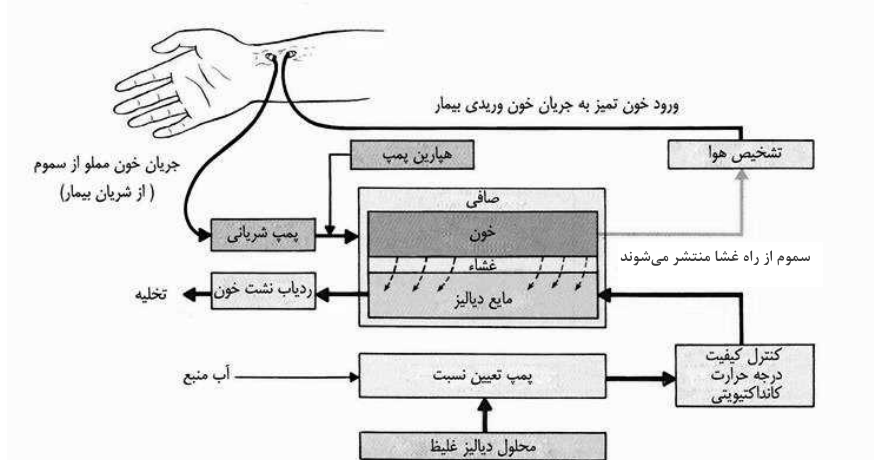
تصویر ۷-۲ پرده نیمه تراوا

عملکرد غشاء نیمه تراوا در همودیالیز چگونه است؟

خون بیمار از فضایی که به وسیله پرده نیمه تراوا تشکیل شده است، عبور می کند. مایع دیالیز، این محفظه را در برگرفته است. گویچه های قرمز خون، گویچه های سفید خون، پلاکت ها و اکثر پروتئین های پلاسما، بزرگ تر از آن هستند که از روزنه های پرده نیمه تراوا بگذرند. آب و ذرات کوچک مثل الکترولیت ها، اوره (۶۰ دالتون) کراتینین (۱۱۳ دالتون) و گلوکز (۱۸۴ دالتون) از طریق انتشار عبور می کنند (تصویر ۷-۲).

انتشار چیست؟

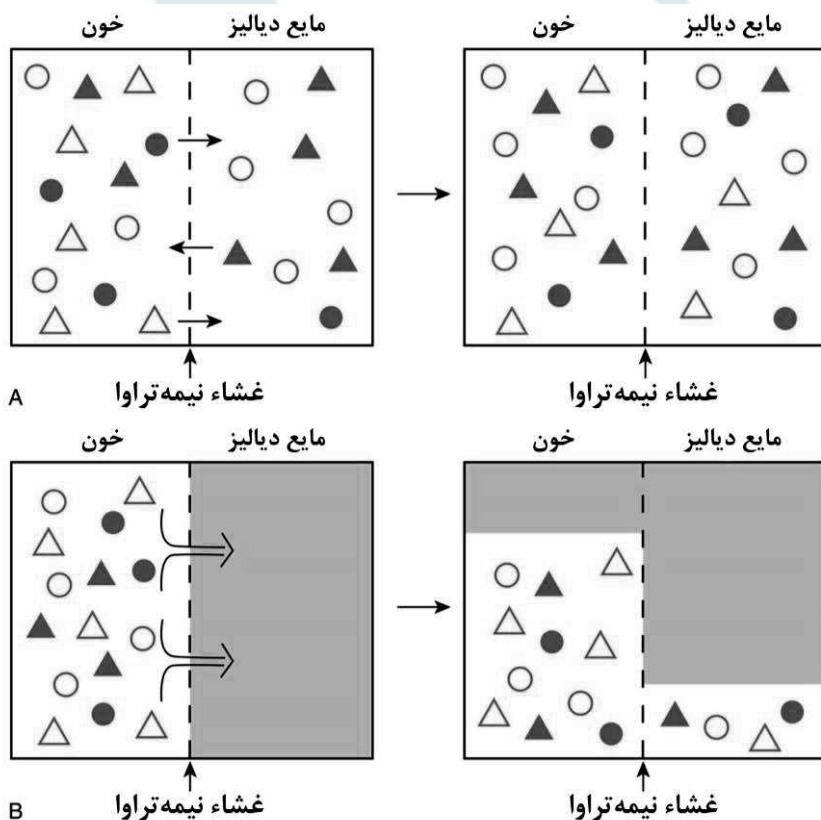
انتشار یا گذار هدایت شده عبارت است از؛ حرکت مواد از یک ناحیه با غلظت بیشتر به ناحیه ای با غلظت کمتر. مولکول های موجود در محلول، حرکت دائمی دارند. آن ها تمایل دارند در تمام محلول به طور یکنواخت منتشر شوند. میزان جابه جایی مواد به غلظت، اندازه و بار الکتریکی ذرات بستگی دارد. اساس دیالیز، انتشار ذرات از طریق پرده نیمه تراوا است. انتشار تا زمان برقراری تعادل ادامه می یابد (تصویر ۷-۳).



تصویر ۷-۳ سیستم معمول هودیالیز. سموم داخل خون بیمار در طول غشاء انتشار می یابد و در داخل صافی در کنار محلول دیالیز قرار می گیرد. خون پاکیزه به بدن بیمار باز می گردد.

چرا همه آب و مواد حل شده داخل خون از راه صافی دیالیز برداشت نمی شوند؟

مایع دیالیز، محلولی دارای الکترولیت‌های مشابه ترکیب طبیعی پلاسما است. مولکول‌های آب، الکترولیت‌ها و دیگر ذرات کوچک از ورای غشا در هر دو سو حرکت می کنند. فقط اگر غلظت یک نوع خاص از ذرات در یک سمت غشا بیشتر از سمت دیگر باشد، آن ذرات از سمت غلیظتر به سمتی که غلظت کمتر است، حرکت می کنند. مواد محلول و فرآورده‌های زائدی که اندازه مولکولی کوچک دارند، از سمت خون (با غلظت بیشتر) به سمت محلول دیالیز (با غلظت کمتر) انتشار می یابند. وجود این شیب غلظت که به زبان ساده همان تفاوت غلظت است، در برداشت مواد محلول در طی دیالیز ضروری است (تصویر ۴-۷).



تصویر ۴-۷ انتشار در یک غشای نیمه تراوا. املاح با غلظت بالاتر در محفظه خون (پتاسیم با دایره توپر نشان داده می شود و سموم اورمیک با مثلث توخالی نشان داده می شود) به دلیل گرایان غلظتی املاح به طور آزادانه در سراسر غشاء نیمه تراوا منتشر می شوند. املاح با غلظت مشابه در هر دو محفظه (کلرید سدیم با دایره های توخالی نشان داده شده است) حرکت کمی در سراسر غشاء خواهند داشت.

آیا غشاهای نسبت به مولکول‌های متوسط و درشت تراوا هستند؟

مواد سنتتیک متعددی برای غشای صافی‌های-فلاکس به کار برده می‌شوند. این مواد عبارت‌اند از: پلی‌اکریلونیتریل (PAN)، پلی‌کربنات، پلی‌سولفون، پلی‌آمید، پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) و مواد دیگر.

سرعت انتقال توده‌ای یا فلاکس^{۱۳} ذرات حل شونده چیست؟

کلیه‌های مصنوعی یا صافی‌ها برای برداشت مواد زائد متابولیک از بدن، برقراری تعادل آب و الکترولیت‌ها و اصلاح اختلالات اسید و باز طراحی شده‌اند. فرآیند دیالیز شامل؛ برداشت مواد ناخواسته یا اضافی، آب اضافی خون از ورای غشای نیمه‌تراوا است. واژه مهندسی برای چنین انتقالی، انتقال توده‌ای است و میزان این حرکت را سرعت انتقال توده‌ای یا فلاکس ذرات حل شونده می‌نامند.

چه عواملی بر سرعت انتقال توده‌ای تأثیرگذار است؟

در یک دمای یکنواخت، فلاکس توسط شیب غلظت ماده حل‌شده و ویژگی‌های فیزیکی صافی مدیریت می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی صافی عبارت‌اند از: سطح مؤثر غشا، نفوذپذیری غشا، سرعت جریان خون و محلول دیالیز و ژئومتری جریان. سرعت انتقال توده‌ای به‌طور دائم در تمام مدت فرآیند دیالیز در حال تغییر است.

ژئومتری جریان به چه معناست؟

ژئومتری جریان به معنای جهت جریان محلول دیالیز و خون است. زمانی که جریان خون و محلول دیالیز در خلاف جهت یکدیگر در حرکت باشند، این جریان مخالف، حداکثر شیب غلظت را ایجاد می‌کند. اگر جریان خون و محلول دیالیز هر دو در یک‌جهت حرکت کنند، شیب غلظت بسیار کمتری خواهد داشت.

انتقال

منظور از انتقال انتشاری چیست؟

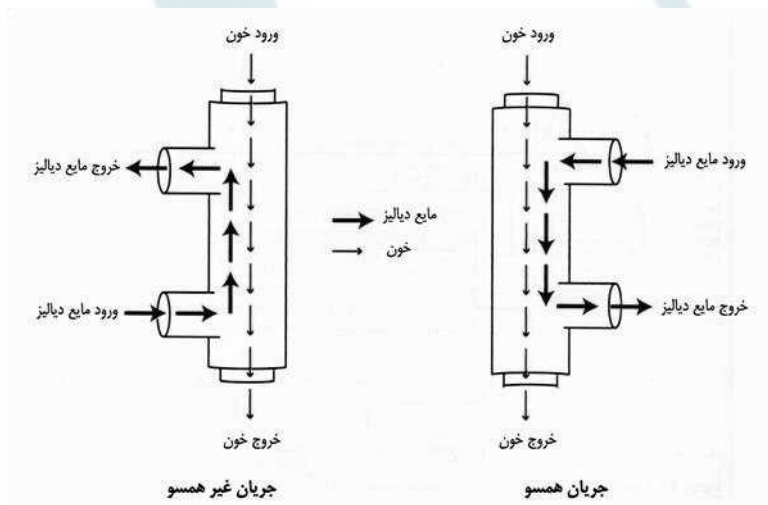
همان‌طور که ذکر شد، ذرات محلول، از خلال غشاء دیالیز و از سمت با غلظت بالاتر به سمت با غلظت کمتر انتشار می‌یابند. این حرکت، انتقال انتشاری یا انتقال هدایتی نامیده می‌شوند که کمتر مصطلح است.

¹³ Flux

چه عواملی سرعت انتقال انتشاری را تعیین می کنند؟

سرعت انتقال به عوامل زیر بستگی دارد:

- ۱- شیب غلظت هر ماده در دو طرف غشا
- ۲- سطح غشا؛ هرچه سطح غشا بیشتر باشد، مواد بیشتری در واحد زمان عبور می کنند.
- ۳- ضریب انتقال توده ای یک ماده محلول خاص برای یک غشای خاص؛ ضریب انتقال توده ای برای غشاهای نازک تر یا دارای منافذ بیشتر، بالاتر است. البته ضریب انتقال توده ای به سرعت جریان خون و محلول دیالیز نیز بستگی دارد (تصویر ۷-۵).



تصویر ۷-۵ مثال هایی از جریان خون و محلول در صافی هالوفایبر

ضریب غربال^{۱۴} صافی چیست؟

میزان جابجایی املاح در یک غشاء متناسب با مقدار مایع اولترافیلتره شده است و بستگی به نسبت اندازه ذرات در مقابل اندازه روزنه ها دارد. اگر نسبت سایز روزنه به ذره زیاد باشد محدودیتی در انتقال ماده وجود ندارد و ضریب غربال صافی یک است. اگر هیچ ذره ای نتواند از صافی عبور کند، ضریب غربال صافی صفر است.

¹⁴ Sieving Coefficient

انتقال همرفت^{۱۵} چیست؟

وقتی به علت گرادیان فشار، آب از غشاء عبور می‌کند (اولترافیلتراسیون) اثر اصطکاکی روی مولکول‌های مواد محلول ایجاد می‌کند. مولکول‌ها یا ذرات با وزن مولکولی کوچک همراه با اولترافیلتراسیون می‌توانند به سرعت از طریق غشاء عبور کنند. به این حرکت مواد محلول همراه آب، انتقال همرفتی (که از کلمه لاتین convectus به معنی «حمل شده همراه با» گرفته شده است) یا solute drag گفته می‌شود.

چرا انتقال همرفت اهمیت دارد؟

ذرات محلول بزرگ‌تر از ۵۰۰ دالتون ضریب غربال کوچکی دارند؛ اما به علت انتقال انتشاری کم، روش عمده انتقال آن‌ها همرفت است. انتقال همرفت در همودیالیز با صافی‌های های-فلاکس و در تکنیک‌های هموفیلتراسیون پیوسته شریانی و رییدی، همودیالیز و دیافیلتراسیون از اهمیت بالایی برخوردار است.

منظور از کلیرانس چیست؟

کلیرانس عبارت است از؛ حجمی از خون که در زمان معین به‌طور کامل از یک ماده پاک می‌شود. کلیرانس برحسب میلی‌لیتر در دقیقه (ml/min) بیان می‌شود و یک حجم نظری است، نه واقعی. کنترل میزان مایع برداشت‌شده در دیالیز ضروری است. زمانی که در همودیالیز مایع تحت فشار برداشت می‌شود اولترافیلتراسیون انجام می‌گیرد. در اکثر صافی‌های موجود از هر دو فشار مثبت در قسمت خون و نیز فشار منفی در قسمت مایع دیالیز استفاده می‌شود (تصویر ۷-۶).

چگونه اولترافیلتراسیون رخ می‌دهد؟

فشار هیدروستاتیک، عبارت است از فشاری که مایع پلاسما را از محفظه خون به سمت محفظه مایع دیالیز می‌راند. میزان برداشت مایع تحت تأثیر اختلاف فشار هیدروستاتیک بین خون و فشار مایع دیالیز است. به این اختلاف فشار، Trans membran pressure یا (TMP) گفته می‌شود. TMP معرف فشارهای مثبت و منفی صافی است. فشار مثبت از سمت خون (در صافی) اعمال می‌شود و مایع پلاسما را با فشار بیرون می‌راند. فشار منفی از سمت مایع دیالیز (در صافی) اعمال می‌شود و آب را از سمت محفظه خون به سمت محفظه مایع دیالیز می‌کشد. اطمینان از اینکه در قسمت مایع دیالیز فشار مثبت‌تر و بیشتر از فشار در محفظه خونی نشود بسیار مهم است که این حالت باعث فیلتراسیون معکوس^{۱۶} می‌شود.

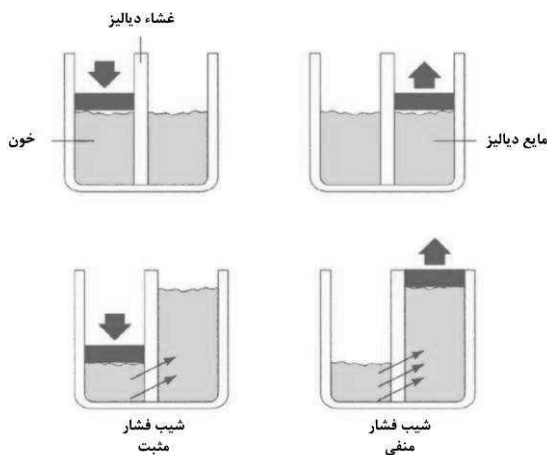
¹⁵ Convective Transport

¹⁶ Back Filtration

فیلتراسیون معکوس چیست؟

زمانی که فشار سمت فضای محلول دیالیز بیشتر از فشار سمت محفظه خون باشد، فیلتراسیون معکوس ایجاد می‌شود. هنگام دیالیز با صافی‌های -

فلاکس، سیستم کنترل اولترافیلتراسیون از برداشت بیش از اندازه مایع پیشگیری می‌کند. در این فرایند، نمودار حرکت خون و محلول دیالیز از خلال غشا و نزدیک به ورودی خون مثبت است (حرکت خون به طرف مایع) اما ممکن است تحت شرایط خاص، فشار در بخش خروجی منفی شود (حرکت مایع به سمت خون). حرکت مایع دیالیز به سمت خون، فیلتراسیون معکوس نامیده می‌شود.



تصویر ۶-۷ اولترافیلتراسیون

اهمیت فیلتراسیون معکوس چیست؟

آبی که در آماده‌سازی محلول دیالیز استفاده می‌شود، استریل نیست. علاوه بر آن، محلول غلیظ بی‌کربنات به تکثیر باکتری‌ها و ازدیاد آن‌ها کمک می‌کند. آندوتوکسین‌ها و محصولات دفعی تشکیل می‌شوند و ممکن است در فیلتراسیون معکوس از طریق صافی‌های های-فلاکس به داخل خون راه یابند. در این حالت، ممکن است واکنش‌های تب‌زا و نیز سایر عوارض جانبی رخ دهد.

چگونه می‌توان با اثرات فیلتراسیون معکوس مقابله کرد؟

می‌توان یک صافی مولکولی (اولترافیلتر) در مسیر ورود مایع، درست نزدیک به سر صافی قرار دارد. به این وسیله از غشاهای اولترافیلتراسیون استفاده می‌کنند تا ذرات معلق در اندازه مولکولی آب ورودی را حذف کنند (ولی این غشاء به مواد محلول اجازه عبور می‌دهد). باکتری و ذرات تب‌زا، توسط این اولترافیلتر به عقب رانده می‌شوند (فصل ۸ را ملاحظه کنید).

بین فشار هیدروستاتیک و میزان اولترافیلتراسیون چه رابطه‌ای وجود دارد؟

برای یک صافی خاص با هر TMP مقدار خاصی از مایع در واحد زمان برداشت می‌شود. در طی بررسی یک صافی جدید، میزان متوسط اولترافیلتراسیون به ازای هر میلی‌متر جیوه TMP محاسبه می‌شود که ضریب اولترافیلتراسیون (KUF) نامیده می‌شود و برای هر صافی منحصر به فرد است. ضریب اولترافیلتراسیون بر حسب میلی‌لیتر بر ساعت (ml/hr) است و تعریف آن میزان مایع برداشتی (بر حسب میلی‌لیتر) به ازای هر میلی‌متر جیوه فشار، در ساعت است. KUF بالاتر به معنی برداشت میزان بیشتری مایع است که با حداقل فشار وارده بر غشای نیمه‌تراوا ایجاد می‌شود. (برای اطلاع از چگونگی محاسبه TMP برای بیمار تحت درمان به فصل ۱۳ مراجعه کنید).

چه عواملی بر مقاومت در جریان خون تأثیر می‌گذارند؟

دو جزء اصلی مؤثر بر مقاومت در جریان خون عبارت‌اند از:

(۱) ویسکوزیتی خون

(۲) نحوه قرارگیری مسیر عبور خون

ویسکوزیتی عمدتاً به هماتوکریت مربوط می‌شود. ویسکوزیتی خون با هماتوکریت ۳۰ درصد تقریباً ۲ تا ۲/۵ برابر آب است.

جنبه‌های متعددی در زمینه نحوه قرارگیری مسیر خون اهمیت دارد که عبارت‌اند از:

- ❖ طول مسیر؛ صافی‌های دارای لوله موئینه به علت کوتاه بودن مسیر (۱۵ تا ۵۰ سانتی‌متر) مقاومت کمتری دارند.
- ❖ تعداد مسیرها؛ با وجود تعداد زیاد مسیرها، مقاومت تقسیم شده کاهش می‌یابد. صافی‌های دارای لوله موئینه، هزاران مسیر مختلف داشته بنابراین مقاومت کمتری دارند.
- ❖ مقطع عرضی مسیر؛ مسیرهای با مقطع عرضی بزرگ مقاومت کمتری دارند؛ مسیرهای با مقطع عرضی کوچک مقاومت زیادی دارند. در صافی‌هایی که لوله موئینه دارند عامل کنترل، اندازه شعاع داخلی فیبر است.

چگونه مقدار اولترافیلتراسیون در طی همودیالیز کنترل می‌شود؟

در گذشته، کنترل اولترافیلتراسیون از طریق تنظیم دستی TMP انجام می‌شد. فشارهای خروجی خون و ورودی مایع، متغیرهای حیاتی در محاسبه اولترافیلتراسیون به شمار می‌روند که غالباً دقیق نیستند. اطلاعات مربوط به KUF غالباً بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و توسط کارخانه سازنده در اختیار قرار داده می‌شود و ممکن است $\pm 30\%$ با آنچه به‌طور واقعی در بدن بیمار وجود دارد، متفاوت باشد. حتی با غشاهای سلولزی معمول و جریان خون ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه ممکن است اختلاف زیادی بین میزان برداشت مایع برنامه‌ریزی‌شده و میزان برداشت واقعی وجود داشته باشد. در صورت استفاده از صافی High Flux یا high-efficient تنظیم دقیق میزان انجام اولترافیلتراسیون بسیار سخت است و منجر به ساخت تجهیزاتی شده است که اولترافیلتراسیون را هر دقیقه کنترل می‌کند.

پروفایل اولترافیلتراسیون^{۱۷} چیست؟

اولترافیلتراسیون امکان برداشت مایع به میزان ثابت را در طی دیالیز فراهم می‌کند. پروفایل اولترافیلتراسیون نوعی فناوری است که بعضی از ماشین‌های دیالیز به آن مجهز هستند. با استفاده از آن حجم مایع برداشتی در طی دیالیز متفاوت است. معمولاً پرستار یا تکنسین دیالیز حجم مایعی که باید برداشت شود یا وزن هدف در آن جلسه دیالیز را وارد می‌کند. ماشین به‌طور خودکار حجم کلی را که باید برداشت شود به مدت‌زمان دیالیز تقسیم می‌کند. با استفاده از نمودار اولترافیلتراسیون، برداشت مایع بر اساس نمودار انتخابی متفاوت است. برای مثال، اگر بیماری را دیالیز می‌کنید که به‌طور معمول در پایان درمان دچار افت فشارخون می‌شود، با تنظیم ماشین دیالیز (با استفاده از پروفایل اولترافیلتراسیون) این امکان وجود دارد که بیشترین حجم مایع را در نیمه اول دیالیز برداشت کند، زمانی که مایع بیشتری برای برداشتن در دسترس است؛ بنابراین میزان برداشت مایع در زمان باقی‌مانده درمان کمتر است یعنی آن زمانی که مایعات کمتری برای پر کردن مجده فضای عروقی وجود دارد و از اپیزودهای افت فشارخون بیمار جلوگیری می‌شود. پروفایل‌های دیگری در دسترس است که بر اساس انواع نشانه‌های بالینی بیمار قبل از دیالیز، بین دو جلسه دیالیز و پس از دیالیز می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

تمام پروفایل‌ها، حجم کل مورد نیاز را در طی دیالیز از بیمار می‌گیرند اما با سرعت و در فواصل متفاوت. بنابراین با افزایش تحمل نسبت به دیالیز عوارض مربوط به برداشت مایع کمتر خواهد شد.

¹⁷ Ultrafiltration Profiling

در طی همودیالیز چه تغییراتی بین فضاهای مایع داخل سلولی و خارج سلولی رخ می‌دهد؟

آبی که در بدن بیمار تجمع یافته است با اولترافیلتراسیون برداشت می‌شود. اولترافیلتراسیون ابتدا از حجم خون در گردش یا بخش عروقی برداشت می‌شود سپس بخش عروقی مجدداً با مایع بخش خارج عروقی پر می‌شود. زمانی که اولترافیلتراسیون خیلی سریع رخ می‌دهد، میزان برداشت ممکن است از سرعت جایگزینی مایع از فضای خارج عروقی بسیار بیشتر شود و کاهش حجم خون و افت فشارخون بروز کند. پر شدن مجدد ناکافی عروق که عبارت است از حرکت ناکافی مایع در طی دیالیز از بافت‌ها به داخل فضای عروقی، علت اصلی افت فشارخون مربوط به دیالیز است.

تزریق وریدی محلول نمکی غلیظ، اسمولالیتی فضای عروقی و خارج عروقی را افزایش می‌دهد. این امر منجر به جذب مایع و پر شدن کافی فضای عروقی شده و از کاهش حجم خون که عامل افت فشارخون است، جلوگیری می‌کند.

سدیم مدلینگ (Sodium Modeling) چیست؟

سدیم مدلینگ ابزاری است که ممکن است برای کاهش برخی از عوارض همراه با همودیالیز سودمند باشد. عوارض خاص همودیالیز که می‌تواند با استفاده از این روش درمانی پیشگیری شود، عبارت‌اند از: افت فشارخون و گرفتگی دردناک ماهیچه‌ها.

درک درست چگونگی بروز این پیامدهای ناخوشایند برای شناخت این شگرد ضروری است. هنگامی که بیمار با همودیالیز درمان می‌شود، مایع پلاسما از فضای داخلی عروقی برداشت می‌شود. با دیالیز سریع، مایع در فضای داخل عروقی کاهش می‌یابد و پر شدن مجدد عروق از فضای خارج عروقی با سرعت کافی رخ نمی‌دهد. زمانی که حجم پلاسما کاهش یابد، افت فشارخون ایجاد می‌شود.

با کاهش حجم عروقی ممکن است گرفتگی دردناک ماهیچه‌ای اندام‌ها به علت ناهنجاری در خون‌رسانی آن‌ها بروز کند. کاهش آلبومین خون و نارسایی قلب راست نیز ممکن است در تأخیر در پر شدن دوباره عروق نقش داشته باشند.

سدیم مدلینگ کمک می‌کند در طی کشیده شدن آب، سرعت پر شدن مجدد فضای عروقی به حداکثر برسد. این روش شامل یک مدل کامپیوتری از حرکات سدیم و آب بین بخش‌های خون و محلول در طی دیالیز است. محتوای سدیم محلول دیالیز، بسته به برنامه‌ای که از پیش طراحی شده است در طی دیالیز تغییر می‌کند. غلظت سدیم محلول تحویلی به صافی افزایش می‌یابد تا به سطح بالاتری از غلظت سدیم

خون برسد. با این روش در ابتدا، سدیم محلول تا حد تقریباً ۱۵۰ تا ۱۶۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر افزایش و سپس در تمام طول درمان تقریباً تا حد ۱۴۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر کاهش می‌یابد. این امر ممکن است به دو روش انجام گیرد:

(۱) اضافه کردن سدیم کلراید با یک غلظت خاص (NaCl) به مایع دیالیز از طریق یک پمپ انفوزیون یا روش دوم که البته رایج‌تر هم هست:

(۲) تغییر میزان غلظت سدیم در طی دیالیز به طوری که در نهایت تغییر غلظت سدیم حاصل شود. برای مثال، معمولاً نسبت سدیم محلول دیالیز با محصولات که استفاده می‌شود $\text{mEq/L} 140$ است و با افزایش ۱۰ درصدی در غلظت محلول، ضمن تغییرات مختصر در غلظت سایر الکترولیت‌ها مثل پتاسیم و کلراید، سدیم نهایی محلول به $\text{mEq/L} 154$ می‌رسد. سطح سدیم را می‌توان تا حد $\text{mEq/L} 160$ افزایش داد. در دیالیز، بدون بروز هیچ عارضه جانبی سطح سدیم به آرامی به میزان طبیعی برمی‌گردد، اما بیمار باید از نظر بروز هایپرناترمی پس از دیالیز، مانیتور شود. بیمار ممکن است از افزایش تشنگی، پرفشاری خون یا افزایش وزن بین دو جلسه دیالیز ناشی از برنامه سدیم مدلینگ حین دیالیز شکایت کند. به همین دلیل، استفاده از سدیم مدلینگ به عنوان روشی برای حمایت از فشارخون حین درمان دیالیز و جلوگیری از سایر عوارض حین دیالیز مرتبط با برداشت مایعات، منع شده است. سایر اقدامات پیشگیرانه یا ابزارها برای مدیریت علائم حین دیالیز مانند کاهش دمای مایع دیالیز، عدم استفاده از داروهای کاهنده فشارخون قبل از دیالیز، افزایش زمان دیالیز و ارزیابی مکرر وزن هدف باید در نظر گرفته شود.

چه تکنیک‌های دیگری می‌تواند به حداکثر برداشت مایع در طی دیالیز کمک کند؟

crit-line monitor (CLM) ابزار کنترل مایع برداشتی است که کمک می‌کند آب اضافی بیمار به شیوه‌ای ایمن و مؤثر برداشت شود و بیمار به وزن ایده‌آل یا خشک خود برسد. این فناوری اجازه می‌دهد تا سرعت پر شدن مجدد پلاسما^{۱۸} بیمار مانیتور شود. سرعت پر شدن مجدد پلاسما را می‌توان با سرعت آب‌گیری ماشین مقایسه کرد. اگر سرعت برداشت مایع یا آب‌گیری از بیمار بیش از حجم مایعی باشد که به داخل فضای داخل عروقی منتقل می‌شود، پرستار دیالیز می‌تواند قبل از آنکه بیمار دچار کاهش حجم و افت فشارخون شود، مداخله کند. همچنین پرستار می‌تواند با تعیین سرعت برداشت مایع کمک کند تا

¹⁸ Refill

بیمار به وزن خشک خود برسد. کریت لاین به شیوه‌ای غیرتهاجمی، تغییرات حجم خون، درصد اشباع خون از اکسیژن و هماتوکریت را اندازه‌گیری می‌کند (اطلاعات بیشتر در مورد CLM در فصل ۱۳ وجود دارد).

چگونه تعادل اسید و باز در طی همودیالیز حاصل می‌شود؟

زمانی که در سال ۱۹۶۳ سیستم‌های پایش مداوم نسبت مایعات در محلول دیالیز معرفی شدند، به دلیل رسوب کلسیم و منیزیم، از بیکربنات در محلول‌های دیالیز استفاده نمی‌شد. برای پیشگیری از مشکل رسوب، از استات سدیم که در بدن به بی‌کربنات متابولیزه می‌شود، به عنوان جایگزین بیکربنات سدیم استفاده می‌شد. محلول با متعادل‌کننده (بافر) استات برای سال‌های طولانی استاندارد بود؛ اما زبان‌هایی به‌ویژه بروز بی‌ثباتی‌های قلبی-عروقی داشت.

انجام دیالیزهای سریع و کوتاه‌مدت و به‌کار بردن صافی‌های های-فلاکس، موجب استفاده محلول دیالیز با بافر بی‌کربنات شد. در حال حاضر، محلول دیالیز بی‌کربنات، محلول استاندارد مورد استفاده در بسیاری از مراکز است. یکی از اهداف همودیالیز، اصلاح اسیدوز همراه با نارسایی کلیه است. استفاده از بیکربنات به عنوان بافر در طول همودیالیز، اسیدوز را با افزودن باز و حذف اسید اصلاح می‌کند. در دیالیز، بیکربنات از محلول دیالیز به خون منتقل می‌شود. انتشار بیکربنات کمک می‌کند تا بیمار از طریق متعادل کردن یون‌های هیدروژن به تعادل اسید-باز برسد.

چگونه بی‌کربنات در تولید مایع دیالیز استفاده می‌شود؟

محلول‌های غلیظ دیالیز در دو بخش مجزا بسته‌بندی و عرضه می‌شوند: ۱- محلول غلیظ اسیدی شامل؛ مواد شیمیایی به‌جز بیکربنات سدیم همراه با مقدار کمی اسید و ۲- محلول غلیظ بیکربنات شامل؛ بیکربنات سدیم و مقداری کلرید سدیم (برای افزایش قابلیت هدایت با هدف نظارت) است. در این سیستم، سه جریان مایع با یکدیگر مخلوط می‌شوند: آب (۳۴ سهم)، اسید غلیظ (۱ سهم) و بیکربنات غلیظ (۱/۸ سهم).

انواع مختلفی از محلول‌های غلیظ با ترکیب‌ها و نسبت‌های مختلف استفاده می‌شود. هر نسبتی از محلول به غلظت خاصی از اسید و بیکربنات نیاز دارد. استفاده از غلظت‌های نامناسب ممکن است به آماده شدن محلول دیالیز با قابلیت هدایت درست اما ترکیب نادرست منجر شود. استفاده تصادفی از محلول‌های غلیظ اشتباه، می‌تواند یک خطای کشنده باشد بنابراین در سال ۲۰۰۸ پیشنهاد شد در تمام دستگاه‌های یک مرکز از یک نوع محلول با یک ترکیب مشخص استفاده شود. اگر در یک مرکز از محلول‌های گوناگون استفاده می‌شود باید از یکدیگر تفکیک شوند. محلول‌ها باید به‌وضوح برچسب‌گذاری شوند تا از اشتباهات احتمالی پیشگیری شود. علاوه بر آن تمام کارکنان باید آگاه باشند که در آن مرکز بیش از یک نوع محلول وجود دارد.

فصل ۸

تصفیه آب

آب یک ترکیب شیمیایی است که به طور کامل شناخته نشده است. شکل خالص آب، همان بارانی است که از ابر جدا می شود. آب از زمان جدا شدن از ابر تا رسیدن به زمین مقدار زیادی از آلودگی های موجود در مسیر را جذب می کند.

با پیشرفت فن آوری دیالیز، تولید آب با خلوص بالا که برای تهیه مایع دیالیز حیاتی است، به واقعیت تبدیل شده است. آب مورد استفاده برای تهیه مایع دیالیز باید بسیار فرآوری شده و به طور مداوم تحت نظارت باشد تا از ایمن بودن این آب برای استفاده در دیالیز بیمار اطمینان حاصل شود. مواد آلی یا اثر عناصر، حتی در مقادیر کم، ممکن است برای بیمار تحت درمان دیالیز مضر باشند زیرا این مواد به طور گسترده در مایع دیالیز قرار می گیرند. خوشبختانه علم تصفیه آب پیشرفت های موازی داشته است. غشاهای تقویت شده برای دستگاه های اسمز معکوس (RO)، دستگاه های اولترافیلتراسیون (UF) برای غربالگری اندوتوکسین ها و باکتری ها، و سیستم های نظارتی بهبود یافته در دیالیز استفاده می شوند.

چه ناخالصی هایی در آب وجود دارد؟

سه دسته آلودگی در آب وجود دارد که می تواند به بیمار و دستگاه دیالیز آسیب برساند عبارتند از:

(۱) مواد شیمیایی

(۲) باکتری ها و مواد حاصل از آن ها

(۳) ذرات معلق در آب

از مواد یادشده، مواد شیمیایی و باکتری ها می توانند به طور مستقیم به بیمار آسیب برسانند.

ناخالصی ها چگونه وارد آب می شوند؟

قطرات باران در مسیر پایین آمدن از هوای آلوده از دی اکسید کربن و دی اکسید سولفور عبور می کنند. این آلودگی ها به محلول های ضعیف اسید کربنیک و اسید سولفوریک تبدیل می شوند. قطرات باران به زمین برخورد و سپس از میان سنگ های آهکی - و مواد معدنی دیگر (بیکربنات کلسیم - سولفات کلسیم - کربنات

منیزیوم و دیگر نمک‌ها) عبور می‌کنند. کربنات کلسیم رایج‌ترین ناخالصی آب است و به‌عنوان سختی آب شناخته می‌شود.

چه مواد معدنی دیگری در آب وجود دارد؟

سدیم، کلراید، آهن، آلومینیوم، نیتрат‌ها، منگنز، مس، روی، ید و فلوئور مهم‌ترین ترکیبات آلی آب هستند. انواع گوناگون مواد معدنی در نواحی مختلف جغرافیایی وجود دارند و میزان آلودگی آب به مدت‌زمان مجاورت آب با آن‌ها بستگی دارد.

عناصر کمیاب شامل آرسنیک، سرب، نقره، استرانسیوم، سلنیوم، کروم، کادمیوم، سیانید، باریوم، قلع و غیره نیز ممکن است در آب وجود داشته باشند.

آیا این مواد شیمیایی زیان‌بار هستند؟

مشکلات حاد و مزمن ممکن است با قرار گرفتن در معرض آب آلوده اتفاق بیفتد. (جدول ۸-۱). نیترات و کلرامین‌ها می‌توانند منجر به متهموگلوبینی می‌شوند که در این صورت هموگلوبین قادر به حمل اکسیژن نیست. مس باعث همولیز و منیزیوم و آهن باعث مسمومیت می‌شوند. فلوراید ممکن است باعث تشدید بیماری‌های استخوانی اورمیک شود که در استخوان‌ها تجمع می‌یابد و برای سیستم آنزیمی، سمی هستند. قلع در بافت بیماران تحت درمان با دیالیز تجمع می‌یابد. آلومینیوم منجر به زوال عقل، کم‌خونی و استئودیسستروپی می‌شود. روی باعث اختلالات گوارشی و کم‌خونی می‌شود. در نواحی آلوده به مواد رادیواکتیو، وجود استرانسیوم -۹۰ (SR ۹۰) ممکن است خطرناک باشد.

آیا مواد دیگری نیز در آب وجود دارد؟

ترکیبات آلی غیر یونی به‌خصوص مواد ازت‌دار مانند پروتئین‌ها، پلی‌پپتیدها، فنول‌ها، ایندول‌ها و آلدئیدها ممکن است در آب وجود داشته باشند. همچنین مواد جامد از جنس آهن، شن، ماسه و سیلیس نیز در آب وجود دارند. مواد معلق مانند؛ لجن، جلبک، پلانکتون، باکتری، ویروس، مواد تب‌زا و گازهای حل‌شده (آمونیا، دی‌اکسید کربن و کلرین) در آب وجود دارند. با تغییر فصل، ناخالصی‌های یونی محتوای منابع آب و سیستم توزیع تغییر می‌کنند.

بعضی آب‌ها حاوی مقدار قابل توجهی آفت کش و علف کش هستند. بیشتر منابع آب حاوی انواع باکتری‌ها (فلاووباکتریوم، آکروموباکتر، سراتیا، سودوموناس و چندین نوع میکوباکتریوم) هستند. بسیاری از آنها با آزمایش های معمول ارگانسیم های کلیفرم شناسایی نمی شوند.

جدول ۸-۱ اثرات سمی آلاینده های آب

اثرات سمی یا نشانه ها	آلاینده
کم خونی	آلومینیوم، کلرامین، مس، روی
بیماری استخوان	آلومینیوم، فلوراید
همولیز	کلرامین، مس، فلوراید، نیتрат ها
فشار خون بالا	کلسیم، منیزیم، سدیم
فشار خون پایین	باکتری ها، اندوتوکسین ها، نیترات
اسیدوز متابولیک	pH پایین، سولفات
ضعف عضلانی	کلسیم، منیزیم
تهوع و استفراغ	کلسیم، مس، pH پایین، منیزیم، نیترات، سولفات، روی
تغییرات عصبی (انسفالوپاتی، سردرد، تشنج، گیجی) آلومینیوم، سدیم، روی	

آیا از منابع تأمین آب آشامیدنی سالم می توان برای دیالیز استفاده کرد؟

خیر. در آب آشامیدنی آلودگی‌هایی وجود دارد که می‌تواند از ورای غشای صافی دیالیز وارد خون بیمار شوند. به‌علاوه، بافر مصرفی در بیشتر درمان‌های دیالیز، بافر^۱ بیکربنات است. اگر pH خارج از محدوده ۶/۵ تا ۷/۸ باشد، برخی از سیستم های توزیع، در حالت بیکربنات، به درستی عمل نمی کنند. ممکن است pH آب لوله کشی تصفیه نشده برای همودیالیز، بی‌نهایت اسیدی یا قلیایی باشد. ANSI/AAMLRD52:2004 توصیه‌هایی برای آماده‌سازی و نگهداری محلول دیالیز استاندارد ارائه می‌دهد.

^۱ Buffer

چرا آب باید برای انجام همودیالیز به صورت ویژه تصفیه شود؟

میزان آبی که در حین دیالیز در تماس با خون بیمار قرار می گیرد، بیشتر از ۲۵ برابر مقدار آبی است که بیمار می نوشد. یک بیمار همودیالیز بسته به تجویز دیالیز ممکن است در معرض تقریباً ۳۰۰ تا ۶۰۰ لیتر آب در هفته قرار گیرد و بیمار تحت درمان دیالیز شبانه در معرض ۵۹۰ تا ۸۶۰ لیتر آب در هفته قرار می گیرد (Coulliette & Arduino, ۲۰۱۳). اگر ماده ای در آب وجود داشته باشد که فقط یک چهارم بالای حد ایمنی آن باشد. ممکن است این مواد در حین دیالیز ۱۰-۲۵ برابر بیشتر وارد بدن شود. آب نوشیده شده قبل از جذب، توسط سیستم گوارشی مراحل را طی می کند. غشای گوارش انتخاب می کند چه موادی از آب جذب شود؛ ولی در همودیالیز غشای صافی دیالیز نمی تواند انتخاب کند چه یون هایی وارد یا خارج شود زیرا مکانیسم انتقال مواد در همودیالیز انتشار است. موادی که در آب آشامیدنی بی ضرر هستند ممکن است در آب مورد استفاده برای همودیالیز سمی باشند.

چه روش هایی برای تصفیه آب همودیالیز استفاده می شود؟

- ۱) گذر از صافی (فیلتراسیون)
- ۲) فیلترهای کربن فعال
- ۳) سختی گیرها (نرم کننده های آب)
- ۴) اسمز معکوس (RO)
- ۵) دیونیزاسیون (یون زدایی)
- ۶) اشعه ماوراء بنفش

فیلتراسیون چه کاری انجام می دهد؟

ذرات معلق (شن، لجن، جلبک و خاک) به وسیله صافی های مکانیکی و از طریق غشای کارتریج یا به وسیله تانک های حاوی مواد گرانولی که قابلیت شستشوی مجدد دارند از آب برداشته می شوند. این فیلترها مواد با اندازه کمتر از ۵ میلی متر را از آب برداشت می کنند. صافی های با منافذ کوچک تر از میکرون می توانند مواد به اندازه ۰/۵ میلی متر را از آب بردارند. در برخی صافی ها، اندازه موادی که می توانند غربال کنند مشخص است.

چه نوع فیلترهایی استفاده می‌شوند؟

سیستم های متشکل از چندین لایه که هر لایه سایز و تراکم خاصی دارد (مانند فیلترهای شنی) یک نوع ارزان و مقرون به صرفه از این فیلترها است که برای برداشت مواد معلق، آب را از میان شن یا زغال عبور می‌دهند. کارتریج فیلتر با عبور دادن آب از خلال یک نوع غشای محکم و سخت مواد را از آن برمی‌دارد. اولترافیلترها نوعی فیلتر بسیار نازک و ظریف هستند که مواد بسیار ریز مانند اندوتوکسین‌ها را از آب برمی‌دارند. فیلترهای با کارایی بالا (Ultrafilters) مواد ریز، باکتری‌ها، اندوتوکسین‌ها و دیگر پیروژن‌ها را به‌خوبی مولکول‌های ارگانیک بزرگ از آب جدا می‌کنند.

شاخص تراکم گل‌ولای چیست؟

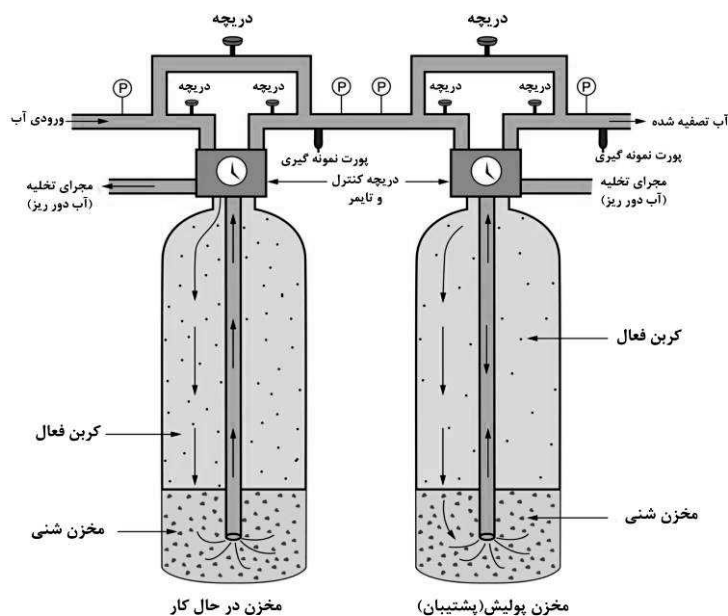
شاخص تراکم گل‌ولای (SDI) نشان‌دهنده میزان ذرات معلق و مواد کلوئیدی آب است. دستگاه اندازه‌گیری در طول زمانی که آب از ورای غشای فیلتر ۰/۴۵ میلی‌متری عبور می‌کند، میزان افت فشار را نشان می‌دهد. هرچه مواد معلق بیشتری وجود داشته باشند، عبور آب کندتر خواهد بود. میزان SDI مورد نیاز برای آب ورودی (تغذیه کننده) در سیستم RO کمتر از ۵ است.

کار مخزن یا تانک کربن چیست؟

کلرین و کلرامین دو افزودنی استاندارد در بیشتر مراکز تصفیه آب امریکا هستند که برای از بین بردن باکتری‌ها به آب اضافه می‌شوند. این دو همچنین قادر به تخریب گلبول‌های قرمز در انسان هستند. مخزن کربن حاوی دانه‌های کربن فعال است که توسط پدیده جذب، کلر و کلرامین‌ها را از آب جدا می‌کند. کلر و کلرامین سمی هستند و ورود آن‌ها به خون ممکن است برای بدن مضر باشد. صافی‌ها و مخازن کربنی، مواد ارگانیک و مواد بودار را نیز به همان روش از آب برمی‌دارند. جذب، عملی مکانیکی است و به واکنش‌های شیمیایی نیاز ندارد. مکانیسمی ساده است که طی آن مایعات، گازها یا مواد معلق به سطوحی مانند کربن فعال می‌چسبند. تانک کربن الکترولیت‌هایی مانند سدیم و کلسیم را از آب برنمی‌دارد.

در دستگاه تصفیه آب دو مخزن کربن مورد نیاز است که باید پشت سر هم قرار گیرند. آب باید پس از خروج از مخزن اول (تانک در حال کار) وارد تانک دوم (تانک پولیش) شود (تصویر ۸-۱). یک جایگاه نمونه‌گیری بعد از هر تانک نیاز است تا آب خروجی را از نظر کلر و کلرامین چک کند. آبی که از تانک اول خارج می‌شود از نظر کلر آزمایش می‌شود و اگر نمونه نشان داد که آب خروجی از تانک اول حاوی بیش از ۱/۱ ppm کلرامین دارد، نمونه دوم باید از تانک دوم برداشته و آزمایش شود. اگر میزان کلر نمونه در

محدوده مجاز باشد، درمان می‌تواند برای ۷۲ ساعت یا جایگزینی تانک ادامه یابد. آزمایش آب باید با پیگیری مستمر انجام شود تا اطمینان حاصل شود که میزان کلرین افزایش پیدا نکرده است. اگر در نمونه دوم کلر وجود داشته باشد درمان باید متوقف شود. برای برداشتن اولین نمونه، دستگاه باید در حالت طبیعی برای ۱۵ دقیقه کار کرده باشد تا نتیجه وضعیت موجود آب را نشان دهد نه وضعیت آبی که برای مدتی طولانی در معرض کربن بوده است. ماکزیمم سطح مجاز کلرین در آب 0.5 میلی‌گرم در لیتر (ppm) و حداکثر میزان مجاز کلرامین (کلرین آزاد و کلرامین) 0.1 میلی‌گرم بر لیتر است. آزمایش کلرین و کلرامین باید در ابتدای هرروز کاری و قبل از وصل بیمار به دستگاه دیالیز در هر شیفت یا هر چهار ساعت (هرکدام که کوتاه‌تر است) انجام شود. یادداشت کردن نتایج آزمایش‌ها بسیار مهم است. مدت‌زمان خالی شدن تانک (EBCT)، مدت‌زمانی است که آب در تانک کربن جریان دارد. استاندارد AAMI این زمان را ۱۰ دقیقه (حداقل ۵ دقیقه در هر تانک) تعیین کرده است.



تصویر ۸-۱ مخازن کربن

مخزن اول (مخزن در حال کار) عملاً کل کلرین را حذف می‌کند و مخزن دوم (مخزن پولیش) به عنوان یک مخزن آماده به کار یا پشتیبان در صورت خرابی مخزن اول عمل می‌کند تا به طور موثر کلر و کلرآمین ها را حذف کند. مخازن باید شبانه شسته شوند تا برای جذب بیشتر کلرین به صورت موثر در روز بعد آماده باشند. مخزن پولیش (پشتیبان) جریان کمی دارد و کلر کمی در آن وجود دارد، که آن را مکانی مناسب برای رشد باکتری‌ها می‌کند. چرخشی کار کردن مخزن پولیش و مخزن در حال کار به کاهش رشد موجودات و افزایش عمر مخازن کمک می‌کند.

عموماً دو نوع تانک کربن وجود دارد.

۱) مخزن تبادل‌کننده قابل حمل و نقل (Portable)

۲) مخزن دائمی شست‌وشوی معکوس

مخازن مبادله قابل حمل در چرخه ای که توسط سازنده گسترش یافته است "تعویض" می‌شوند. سپس توسط عرضه‌کننده این مخازن با "شارکول" جایگزین می‌کند. مخازن دائمی مجهز به یک واحد کنترل هستند که به صلاحدید تأسیسات امکان شست‌وشوی معکوس وجود دارد. عرضه‌کننده در فواصل زمانی کربن را جایگزین می‌کند. در صورتی که مخازن کربن در محل مستقر شوند، باید از دستورالعمل‌های محلی مدیریت زباله و همچنین توصیه‌های سازنده برای تجهیزات حفاظت فردی پیروی کرد. شست‌وشوی معکوس بسترهای کربنی را احیا نمی‌کند. از آنجایی که کربن دارای سطح محدودی است، شست‌وشوی معکوس سطوح استفاده‌نشده کربن را در دسترس قرار می‌دهد.

وظیفه سختی‌گیر آب چیست؟

سختی‌گیر معمولاً بعد از تانک کربن قرار می‌گیرد تا یون‌ها را در آب جابه‌جا کند. رایج‌ترین سختی‌گیر آب، کلسیم و منیزیم است. سختی‌گیر، کلسیم و منیزیم آب را با یون سدیم بر اساس میلی‌اکی والان جابه‌جا می‌کند. سایر یون‌های مثبت مانند آلومینیوم نیز از آب برداشته می‌شوند. هر یون کلسیم با دو یون سدیم جایگزین می‌شود و در آخر سیستم RO سدیم آب را حذف می‌کند. سختی‌گیر دائمی یک مخزن سدیم کلراید غلیظ دارد که احیا دوباره سختی‌گیر را بر عهده دارد.

اگر آب ورودی سختی بالایی داشته باشد، سختی‌گیر قبل از شروع درمان مقدار عمده کلسیم و منیزیم‌ها را از آب برمی‌دارد. در صورتی که بعد از سختی‌گیر، سیستم دیونیزه‌کننده قرار داشته باشد، با برداشت یون‌های دوظرفیتی توسط سختی‌گیر، طول عمر دیونیزه‌کننده‌ها افزایش می‌یابد. اگر بعد از سختی‌گیر،

RO قرار داشته باشد، کیفیت آب محصول و طول عمر RO بیشتر می‌شود. اگر در سیستم تصفیه آب، سختی گیر استفاده نشود، کلسیم بر روی غشا RO رسوب می‌کند و عملکرد آن را کاهش می‌دهد. تجمع تدریجی کلسیم گاهی پوسته‌پوسته شدن نامیده می‌شود.

استفاده از سختی گیرها باعث بروز چه مشکلاتی می‌شود؟

اگر آب ورودی خیلی سخت باشد، مقدار زیادی سدیم با کلسیم و منیزیم جایگزین می‌شوند. وضعیت آب شهری در فصول مختلف و حتی در طول یک روز با تغییر منبع تأمین آب متفاوت است. دو نوع سختی گیر وجود دارد:

۱) سختی گیر قابل حمل و نقل

۲) سختی گیر دائمی

سختی گیر قابل حمل و نقل توسط فروشنده برای استفاده آماده می‌شود. احیای رزین‌ها توسط فروشنده و در سایت فروشنده انجام می‌شود.

در این دستگاه هیچ‌گونه نشانگری برای نشان دادن میزان سختی و نرمی آب وجود ندارد اما (Kit) کیت‌های نشان‌دهنده میزان سختی آب با کاربرد آسان در دسترس است. درجه سختی آب منبع و آب تولید شده باید هر روز و حداقل بعد آخرین درمان تعیین شود و در یک برگه ثبت سختی آب ثبت شود. سختی کل به صورت ذره در گالن (gpg) یا ppm بعد از قسمت سختی گیرهای RO اندازه‌گیری می‌شود. حداکثر محدوده مجاز سختی آب که بعد از نرم کننده آب اندازه‌گیری می‌شود ۱ gpg یا ۱۷/۲ ppm است. بیش از این مقدار نشان دهنده نیاز به احیا و کاهش عملکرد سختی گیرها است.

اسمز معکوس (RO) چیست؟

RO مؤثرترین روش تصفیه آب در دیالیز است. RO همه آلودگی‌های موجود در آب را که از سد پیش RO عبور کرده‌اند، شامل؛ آندوتوکسین باکتری‌ها، یون‌های فلزی، نمک‌های آبی و دیگر آلودگی‌ها را برمی‌دارد. RO آب را با فشار بالا از طریق یک غشا که به آب نفوذپذیر است، عبور می‌دهد. بخشی از آب که حاوی مواد حل‌شده و آلودگی‌ها است در یک سمت غشا و آب تصفیه‌شده در طرف دیگر غشا قرار می‌گیرد. آب تولیدی عاری از مواد حل‌شده و میکروارگانیسم‌ها است. انتظار می‌رود از کل آبی که از غشا عبور می‌کند ۲۰ درصد قابل استفاده برای درمان دیالیز و ۸۰ درصد آن آب ریجکت یا دورریز باشد. آب تولید شده که مناسب درمان (۲۰ درصد) است برای استفاده به مخازن نگهداری منتقل می‌شود.

حذف ترکیبات آلی آب توسط غشاء چگونه انجام می شود؟

ترکیبات آلی هیچ گونه باری ندارند. به صورت الکتریکی دفع نمی شوند بلکه به صورت فیزیکی توسط غشا حذف می شوند. اغلب ذرات مولکولی با وزن بالاتر از ۲۰۰ دالتون دفع می شوند که شامل؛ باکتری ها، ویروس ها و پیروژن ها هستند.

چه نوع ممبران هایی برای اسمز معکوس استفاده می شوند؟

ممبران هایی که برای RO استفاده می شوند باید:

- (۱) به راحتی به آب نفوذپذیر باشند.
 - (۲) به هیچ وجه به مواد حل شده نفوذپذیر نباشند.
 - (۳) به فشار بالا مقاوم باشند.
- موارد دیگر شامل مقاومت به محدوده pH، دما، باکتری و مواد شیمیایی مانند کلرین است.

غشاهایی که بیشتر استفاده می شوند، شامل:

- (۱) غشاهای سلولزی
- (۲) غشاهای پلی آمید آروماتیک
- (۳) ترکیبات لایه ای نازک
- (۴) های-فلاکس، پلی سولفان های مقاوم به کلرین

❖ غشاهای استات سلولزی به آب تراوایی زیادی دارند اما آلودگی های با وزن مولکولی پایین را به میزان کمی دفع می کنند. میزان مقاومت به pH در این پرده ها محدود است. توانایی این غشاها در حرارت بالاتر از ۳۵ درجه سانتیگراد کاهش می یابد و نسبت به باکتری ها آسیب پذیرند. این ممبران ها نسبتاً ارزان هستند.

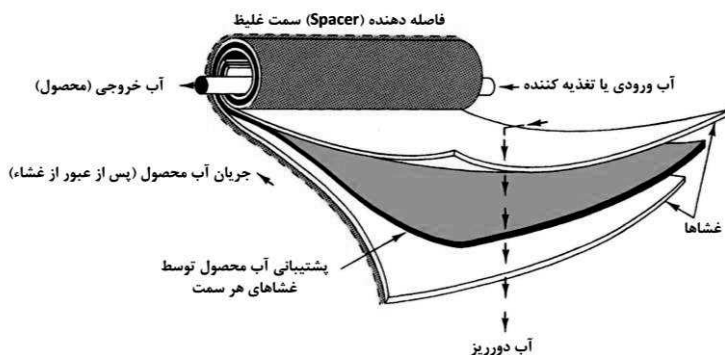
❖ پرده های پلی آمیدی نسبت به پرده های سلولزی مقاومت بالایی به pH، باکتری ها و هیدرولیز دارند. این نوع غشاها به کلرین آزاد بسیار حساس هستند.

❖ ترکیبات لایه ای نازک، گران و لایه محافظ از پلی سولفان پرمنفذ است. به آن لایه ای نازک، متراکم و حذف کننده مواد از جنس سیانورات پلی فوران یا پلی آمید متصل است. غشاهای ترکیبی به آب نفوذپذیرترند و بهتر از استات سلولز، مواد محلول را جدا می کنند. آن ها نسبت به باکتری ها و ترکیبات آن ها مقاوم ترند.

❖ پرده‌های پلی‌سولفان مقاوم به کلرین طول عمر بالایی دارند. آن‌ها به تغییرات pH و درجه حرارت مقاوم‌ترند و نفوذپذیری زیادی به آب دارند. تفاوت آن‌ها نسبت به پرده‌های دیگر در این است که اگر در آب یون‌های دو ظرفیتی موجود باشد، حذف یون‌های تک‌ظرفیتی به‌شدت کاهش می‌یابد؛ بنابراین ضروری است که این آب قبل از ورود به واحد RO عاری از سختی و یون باشد.

از چه ویژگی‌هایی برای طراحی اسمز معکوس استفاده می‌شود؟

ویژگی‌های مورد استفاده شامل: سطح وسیع غشاء، مقاومت به فشارهای بسیار بالا (بالتر از 500psi)، شدت مناسب جریان و کمترین میزان وقوع افت فشار است. اشکالی که برای تصفیه آب همودیالیز استفاده می‌شوند شامل: (۱) ماژول مارپیچی (تصویر ۸-۲) و (۲) ماژول فیبر توخالی است.



تصویر ۸-۲ ماژول مارپیچی RO

ماژول مارپیچی شامل دو لایه غشا به‌همراه الیاف‌هایی که بین این غشاها قرار گرفته است (این الیافها بین دو لایه غشا قرار گرفته است مانند ساندویچ). صفحه غشا و الیاف همراه با مش جداکننده پلاستیکی به دور یک لوله پلاستیکی سوراخ‌دار شبیه صافی‌های کویل مانند قدیمی دیالیز پیچیده می‌شود. آب با فشار بالا از یک‌طرف وارد سیستم می‌شود و در طول مسیر حرکت می‌کند که مقداری از این آب با فشار هیدروستاتیک از غشا عبور می‌کند. الیاف مرکزی (الیاف بین دو غشا)، ورود آب به لوله مرکزی را هدایت می‌کند که در نهایت آب محصول (product water) نامیده می‌شود.

واحدهای Hallow fiber لوله های توخالی با قطر داخلی ۸۰-۲۵۰ میلی متر است. هزاران عدد از این موئینه ها در یک سیلندر فشار قوی قرار داده شده اند. آب ورودی با فشار بالا اطراف این فایبرها را احاطه کرده و به داخل فایبرها نفوذ می کند. آب محصول وارد این موئینه ها می شود. قطر داخلی کوچک لوله های توخالی ممکن است موجب مسدود شدن و یا کاهش نفوذ جریان آب به داخل فایبر شود.

مزیت های خاص روش اسمز معکوس نسبت به سایر روش های تصفیه آب چیست؟

روش اسمز معکوس چندین مزیت دارد که شامل موارد زیر است:

- (۱) باکتری ها، ویروس ها و مواد تبزا به وسیله غشاها برداشته می شوند. در این روش انتظار می رود کیفیت آب RO نزدیک به آب مقطر باشد.
- (۲) دستگاه های در دسترس بسیار جمع و جور هستند و به فضای کمی نیاز دارند. آن ها برای دیالیز در خانه بسیار مناسب هستند.
- (۳) به طور میانگین، غشاها طول عمر کمی بیش از یک تا پنج سال دارند و بعد از آن باید تعویض شوند.
- (۴) گندزدایی کامل و دوره ای سیستم RO ضروری است.

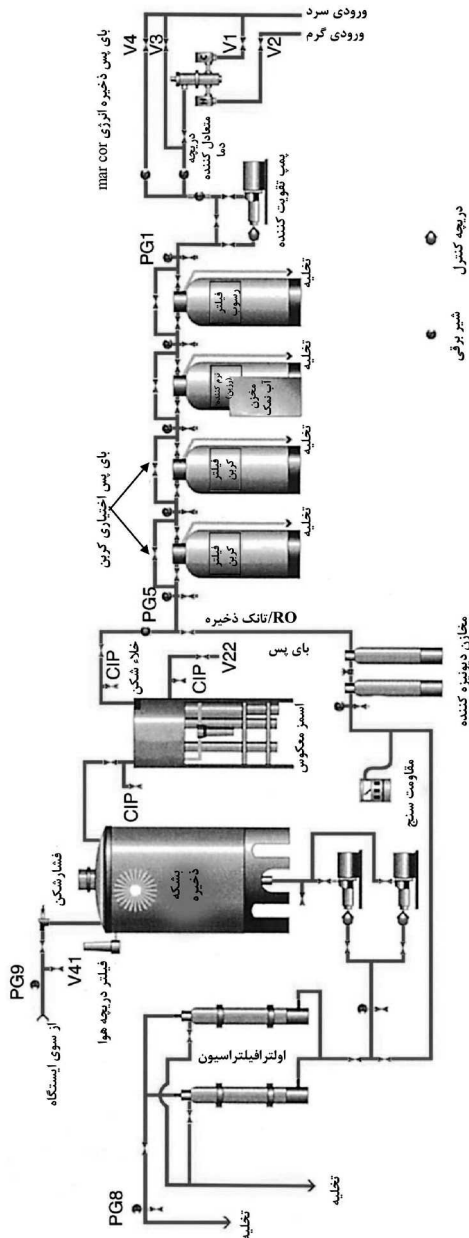
معایب دستگاه اسمز معکوس چیست؟

معایب دستگاه اسمز معکوس شامل موارد زیر است:

غشاها دوره عملکرد محدود دارند. برای مثال:

- (۱) مقاومت غشاهاست استات سلولزی نسبت به pH محدود است. کارایی آن ها در درجه حرارت بالاتر از ۳۵ درجه سانتی گراد (۹۵ درجه فارنهایت) کاهش می یابد. آن ها نسبت به باکتری ها آسیب پذیرند و در نهایت هیدرولیز می شوند.
- (۲) غشاها پل آمیدی به درجه حرارت بالاتر از ۳۵ درجه سانتی گراد (۹۵ درجه فارنهایت) حساس هستند و نسبت به کلرین آزاد مقاومت کمی دارند.
- (۳) ترکیبات پوشاننده نازک، نسبت به کلرین حساس هستند.
- (۴) پلی سولفان های های - فلاکس برای عملکرد درست به سختی گیر یا یون زداها در مسیر آب ورودی نیاز دارند.

- ۵) ممکن است در غشاهای دیالیز نشت اتفاق بیفتد، لذا نظارت دائم میزان آب تولیدی (محصول) و سطح سدیم لازم است.
- ۶) آب تولیدی (محصول) ۲۵-۷۵ درصد حجم آب ورودی است. باقیمانده آن یعنی در حدود ۲۵-۷۵ درصد آب، وارد فاضلاب می‌شود (این میزان با توجه به نوع سیستم مرکزی RO در حال استفاده، متفاوت است).
- ۷) غشاها باید همواره مرطوب نگه داشته شوند. جریان به سادگی نمی‌تواند متوقف شود و سیستم باید توسط آب پر باشد. وقتی سیستم مشغول به کار نیست سبب رشد باکتری‌ها، هیدرولیز غشاها و محصولات تب‌زا می‌شود. بنابراین باید در یک حالت پر شده استریل نگه داشته شود.
- ۸) کلرامین‌ها (ترکیبات اکسیدانی شکل گرفته از واکنش بین کلرین و آمونیاک که به‌عنوان عامل کشنده باکتری در آب برخی شهرها استفاده می‌شوند) غیر یونی هستند و به‌آسانی از غشا RO عبور می‌کنند. در برخی از بیماران کم‌خونی ناشی از کلرامین‌ها اتفاق می‌افتد بنابراین برای برداشت همه کلرامین‌ها باید یک فیلتر کربن قبل از ورود آب به RO تعبیه شود.
- ۹) ممکن است برای رفع نیاز به آب در بخش‌های بزرگ دیالیز، تانک‌های ذخیره و نگهدارنده آب برای نگهداری آب خروجی از RO لازم باشد. آب در یک سیستم بسته از تانک به سیستم RO چرخانده می‌شود تا از رکود آب جلوگیری شود. تانک و لوله‌ها، محیط‌هایی مناسب برای رشد میکروبی بالقوه و شکل‌گیری آندوتوکسین‌ها هستند. طراحی تانک‌ها برای به حداقل رساندن آلودگی‌ها مهم هستند. در مرحله اول، شکل گرد و مخروطی پایین تانک و تعبیه محل تخلیه آب در پایین‌ترین نقطه مخروط است که به تخلیه کامل تانک کمک می‌کند. درگاه ورود، باید نزدیک به قله باشد و از نازل‌هایی استفاده شود تا آب را به‌صورت قطره‌ای به قسمت‌های زیرین بپاشد که با این کار از ایجاد قطرات آب بر روی بدنه جلوگیری می‌کند و جریان یافتن آب به سمت پایین و کناره‌ها از رکود و ایستایی آب جلوگیری می‌کند. در قله تانک و محل ورود و خروج هوا باید یک فیلتر میکروبی وجود داشته باشد. این طراحی، امکان بهترین تماس با ماده‌گندزدا را در حین گندزدایی فراهم و خروج ماده‌گندزدا و شست‌وشوی پایانی را کامل می‌کند. ممکن است بین سیستم RO و تانک‌ها، کلرین و ید اندازه‌گیری شود تا رشد موجودات ذره‌بینی کنترل شود. (تصویر ۸-۳).



تصویر ۳-۸ سیستم تصفیه آب چرخشی (حالت لوب) با مخزن نگهدارنده، CIP= پاکیزه در محل، DI= دیونیزاسیون، PG= فشار سنج، RO= اسمز معکوس، V= والو یا شیر

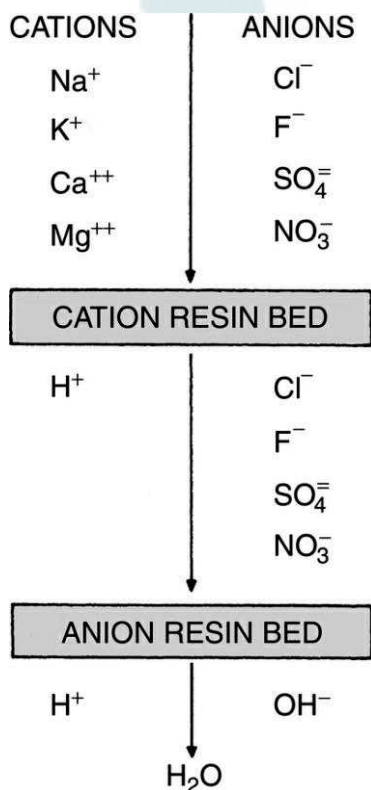
دیونیزاسیون (یون زدایی) چیست؟

دیونیزه کردن یعنی برداشتن مواد یونی و نمک‌ها از یک محلول که در این مورد منظور از محلول، آب ورودی است. یون‌های با بار مثبت توسط دانه‌های رزین حاوی یون‌های هیدروژن و یون‌های با بار منفی (آنیون‌ها) توسط یون هیدروکسید جابه‌جا می‌شوند (تصویر ۸-۴). دیونیزه‌کننده‌ها، آب خالص بدون یون را تولید می‌کنند ولی نمی‌توانند باکتری و عوامل تب‌زا را حذف کنند. درواقع، دیونیزه‌کننده‌ها کیفیت آب را از نظر مقدار آندوتوکسین و باکتری وخیم تر می‌کنند. بستر رزینی، محیط مناسبی برای تکثیر

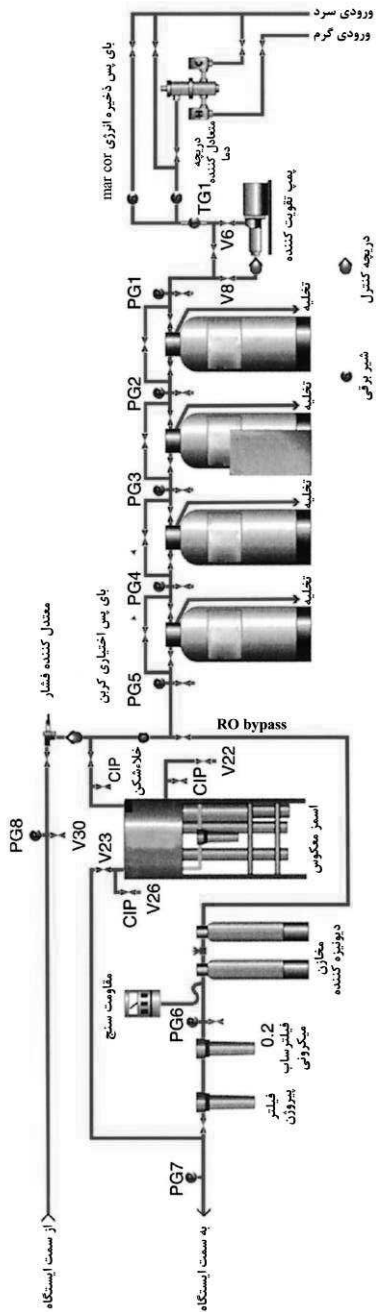
باکتری‌ها فراهم می‌کند؛ بنابراین، منطقی است که در کنار تجهیزات دیونیزه‌کننده، فیلترهایی که قطر آنها کمتر از یک میکرون است یا از اولترافیلتر استفاده شود (تصویر ۸-۵).

کیفیت آب تهیه‌شده با سیستم دیونیزه‌کننده چگونه است؟

نصب تعدادی از انواع مانیتورها برای اطمینان از کیفیت شیمیایی آب تولیدی (محصول) ضروری است. کیفیت آب دیونیزه‌شده با واحد مقاومت نشان داده می‌شود. رهنمود AAMI بیان می‌کند که نباید اجازه داده شود، مقاومت آب تولیدشده پایین‌تر از ۱ MΩ باشد، در این صورت تانک‌ها باید تعویض شوند.



تصویر ۸-۴ نمودار شماتیک
یک سیستم یون زدا با دو بستر



تصویر ۵-۸ سیستم تصفیه مستقیم آب تغذیه برای تولید آب فوق خالص (اولتراپور)، CIP= تمیز در محل، DI= دیونیزاسیون، PG= فشار سنج، RO= اسمز معکوس، V= والو یا شیر.

در صورت به کار بردن دیونیزه کننده ها چه مشکلی اتفاق می افتد؟

چندین مشکل در استفاده از دیونیزه کننده ها در زیر آورده شده است:

(۱) مشکل اولیه، تأمین حداکثر میزان آب مورد نیاز است؛ همانند سخت گیر ها، اندازه مناسب دستگاه حذف کننده یون نیز اهمیت دارد. باید میزان جریان طبیعی و حداکثر و فشار خط تولید مشخص شود. کاربر باید دستگاه مورد نظر را بر اساس مشخصات کاربری اندازه های گوناگون تانک ها و اندازه ای که به حد کافی نیاز او را فراهم می کند انتخاب کند. کاربر باید میزان کاهش فشار در کل دستگاه دیونیزه کننده را در نظر بگیرد. برای بررسی آسان اختلاف فشار، نصب نشانگرهای فشار در قبل و بعد این دستگاه توصیه می شود.

(۲) مشکل دوم، میزان کل یون های آب ورودی (تغذیه کننده) است. بر اساس اندازه بستر رزینی این سیستم، فقط میزان محدودی یون قابل برداشت است. طول عمر سرویس دیونیزه کننده به حجم و ترکیب آب بستگی دارد. اگر واحد دیونیزه کننده قبل از واحد RO قرار بگیرد، طول عمر آن کوتاه خواهد شد. دستگاه یون زدا آب با محتوای یونی بالا را فراوری می کند در حالی که واحد RO در درجه اول به عنوان یک صفحه غربال باکتری و اندوتوکسین عمل می کند. اگر سیستم دیونیزه کننده پیش از سیستم RO قرار داده شود، در این صورت دیونیزه کننده، جلادهنده (polisher) آب خواهد بود. همچنین دیونیزه کننده میزان آلودگی میکروبی آب را افزایش خواهد داد. توصیه می شود که فیلترهایی با منفذهای کوچکتر از یک میکرون یا اولترافیلتر در پایین دست آن قرار داده شود.

(۳) بستر رزینی تمایل به تخلیه ناگهانی دارد. برای تعویض تانک های تخلیه شده، نصب یک سیستم بای پس موازی لازم است. آب در تانک هایی که بی کار هستند راکد خواهد ماند. پیش بینی حجم منطقی و معقول خروجی باید به عنوان بخشی از سیستم باشد. ظرفیت حجمی دیونیزه کننده ها (تعداد گالن های آب عبور کرده از تانک ها) به صورت $gpg \times \text{کل مواد جامد محلول (TDS)}$ اندازه گیری می شود که در آن کربنات کلسیم شاخص است. (یک gpg تقریباً برابر با $17/1$ میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم است). برآورد حجم آبی که ممکن است قبل از تخلیه (Exhaust) واحد تصفیه پاک شود، با ظرفیت مجاز یونیزه کننده ها تقسیم بر TDS آب ورودی نشان داده می شود. مقاومت سنج های با قابلیت بازخوانی مداوم و آنلاین باید برای نظارت بر آب

خروجی درون مسیر قرار گیرند. زمانی که درجه مقاومت به $M\Omega/Cm$ کاهش یابد، تانک‌ها باید تعویض شوند (استاندارد AAMI).

۴) معمولاً رزینهای آنیونی و کاتیونی در زمان‌های مختلف تخلیه می‌شوند. اگر تانک‌ها پس از اشیاع شدن استفاده شوند، ممکن است یون‌های چسبیده‌شده قبلی آزاد شوند و غلظت آب خروجی از غلظت آب ورودی بالاتر برود. در این حالت ممکن است آب بی‌نهایت اسیدی یا قلیایی شود که بستگی به آن دارد که کدام رزین ابتدا تخلیه شده باشد. این حالت ممکن است برای بیمار و تجهیزات زیان‌بار باشد.

چگونه اشعه ماوراءبنفش برای تصفیه آب استفاده می‌شود؟

اشعه ماوراءبنفش شکلی از پرتو است که به دیواره‌های سلول میکروارگانیسم‌ها نفوذ کرده و پس از نفوذ به‌وسیله تغییر در دی‌اکسی‌ریبونوکلئیک‌اسید (DNA)، آن‌ها را از بین می‌برد. در سیستم تصفیه آب دیالیز، منبع اشعه ماوراءبنفش در یک محفظه تمیز از جنس کوارتز قرار داده می‌شود. این منبع طوری قرار داده می‌شود که آب بتواند از میان آن در درون یک محفظه جریان یابد و در معرض تابش اشعه ماوراءبنفش شدید قرار بگیرد. این مهم است که جریان آب بیش‌ازحد سیل‌آسا نبوده و عاری از ذرات معلق باشد. اشعه ماوراءبنفش خیلی راحت‌تر از میان مایع شفاف عبور می‌کند. وجود ذرات معلق در مایعات باعث می‌شود اشعه ماوراءبنفش خیلی سخت‌تر اثر کند. این ذرات به صورت بالقوه شرایطی را فراهم می‌کنند تا میکروب‌ها پشت ذرات پنهان بمانند و از بین نروند. اشعه ماوراءبنفش آندوتوکسین‌ها را از بین نمی‌برد بنابراین در صورت استفاده از اشعه در قسمت پیش تصفیه، باید از اولترافیلتر یا سیستم RO نیز استفاده شود.

چه درجه خلوصی از آب برای همودیالیز مورد نیاز است؟

AAMI مجموعه رهنمودهای کیفیت آب را طراحی کرده است که به‌عنوان استاندارد ملی ایالات متحده پیشنهاد می‌شود. این معیار پذیرفته‌شده نه‌تنها آلودگی‌های غیرآلی و شیمیایی بلکه آلودگی‌های میکروبی را بیان می‌کند. برخی از استانداردها و مقررات توسط CMS در ارتباط با CfCها اتخاذ شده است. این نیازها در جدول ۸-۲ همراه با عوارض زیان آور ورود آلودگی‌ها به بدن، نشان داده شده است. لیست آلاینده‌های AAMI به دنبال تغییراتی در قانون آب آشامیدنی سالم برای برخی عناصر دیگر شامل آنتیمون، بریلیم و تالیم گسترش یافته است.

جدول ۸-۲ رهنمودهای کیفیت آب AAMI*

نام عناصر یا ذرات	حد اکثر سطح پیشنهادی AAMI (میلی گرم بر لیتر)	اثرات نامطلوب در معرض قرار گرفتن با این عناصر یا ذرات**
آلومینیوم	0.01	کم خونی، بیماری استخوان، تغییرات عصبی، زوال عقل
آنتیموان	0.006	حالت تهوع / استفراغ
آرسنیک، سرب، نقره	هر کدام 0.005	سرطان، تغییرات پوستی، آسیب به سیستم عصبی مرکزی، مغز و کلیه ها
باکتری	< 200 CFU/mL	فشار خون پایین، حالت تهوع / استفراغ
بریلیم	0.004	آسیب استخوان
کادمیوم	0.001	تهوع/استفراغ، اسهال، ترشح بزاق، اختلالات حسی، آسیب کلیه/کبد/استخوان
کلسیم	2 (0.1 mEq/L)	تهوع/استفراغ، سردرد، ضعف عضلانی، تاکی کاردی، فشار خون بالا، معدنی شدن غیر طبیعی استخوان، کلسیفیکاسیون بافت نرم، پانکراتیت
کلرامین ها	0.1	همولیز، درد قفسه سینه، آریتمی، تهوع/استفراغ
کلرین	0.5	همولیز، درد قفسه سینه، آریتمی، تهوع/استفراغ
کروم	0.014	آسیب کبدی
مس، باریم، روی	هر کدام 0.1	لرز، گرگرفتگی، سردرد، استفراغ جهشی، افت فشار خون، کم خونی، آسیب کبدی، پانکراتیت
اندوتوکسین	< 2 EU/mL	فشار خون پایین، حالت تهوع / استفراغ
فلوراید	0.2	درد قفسه سینه، تهوع/استفراغ، افت فشار خون، سردرد، بیماری استخوان
منیزیم	4 (0.3 mEq/L)	حالت تهوع / استفراغ
جیوه	0.0002	آسیب کلیه
نیترا (N)	2.0	همولیز، افت فشار خون، تهوع/استفراغ، ضعف، گیجی
پتاسیم	8 (0.2 mEq/L)	حالت تهوع، تداخل تکانه های عصبی
سلنیوم	0.09	خستگی، تحریک پذیری، ریزش مو/ناخن، آسیب کلیه/کبد
سدیم	70 (3.0 mEq/L)	افزایش تشنگی، حالت تهوع، سردرد، فشار خون بالا، ادم ریوی، تشنج، کما
سولفات	100	اسیدوز متابولیک، تهوع / استفراغ
تالیم	0.002	آسیب کبد/کلیه

* پزشک مسئولیت نهایی تعیین کیفیت آب مورد استفاده برای دیالیز را بر عهده دارد.

** علائم حاد به صورت برجسته نشان داده شده است.

چه مشکلاتی در رابطه با آب بسیار خالص وجود دارد؟

همان‌طور که آب به حالت خیلی خالص نزدیک می‌شود، سطح انرژی آن نیز افزایش می‌یابد. این آب خالص به‌سرعت از نظر شیمیایی با موادی که در تماس با آن است، واکنش می‌دهد. برای انتقال آب محصول، ممکن است فقط از لوله‌های استیل ضدزنگ طبی، پلی‌ونیل کلراید (PVC) یا مواد خنثی جدید استفاده شود. تانک‌ها نیز باید از این قبیل مواد ساخته شده باشند. اگر آب بسیار خالص در معرض هوا قرار گیرد، به‌سرعت دی‌اکسید کربن را جذب و با آن واکنش می‌دهد.

چه مشکلاتی در تصفیه آب با محتوی پیروژن و باکتری‌ها وجود دارد؟

اگر محلول دیالیز یا آب مورد استفاده برای تهیه محلول دیالیز، آلوده به میکروب باشد، ممکن است در یک بیمار آسیب پذیر که تحت دیالیز است منجر به باکتری می و پاسخ التهابی شود. التهاب مزمن منجر به بیماری‌های قلبی عروقی، عوارض تغذیه‌ای، کاهش پاسخ به عوامل محرک اریتروپویتین و کاهش باقی‌مانده عملکرد کلیه‌ها شود. سطوح قابل قبول برای آلاینده‌های باکتریایی در آب دیالیز و محلول دیالیز بر اساس نوع کاربری آب تولیدی (محصول) متفاوت است که شامل محلول معمولی، محلول اولتراپور و محلول جایگزینی است (Coulliette & Arduino, ۲۰۱۳). "محلول معمولی" به نوعی از محلول دیالیز اشاره میکند که معمولاً برای انجام همودیالیز معمولی در ایالات متحده استفاده می‌شود. در دیالیز معمولی حداکثر سطح باکتری در آب مورد استفاده برای مایع دیالیز و بازآوری صافی دیالیز باید کمتر از ۲۰۰ واحد تشکیل دهنده کلونی (CFU/mL) با سطح عمل ۵۰ CFU/mL باشد، اما AAMI حداکثر سطح باکتری کمتر از ۱۰۰ CFU/mL و سطح عمل ۵۰ CFU/mL را توصیه می‌کند. بخش‌های دیالیز باید از استانداردهای مشخص شده توسط شرکت‌های ارائه دهنده سیستم تصفیه پیروی کنند، ممکن است این استانداردها مطابق با CMS یا AAMI باشند. CMS CfCs، محلول دیالیز معمولی را به عنوان حداقل شرط لازم، برای مایع دیالیز تعیین کرد. غشاهای جدید تخلخل بیشتری نسبت به آب، املاح و مواد معلق دارند. حرکت از ورای غشا، وابسته به فشار و اختلاف غلظت املاح است. در بیشتر موارد، استفاده از پیش فیلترهای مناسب به همراه واحد RO یا قسمت دییونیزاسیون با پس فیلترهای واجد روزه‌های کمتر از یک میکرون، استاندارد آب مورد نظر را برآورده میکنند. باکتری‌ها روی سطوح فیلتر، مخازن کربن، بستر رزین‌های نرم کننده و بستر رزین‌های دییونیزاسیون و سطح آب تغذیه کننده غشاء RO تکثیر می‌شوند. تمیز کردن با یک ضد عفونی کننده تایید شده برای به حداقل رساندن رشد باکتری در تمام اجزای سیستم

تصفیه آب باید حداقل ماهانه انجام شود. البته قبل از استفاده از این آب برای بیماران، ماده ضدعفونی کننده باید به طور کامل از سیستم، توسط شستشو پاک شود. استریلیزاسیون شیمیایی باکتری ها را می کشد اما آنها را از بین نمی برد و در واقع برخی از پروتئین ها و اجزای پلی ساکراید و اندوتوکسین ها را تثبیت می کند. برای شستن این آثار تخریب و مواد باقیمانده از سطوح جمع آوری شده به شستشوی فراوان نیاز است. اکثر مراکز دیالیز از محلول غلیظ حاوی بیکربنات برای مخلوط کردن متناسب مایع دیالیز استفاده می کنند بسیاری از مراکز از صافی های های-فلاکس همراه با کنترل کننده های خودکار اولترافیلتراسیون استفاده می کنند. ذخیره محلول غلیظ بیکربنات، باعث تولید میکروآرگانیسم و اندوتوکسین ها می شود. ممکن است منشأ میکروآرگانیسم های تشکیل دهنده اندوتوکسین از آب مصرف شده برای آماده کردن محلول غلیظ بیکربنات یا از پودر بیکربنات باشد. بنابراین این احتمال وجود دارد که محدودیت های دقیق تری از نظر آلودگی های میکروبی و اندوتوکسینی لازم باشد. برای دیالیزهای -فلاکس، جایی که فیلتراسیون معکوس مشکل ایجاد می کند، ممکن است تحویل یک مایع استریل و عاری از پیروژن از سیستم آماده سازی تا صافی ضروری شود.

چگونه آلاینده های میکروبیولوژیک را تا حد امکان کاهش دهیم ؟

دو وسیله که عموماً برای کاهش آلودگی میکروبیولوژیک استفاده می شود، در قسمت ذیل آورده شده است:

- ۱) فیلتر ساب میکرون-فیلترهایی که قطر روزه های آنها کمتر از یک میکرون است ($0.5 \mu m$) مانع عبور باکتری و ویروس ها خواهد شد. این نوع فیلترها باید به تناوب تعویض شوند و گران قیمت هستند. این صافی ها، همه مواد تبزا را حذف نمی کنند.
- ۲) غشای اولترافیلتراسیون (UF)- به طور مؤثری باکتری و آندوتوکسین ها را دفع می کند. نصب و راه اندازی اولیه آن نسبتاً گران ولی در عمل مقرون به صرفه است. شستشو و گندزدایی آن ساده است و طول عمر خوبی دارد.

چگونه غشاهای اولترافیلتراسیون (UF) برای حذف باکتری و آندوتوکسین ها استفاده می شوند؟

غشاهای اولترافیلتراسیون، منافذ مؤثر با اندازه بیش از $0.1 \mu m$ دارند. منافذ با این اندازه، حرکت املاح فعال اسمزی را به تاخیر نمی اندازند. از این رو، در مقایسه با غشاهای RO، فشار هیدرولیکی کمتری برای عبور آب مورد نیاز لازم است.

غشاهای اولترافیلتراسیون اغلب فیلتر مولکولی نامیده می‌شوند. آن‌ها فقط ذرات معلق در اندازه‌های مولکولی را به جای مواد حل شده برمی‌دارند. ذرات بزرگ اثرات اسموتیک روی ذرات حل شده ندارند. در اینجا فشار اسمزی کمی در مقایسه با غشاهای RO وجود دارد بنابراین فشار هیدرولیک کمتری مورد نیاز است. به هر حال، بوسیله فیلترهای مولکولی، باکتری، اندوتوکسین و بقایای آندوتوکسین‌ها با اندازه هزاران دالتون حذف می‌شوند. اولترافیلترهایی در دسترس هستند که ذرات ۱۰ هزار تا ۵۰ هزار دالتون را حذف می‌کنند. درواقع حتی غشاهای محدودتر در حد حذف وزن مولکولی هزار تا ۱۰ هزار دالتون نیز موجود است.

غشاهای اولترافیلتراسیون ممکن است قبل از RO قرار داده شوند تا از رشد باکتری‌ها یا تجمع ذرات بر روی سطح آب تغذیه غشاء RO جلوگیری شود. استفاده از آن به گونه آخرین گام (در منطقه پایانی) و پیش از رسیدن آب تولید (محصول) به سیستم بخش‌بندی، باعث تضمین کیفیت میکروبیولوژیکی آب می‌شود.

چه آزمایش‌هایی برای نظارت دستگاه تصفیه آب انجام می‌شود؟

کشت میکروبی: کشت باکتری برای تشخیص وجود باکتری در آب انجام می‌شود. شمارش گروه‌های میکروبی (Colony) به‌طور معمول در بیست و چهار تا ۴۸ ساعت انجام می‌شود. کشت باکتری بر روی محلول دیالیز نیز انجام می‌شود. بر اساس استاندارد CMS حداکثر سطح آندوتوکسین آبی که برای آماده کردن مایع دیالیز و ورود به صافی دیالیز استفاده می‌شود، باید کمتر از دو واحد در میلیون (EU/mL) باشد. این آزمایش به‌صورت ماهیانه انجام می‌شود. اگر یک کشت مثبت باشد تا حل شدن کامل مشکل، انجام کشت باید به‌صورت هفتگی صورت گیرد.

رسانایی (Conductivity): آزمایش قابلیت هدایت باید بر روی آب ورودی و آب تولیدی (محصول) انجام شود تا مطمئن شویم میزان یون‌ها مناسب است. رسانایی می‌تواند توسط pH متر (که pH و درجه حرارت را اندازه می‌گیرد) اندازه‌گیری شود. رسانایی همچنین می‌تواند با دستگاه‌های دستی از قبیل Myron-L نیز اندازه‌گیری شود.

مقاومت: مقاومت، میزان کارایی برداشت یون‌ها از آب در یون‌زداها را نشان می‌دهد. آب با مقاومت بالا، درنتیجه میزان پایین یون‌های محلول در آن، قدرت هدایت پایینی خواهد داشت.

آزمایش سختی آب: این آزمایش وجود یون‌های کلسیم و منیزیم آب را نشان می‌دهد.

کل مواد جامد محلول: مجموع همه یون‌های موجود در یک محلول است و کارایی غشاهای RO را تأیید می‌کند. که می‌تواند توسط دستگاه‌های دستی کنترل شود. نتایج با واحد ppm نشان داده می‌شود.

استاندارد میکروبیولوژیکی برای استفاده مجدد صافی دیالیز چیست؟

میزان‌های میکروبیولوژیکی که برای استفاده مجدد از صافی استفاده می‌شود در رهنمود AAMI (پیشنهاد عملی برای استفاده مجدد از صافی‌ها) وجود دارد (RD47). قوانین CMS منتشر شده در سال ۲۰۰۸ توصیه‌های ارائه شده توسط AAMI در سال ۲۰۰۴ را تأیید می‌کند. آبی که برای این منظور استفاده می‌شود باید حاوی کمتر از 200 CFU/mL باکتری یا کمتر از 2 EU/mL آندوتوکسین باشد. این مسئله ممکن است به‌خاطر مشکلاتی که با بی‌کربنات و صافی‌های فلکس وجود دارد، محدودتر نیز شود. سطح عملی مورد نیاز برای میزان میکروبی کل آب 50 CFU/mL و برای آندوتوکسین‌ها 1 EU/mL است (Coulliette & Arduino, ۲۰۱۳).

بهترین دستگاه پردازش آب برای واحد دیالیز انفرادی کدام است؟

نوع پردازش آب به کیفیت آب در دسترس و محتوای مواد موجود در آن بستگی دارد. آب ورودی باید برای بررسی مواد شیمیایی و میکروبی موجود بررسی شود. این آب باید با میزان استاندارد پذیرفته‌شده آب آشامیدنی سازمان حفاظت محیط‌زیست (EPA) منطبق باشد. آب تولیدی (محصول) (آب خالص نهایی برای آماده کردن محلول دیالیز) باید میزان‌های پذیرفته‌شده را از سوی AAMI داشته باشد. اجزایی که یک دستگاه برای تأمین این نیازها دارد شامل موارد زیر است:

- ❖ **فیلتر(های) اولیه رسوب گیر**
- ❖ **سختی گیرهای رزینی** (سختی آب یک مرتبه در پایان هر روز بررسی می‌شود)
- ❖ **فیلتر کربن فعال** (دو فیلتر به صورت سری)
- ❖ **واحد RO** (با نظارت دائم کانداکتیویتی و مقاومت آب ورودی و خروجی)
- ❖ **واحد دییونیزاسیون (DI)** (پایش مداوم مقاومت جریان خروجی، به علاوه آزمایش‌های ماهانه باکتری‌شناسی، آنالیز شیمیایی و تست های لیمولوس (limulus amoebocyte lysate) (LAL) یک روش ساده برای تشخیص باکتری های گرم منفی زنده و غیر زنده).

یک سیستم کامل متشکل از موارد بالا، حداکثر خلوص آب با مقاومت نزدیک به $1\text{M}\Omega/\text{cm}$ را تأمین می‌کند. آب برای رسیدن به خلوص مورد نظر باید به طور کامل بررسی شود. این بررسی باید با در نظر گرفتن به صرفه بودن از نظر اقتصادی انجام گیرد. نظارت مداوم برای اطمینان از عملکرد سیستم تصفیه آب، مورد دیگری است که لازم است مورد توجه قرار گیرد.

چه عوامل در خرید دستگاه مناسب تصفیه آب دیالیز نقش دارند؟

پیش از اختصاص هزینه برای خرید، خریدار باید با یک طراح آگاه در سیستم های تصفیه آب تاسیسات دیالیز و یک تأمین کننده و نصاب قابل اعتماد مشورت کند. نیازهای فعلی و آینده بخش دیالیز مورد نظر باید در نظر گرفته شود. باید به هر یک از عوامل زیر توجه کرد:

- ❖ کیفیت آب ورودی
- ❖ حداکثر حجم مورد نیاز
- ❖ کیفیت مورد نظر آب محصول (تولیدی)
- ❖ تخصص کادر فنی
- ❖ هزینه آب ورودی
- ❖ انطباق با استانداردها
- ❖ نوع (های) درمانی که قرار است ارائه شود
- ❖ سهولت کار با سیستم
- ❖ الزامات نگهداری

موارد یادشده در بالا باید در نهایت منجر به دستیابی به یک هدف خاص شوند و هدف نهایی آن برآورده شدن استانداردهای توصیه شده برای دیالیز معمولی یا دیالیز با محلول اولتراپور است. اگر محتوای معدنی آب منبع بسیار کم باشد، ممکن است آب محصول یا تولیدی با مشخصه $1\text{M}\Omega/\text{cm}$ به تنهایی توسط RO یا سیستم دیونیزاسیون پس از فیلتراسیون مناسب، بدست آید. داشتن مخازن کربن فعال همیشه الزامی است. فقط باید حداقل تعداد اجزای لازم برای برآورده شدن استانداردهای توصیه شده یا فراتر از آن را دارا باشد.

برای مهیا کردن محلول بیکربنات و دیالیز های – فلاکس ممکن است نیاز به کنترل میکروبی دقیق تری نسبت به استانداردهای فعلی AAMI و CMS CfCs داشته باشیم.

چه کسی نوع سیستم تصفیه و کیفیت آب مصرفی برای انجام دیالیز را تعیین می‌کند؟ مدیر پزشکی مسئولیت نهایی اطمینان از کیفیت آب مورد استفاده برای دیالیز را بر عهده دارد. اگر استانداردها رعایت نشود، ممکن است مدیر پزشکی به عنوان شخص سهل انگار شناخته شود. وظیفه وی تأیید اعتبار سیستم تصفیه و کیفیت آب مصرفی با همراهی تیم‌های میان‌رشته‌ای به صورت ماهانه است. همه مدارک تست کیفیت آب شامل؛ بررسی‌های باکتریایی و آندوتوکسین باید مرور و توسط مدیر پزشکی تایید شود (CMS, 2014).