

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای انتخاب و به کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی به منظور تامین آب شرب

نشریه شماره ۷۶۰

وزارت نیرو
دفتر استانداردها و طرح‌های آب و آبفا
seso.moe.gov.ir

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی و اجرایی
nezamfanni.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir
 - ۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.
 - ۳- به بخش نظرخواهی این نشریه مراجعه فرمایید.
 - ۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.
 - ۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email: [nezamfanni @mporg.ir](mailto:nezamfanni@mporg.ir)

web: nezamfanni.ir

پیشگفتار

امروزه استفاده از فناوری‌های نمک‌زدایی به عنوان روشی مناسب و قابل اعتماد برای تولید آب آشامیدنی در حال گسترش بوده و راه‌حلی برای رفع کمبود آب در مناطق مختلف محسوب می‌شود. بروز مشکلات متنوع در راهبری، تعمیر و نگهداری این فناوری‌ها، سابقه محدود بسیاری از این فناوری‌ها در کشور و به تبع آن کمبود دانش و توان کافی در شناخت مشکلات و راهکارهای رفع عیب و نبود استانداردهای مناسب در این زمینه، تهیه راهنمای انتخاب و به‌کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی را به منظور رفع این مشکل‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

با توجه به اهمیت مبحث فوق‌الذکر، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای انتخاب و به‌کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی به منظور تامین آب شرب» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود که پس از بررسی، براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این نشریه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادها دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن نشریه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین وسیله معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی از تلاش‌ها و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

زمستان ۱۳۹۶

تهیه و کنترل «راهنمای انتخاب و به کارگیری سامانه های نمک زدایی به منظور تامین آب شرب»

[نشریه شماره ۷۶۰]

مجری: شرکت مهندسين مشاور مددآب تهران

مشاور پروژه: علی جعفریان دهکردی دانشگاه تربیت مدرس دکترای مهندسی مکانیک

اعضای گروه تهیه کننده:

مهدی بنکداری	شرکت مهندسين مشاور مددآب تهران	کارشناسی مهندسی شیمی
علیرضا بهرامی جوین	شرکت مهندسين مشاور مددآب تهران	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
علی جعفریان دهکردی	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی مکانیک
امیرحسین صدیقی	شرکت مهندسين مشاور مددآب تهران	کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست

اعضای گروه نظارت:

حسین ابوتراب	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	کارشناسی ارشد مهندسی عمران
کامران اسماعیلی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی محیط زیست
عباس حاج حریری	کارشناس آزاد	کارشناسی ارشد مدیریت صنایع
الهام عزیززاده آرائی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	کارشناسی ارشد میکروبیولوژی
سیداحمد علوی	کارشناس آزاد	کارشناسی ارشد تبدیل انرژی
مجتبی فاضلی	دانشگاه صنعت آب و برق	دکترای مهندسی عمران - محیط زیست

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

نعمت الله الهی پناه	کارشناس آزاد	کارشناسی ارشد هیدرولوژی و مهندسی آب
ابوالقاسم توتونچی	شرکت مهندسين مشاور ایراناب	کارشناسی ارشد راه و ساختمان
عباس حاج حریری	کارشناس آزاد	کارشناسی ارشد مدیریت صنایع
حسن صادقپور	شرکت تهران میراب	کارشناسی ارشد مهندسی عمران
سیدعباس صادقیان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	کارشناسی مهندسی عمران - بهره برداری از سد و شبکه های آبیاری
الهام عزیززاده آرائی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	کارشناسی ارشد میکروبیولوژی
سید احمد علوی	کارشناس آزاد	کارشناسی ارشد تبدیل انرژی

مجتبی فاضلی

مجید قنادی

دانشگاه صنعت آب و برق

شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

دکترای مهندسی محیط زیست

کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت
محیط

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی

فرزانه آقارمضانعلی

معاون امور نظام فنی و اجرایی

رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی

کارشناس، امور نظام فنی و اجرایی

سید وحیدالدین رضوانی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول- بررسی منابع آب خام و روش‌های آب‌گیری از آن‌ها
۵	۱-۱- منابع آب
۵	۱-۱-۱- آب‌های زیرزمینی
۵	۱-۱-۲- آب‌های سطحی
۶	۲-۱- عوامل فیزیکی منابع آب
۶	۱-۲-۱- مواد جامد معلق
۶	۲-۲-۱- کدورت
۷	۳-۲-۱- رنگ
۷	۴-۲-۱- بو و مزه
۷	۵-۲-۱- عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی
۸	۳-۱- عوامل شیمیایی
۸	۱-۳-۱- هدایت الکتریکی (EC)
۸	۲-۳-۱- کل جامدات محلول (TDS)
۹	۳-۳-۱- سختی
۹	۴-۳-۱- pH
۱۰	۵-۳-۱- قلیائیت
۱۱	۶-۳-۱- شاخص‌ها
۱۳	۷-۳-۱- مواد آلی
۱۴	۸-۳-۱- انواع مواد شیمیایی
۱۵	۹-۳-۱- عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی
۱۵	۴-۱- ریزجانداران و عوامل زنده
۱۷	۵-۱- انواع آب‌گیری
۱۷	۱-۵-۱- آب‌گیری از دریاها
۲۰	۲-۵-۱- آب‌گیری از دریاچه‌ها
۲۱	۳-۵-۱- عوامل موثر در تعیین نوع آب‌گیر

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۱	۱-۶- جمع بندی
۲۵	فصل دوم- انتخاب پیش تصفیه مناسب
۲۷	۱-۲- کلیات
۲۸	۲-۲- کیفیت منابع آب خام
۲۸	۱-۲-۲- آب سطحی
۲۹	۲-۲-۲- آب زیرزمینی
۲۹	۳-۲- محدودیت های آب ورودی به سامانه های نمک زدایی
۳۰	۴-۲- کنترل گرفتگی و رسوب گذاری
۳۱	۱-۴-۲- روش های شیمیایی
۳۵	۲-۴-۲- روش های فیزیکی
۳۷	۵-۲- جمع بندی
۳۹	فصل سوم- انتخاب فناوری نمک زدایی مناسب
۴۱	۱-۳- کلیات
۴۱	۱-۱-۳- فرایندهای حرارتی
۴۱	۲-۱-۳- فرایندهای غشایی
۴۳	۲-۳- تشریح نحوه عملکرد
۴۳	۱-۲-۳- اساس کار اسمز معکوس
۴۴	۲-۲-۳- نانوفیلتراسیون
۴۴	۳-۲-۳- الکترو دیالیز و الکترو دیالیز معکوس شونده
۴۵	۴-۲-۳- فرآیند تقطیر چند مرحله ای (MED)
۴۶	۵-۲-۳- تبخیر ناگهانی چند مرحله ای (MSF)
۴۷	۶-۲-۳- فرآیند تراکم بخار
۴۸	۳-۳- مصالح و تجهیزات مناسب
۴۸	۱-۳-۳- دستگاه ها و تجهیزات سامانه های غشایی
۵۵	۲-۳-۳- دستگاه ها و تجهیزات سامانه های حرارتی
۵۶	۴-۳- ملاحظات زیست محیطی سامانه های نمک زدایی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۷	۳-۴-۱- تاثیرات زیست محیطی حین ساخت فرایندهای نمک زدایی
۵۷	۳-۴-۲- تاثیرات زیست محیطی حین عملکرد فرایندهای نمک زدایی
۶۱	۳-۴-۳- مقایسه اثرات زیست محیطی ضایعات سامانه های نمک زدایی حرارتی و غشایی
۶۲	۳-۵-۵- مقایسه اقتصادی سامانه های نمک زدایی
۶۳	۳-۵-۱- هزینه سرمایه گذاری
۶۴	۳-۵-۲- هزینه سالانه
۶۶	۳-۵-۳- قیمت آب
۶۷	۳-۶-۶- روش های نوین و هیبرید در سامانه های نمک زدایی
۶۷	۳-۶-۱- هیبرید فرایندهای نمک زدایی
۶۸	۳-۶-۲- روش های نوین نمک زدایی
۷۰	۳-۷-۷- راهنمایی های کلیدی در راهبری و نگهداری از سامانه های نمک زدایی
۷۲	۳-۷-۱- کلیدهای طلایی پیشگیرانه
۷۴	۳-۷-۲- کلیدهای طلایی در فاز راهبری
۷۵	۳-۷-۳- کلیدهای طلایی در فاز نگهداری
۷۶	۳-۸- مقایسه تطبیقی و انتخاب فناوری نمک زدایی مناسب
۸۰	۳-۹- جمع بندی
۸۱	فصل چهارم - مدیریت پساب
۸۳	۴-۱- پساب سامانه های نمک زدایی
۸۴	۴-۲- مدیریت پساب ها
۸۴	۴-۲-۱- دفع پساب
۹۰	۴-۲-۲- تصفیه پساب
۹۹	۴-۳- جمع بندی
۱۰۱	فصل پنجم- کنترل کیفیت آب شرب تولیدی با سامانه های نمک زدایی
۱۰۳	۵-۱- کلیات
۱۰۴	۵-۲- تنظیم کیفیت آب خروجی
۱۰۴	۵-۲-۱- کدورت زدایی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۰۴	۵-۲-۲- گندزدایی
۱۰۴	۵-۲-۳- گاززدایی
۱۰۵	۵-۲-۴- سختی دهی و تنظیم قلیائیت
۱۰۸	۵-۲-۵- حذف بور
۱۰۸	۵-۲-۶- حذف برومید
۱۰۹	۵-۲-۷- تنظیم فلوئور
۱۰۹	۵-۲-۸- کنترل نیتريت و نیترات
۱۰۹	۵-۲-۹- خوردگی
۱۱۴	۵-۳- شبکه توزیع
۱۱۴	۵-۳-۱- نشت
۱۱۴	۵-۳-۲- پایش
۱۱۶	۵-۴- جمع بندی
۱۱۶	۵-۴-۱- تثبیت کیفیت آب برای حداقل کردن احتمال افت کیفی در طول مسیر، قبل از توزیع آب تولیدی
۱۱۶	۵-۴-۲- حداقل کردن رشد میکروبی و ایجاد بیوفیلم در شبکه توزیع
۱۱۷	۵-۴-۳- انتخاب صحیح گندزداها جهت محافظت از سلامت عمومی
۱۱۷	۵-۴-۴- به روزرسانی استانداردهای مورد استفاده در خصوص جنس لوله ها در شبکه توزیع جهت بهبود تاثیر آن بر کیفیت آب
۱۱۹	پیوست ۱- واحدهای سختی و روش تبدیل آنها
۱۲۳	پیوست ۲- استانداردها
۱۳۳	پیوست ۳- نمودارهای مبحث اقتصاد نمک زدایی
۱۴۷	پیوست ۴- واژه نامه
۱۵۵	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- ضریب تبدیل هدایت الکتریکی به TDS	۹
جدول ۲-۱- مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری	۱۳
جدول ۳-۱- دسته‌بندی آب‌ها بر اساس مقدار BOD	۱۳
جدول ۴-۱- مزایا و معایب آب‌گیرهای مستقیم و غیرمستقیم	۲۰
جدول ۱-۲- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های اسمز معکوس	۳۰
جدول ۲-۲- قدرت نسبی اکسیداسیون در مقایسه با کلر ($Cl=1.0$)	۳۲
جدول ۳-۲- حداکثر مجاز عوامل بازدارنده درگندزدایی با پرتو فرابنفش	۳۴
جدول ۴-۲- توان روش‌های مختلف پیش‌تصفیه در حل مشکلات و محدوده ظرفیت کاربردی آن‌ها	۳۷
جدول ۱-۳- فشار مورد نیاز جریان ورودی RO براساس نوع غشا	۵۱
جدول ۲-۳- مسایل زیست‌محیطی در اجرای پروژه	۵۶
جدول ۳-۳- مقایسه مصرف انرژی در فرایندهای مختلف	۵۸
جدول ۴-۳- فرایند اسمز معکوس آب دریا جریان پساب در فرایندهای مختلف نمک‌زدایی و تاثیرات زیست‌محیطی آن‌ها	۶۰
جدول ۵-۳- مشخصات پساب فرایندهای نمک‌زدایی مختلف	۶۲
جدول ۶-۳- موارد بازرسی دوره‌ای	۷۵
جدول ۷-۳- مهم‌ترین معیارها در مقایسه و انتخاب فناوری نمک‌زدایی مناسب	۷۷
جدول ۸-۳- کاربرد فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی و حرارتی بر اساس منابع آب	۷۷
جدول ۹-۳- کاربرد فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی و حرارتی بر اساس پارامترهای کیفی آب	۷۸
جدول ۱۰-۳- محدوده کاربرد فرایندهای نمک‌زدایی غشایی و حرارتی بر اساس شوری آب تغذیه	۷۸
جدول ۱۱-۳- محدوده ظرفیت تولید فرایندهای مختلف نمک‌زدایی	۷۸
جدول ۱۲-۳- حداقل دبی آب تولیدی توصیه شده برای فرایندهای مختلف نمک‌زدایی	۷۸
جدول ۱۳-۳- کیفیت آب تولیدی در فرایندهای مختلف نمک‌زدایی	۷۹
جدول ۱۴-۳- میزان مصرف انرژی به تفکیک نوع آن در فرایندهای نمک‌زدایی	۷۹
جدول ۱۵-۳- درصد بازیافت فرایندهای مختلف نمک‌زدایی آب دریا	۷۹
جدول ۱۶-۳- درصد بازیافت فرایندهای مختلف نمک‌زدایی آب لب‌شور	۷۹
جدول ۱۷-۳- میزان حذف آلودگی‌ها در فرایندهای مختلف نمک‌زدایی	۷۹
جدول ۱-۵- اثر تزریق مواد شیمیایی معدنی روی کیفیت آب	۱۰۷
جدول ۲-۵- پارامترهای تاثیرگذار بر خوردگی در آب نمک‌زدایی شده	۱۱۰
جدول ۳-۵- تناوب و آزمون‌های مورد نظر بر روی آب تصفیه شده	۱۱۶
جدول پ.۱-۱- واحدهای سختی و روش تبدیل آن‌ها	۱۲۱

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۲۵	جدول پ. ۱-۲- مقایسه‌ی استانداردهای معتبر برای پارامترهای فیزیکی آب شرب
۱۲۵	جدول پ. ۲-۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی
۱۲۶	جدول پ. ۳-۲- حداکثر مجاز مواد شیمیایی معدنی سمی موجود در آب آشامیدنی
۱۲۷	جدول پ. ۴-۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی آلی موجود در آب آشامیدنی
۱۲۸	جدول پ. ۵-۲- استاندارد ویژگی‌های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان ملی استاندارد ایران (۱۰۱۱)
۱۲۸	جدول پ. ۶-۲- استاندارد ویژگی‌های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی (WHO)
۱۲۸	جدول پ. ۷-۲- استانداردهای زیست‌محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب
۱۳۰	جدول پ. ۸-۲- پیش‌نویس استاندارد ایزو (ISO-DIS-21348) در خصوص تابش‌های خورشیدی
۱۳۰	جدول پ. ۹-۲- حداکثر مجاز و مطلوب برخی از گندزداها در آب آشامیدنی
۱۳۰	جدول پ. ۱۰-۲- حداکثر مجاز و مطلوب برخی محصولات جانبی گندزدایی در آب آشامیدنی
۱۳۱	جدول پ. ۱۰-۲- حداکثر مجاز و مطلوب برخی محصولات جانبی گندزدایی در آب آشامیدنی
۱۳۱	جدول پ. ۱۱-۲- نسبت pH با حداقل مجاز کلر آزاد باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشامیدنی
۱۳۱	جدول پ. ۱۲-۲- میزان مجاز کلر باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشامیدنی در سیستم‌های مختلف آبرسانی و محل برداشت

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۰	شکل ۱-۱- رابطه pH با قلیائیت
۱۱	شکل ۲-۱- وضعیت نسبی آب با توجه به پارامترهای pH و قلیائیت
۳۷	شکل ۱-۲- چینش کلی روش‌های پیش‌تصفیه متداول و جایگزین
۴۳	شکل ۱-۳- نمودار محدوده کاربرد سامانه‌های نم‌زدایی نسبت به درجه‌ی شوری
۴۵	شکل ۲-۳- اساس کار فرایند الکترودیالیز
۴۵	شکل ۳-۳- سامانه نم‌زدایی تقطیری تک مرحله‌ای
۴۷	شکل ۴-۳- یک مقطع از محفظه تبخیر ناگهانی
۴۸	شکل ۵-۳- سامانه تراکم بخار مکانیکی
۴۹	شکل ۶-۳- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی صفحه‌ای (چپ)
۴۹	شکل ۷-۳- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی الیافی (چپ)
۵۰	شکل ۸-۳- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی حلزونی (چپ)
۵۰	شکل ۹-۳- نام‌گذاری المان‌های کوچک‌تر از ۸ اینچ
۵۳	الف- یک مرحله‌ای
۵۳	ب- دو مرحله‌ای
۵۳	ج- سه مرحله‌ای
۵۳	د- دو مرحله‌ای با بازگشت پساب
۵۳	ه- دو مرحله‌ای با اختلاط آب خام
۵۳	و- دو بار تصفیه
۵۳	شکل ۱۰-۳- انواع آرایه‌های متداول سامانه‌های غشایی
۶۲	شکل ۱۱-۳- روش بررسی هزینه‌های فناوری‌های نم‌زدایی
۶۶	شکل ۱۲-۳- سهم هر هزینه از کل هزینه‌های عملیاتی در نم‌زدایی آب دریا
۶۶	شکل ۱۳-۳- سهم هر هزینه از کل هزینه‌های عملیاتی در نم‌زدایی آب لب‌شور
۶۷	شکل ۱۴-۳- هزینه آب تولیدی واحدهای نم‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور
۷۱	شکل ۱۵-۳- مدل راهبری، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های نم‌زدایی
۱۳۵	شکل پ.۳-۱- نمودار هزینه ساخت واحدهای نم‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور برای ظرفیت‌های مختلف
۱۳۶	شکل پ.۳-۲- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب‌های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۶	شکل پ.۳-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۷	شکل پ.۳-۴- هزینه ساخت فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۷	شکل پ.۳-۵- هزینه تجهیزات فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

- شکل پ.۳-۶- هزینه ساخت فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۳۸
- شکل پ.۳-۷- هزینه تجهیزات فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۳۸
- شکل پ.۳-۸- هزینه ساخت فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۳۹
- شکل پ.۳-۹- هزینه تجهیزات فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۳۹
- شکل پ.۳-۱۰- هزینه ساخت فرآیندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده برای آب های سطحی و چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۰
- شکل پ.۳-۱۱- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای غشایی برای آب های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۰
- شکل پ.۳-۱۲- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۱
- شکل پ.۳-۱۳- هزینه ساخت آب گیر فرآیندهای غشایی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۱
- شکل پ.۳-۱۴- هزینه ساخت آب گیر فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۲
- شکل پ.۳-۱۵- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند SWRO، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۲
- شکل پ.۳-۱۶- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند BWRO و EDR، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۳
- شکل پ.۳-۱۷- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۳
- شکل پ.۳-۱۸- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۴
- شکل پ.۳-۱۹- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۴
- شکل پ.۳-۲۰- هزینه بخار- واحد یک منظوره، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۵
- شکل پ.۳-۲۱- هزینه بخار- واحد دو منظوره در کنار نیروگاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۵
- شکل پ.۳-۲۲- هزینه تعویض سالانه غشاها، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۶

مقدمه

امروزه استفاده از فناوری‌های نمک‌زدایی به عنوان روشی مناسب و قابل اعتماد برای تولید آب آشامیدنی در حال گسترش بوده و راه‌حلی برای رفع کمبود آب در مناطق مختلف محسوب می‌شود. بروز مشکلات متنوع در راهبری، تعمیر و نگهداری این فناوری‌ها، سابقه محدود بسیاری از این فناوری‌ها در کشور و به تبع آن کمبود دانش و توان کافی در شناخت مشکلات و راهکارهای رفع عیب و نبود استانداردهای مناسب در این زمینه، تهیه راهنمای انتخاب و به‌کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی را به منظور رفع این مشکل‌ها اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

به‌طور کلی بر مبنای فیزیک حاکم بر نمک‌زدایی آب، این فرآیند با سه روش قابل انجام است. در روش اول نمک‌زدایی بر مبنای اختلاف نقطه جوش آب و مواد حل شده در آن انجام می‌شود که به‌طور کلی آن‌ها را فرایندهای حرارتی می‌نامند. در روش دوم از فیلترهایی استفاده می‌شود که بر مبنای جداسازی فیزیکی بدون تغییر فاز عمل می‌کنند و شامل فرایندهای غشایی می‌شوند. روش سوم بر اساس پیوند شیمیایی عمل می‌کند. رزین‌های تبادل یونی از این دسته هستند.

فصل اول این راهنما، به معرفی انواع منابع آب و شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن پرداخته است. همچنین در این فصل توان سامانه‌های نمک‌زدایی برای بهبود هر یک از شاخص‌های فوق مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه انواع روش‌های آب‌گیری و مقایسه و مزایای هر یک شرح داده شده است.

در فصل دوم پس از تشریح کیفی انواع آب و محدودیت فرایندهای نمک‌زدایی در پذیرش آب خام از نظر کمی و کیفی، روش‌های متعدد پیش‌تصفیه برای رسیدن به شرایط مناسب آب ورودی به سامانه‌های نمک‌زدایی مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها نیز مدلی به منظور انتخاب روش پیش‌تصفیه مناسب ارائه شده است.

در فصل سوم به تشریح نحوه عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی، مصالح و تجهیزات مناسب و ملاحظات زیست‌محیطی هر یک پرداخته شده است. در ادامه مقایسه اقتصادی سامانه‌های نمک‌زدایی انجام گرفته است. معرفی روش‌های نوین و هیبرید در سامانه‌های نمک‌زدایی به عنوان آینده پیش روی این صنعت در تکمیل این فصل آمده است. همچنین راهنمایی‌های کلیدی در راهبری و نگهداری از سامانه‌های نمک‌زدایی حاصل از تجربیات کارشناسان بین‌المللی و داخلی اضافه شده و در انتها نیز بر مبنای مقایسه تطبیقی، مدل انتخاب فناوری نمک‌زدایی مناسب ارائه شده است.

فصل چهارم با عنوان مدیریت پساب در برگزیده انواع روش‌های دفع و بازیافت پساب است. در این فصل روش‌های بازیافت پساب شامل روش‌های شیمیایی، نمک‌زدایی مجدد، فرایندهای بدون پساب و روش‌های نوین مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

با توجه به تمرکز این راهنما بر تهیه آب شرب، فصل پنجم به مباحث کنترل کیفیت از دو دیدگاه سلامت و بهداشت عمومی و خوردگی در شبکه توزیع پرداخته است.

استانداردهای مختلف مربوط به راهنما و نمودارهای اقتصادی مورد نیاز در پیوست‌ها اضافه شده است.

- هدف

هدف از تهیه و تدوین این راهنما ارائه دستورالعملی جهت استفاده فعالان صنعت آب به‌ویژه در امر نمک‌زدایی به‌منظور انتخاب و بهره‌گیری از سامانه‌های نمک‌زدایی است.

- دامنه کار

این راهنما، خطوط کلی تمام امور مربوط به نمک‌زدایی اعم از آبگیری و تامین آب، پیش‌تصفیه و تصفیه تکمیلی، انتخاب و به‌کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی و مدیریت پساب سامانه‌های مذکور را در بر می‌گیرد.

- ضمائم

- اطلاعات بیشتر و فایل‌های راهنما از طریق وبسایت دفتر استاندارها و طرح‌های آب و آبفا به نشانی seso.moe.gov.ir قابل دسترسی است.

فصل ۱

بررسی منابع آب خام و روش‌های

آب‌گیری از آنها

۱-۱- منابع آب

آب خام مورد استفاده در فرایندهای نمک‌زدایی به دو دسته آب زیرزمینی و آب سطحی تقسیم می‌شود. ترکیبات این دو آب دارای تفاوت‌های زیادی هستند.

۱-۱-۱- آب‌های زیرزمینی

ویژگی آب‌های زیرزمینی به شرح زیر است:

- مواد معلق در آن‌ها بسیار کم است.
- ممکن است دارای ذرات شن باشند.
- معمولاً مواد آلی بسیار کمی دارند.

این آب‌ها حاوی آهن محلول و گاهی هم منگنز محلول هستند که وقتی آب در معرض اتمسفر قرار می‌گیرد در اثر اکسید شدن توسط هوا، ذرات زردمایل به قهوه‌ای در آن‌ها ظاهر می‌شود.

دی‌اکسیدکربن از عوامل موثر بر pH آب‌های زیرزمینی است و در صورت تخلیه بی‌رویه می‌تواند موجب افزایش ظرفیت رسوب‌گذاری آن شود.

آب چاه‌های خیلی عمیق معمولاً عاری از میکروب‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌هاست ولی آب چاه‌های کم عمق می‌تواند دارای آلودگی میکروبی باشد.

آب‌های زیرزمینی در اثر انحلال جزئی مواد معدنی، نفوذ آب دریا و یا تأثیرات اسمز در تماس با طبیعت (آبیاری، استعمال مفرط) دارای املاح زیادی است (حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) که بیش‌ترین جزء آن بی‌کربنات کلسیم است. غلظت عناصر در این منابع از یک منبع به منبع دیگر بسیار متفاوت است.

این آب‌ها معمولاً سخت هستند ولی سختی آن‌ها موقتی است.

آلاینده‌های دیگری نیز به طور طبیعی و یا در نتیجه دخالت بشر در منابع آبی موجود است. آلاینده‌هایی مانند نوکلئید، رادیواکتیو و فلوراید به طور طبیعی در منابع آب لب شور زیرزمینی وجود دارد. منابع آبی که فعالیت بشر بر روی آن تأثیر گذاشته است، حاوی مقادیر بالای نیترات (کودهای شیمیایی)، آفت‌کش‌ها (مورد استفاده در مزارع)، آرسنیک (تماس با مواد معدنی) و آلودگی‌های دارویی است [۱۱].

۱-۲- آب‌های سطحی

ویژگی آب‌های سطحی به شرح زیر است:

- شرایط متغیر کیفی شامل آلاینده‌های کلئیدی، مواد آلی، مواد معلق، pH و کدورت
- احتمال آلودگی به مواد آلی، نفت و روغن
- احتمال آلودگی میکروبی

- آلودگی بیولوژیکی میکروبی، موجودات پرسلول، لارو و موجودات آبزی
- آلودگی به سموم کشاورزی، فسفات، نیتрат و ریزآلاینده ها
- امکان حضور بور به ویژه در آب دریا
- احتمال بروز اوتریفیکاسیون، آلودگی جلبکی و تبعات ناشی از آن

۱-۲- عوامل فیزیکی منابع آب

بر اساس تعاریف و استانداردهای اندازه گیری، شاخص های کدورت، مواد جامد معلق، رنگ، بو و مزه برای شناسایی کیفیت فیزیکی تعریف شده است که در کنار دما، خواص فیزیکی آب برشمرده می شوند. این عوامل تحت تاثیر شرایط محیطی، خصوصیات ظاهری آب را نشان می دهند.

۱-۲-۱- مواد جامد معلق

مواد معلق موادی هستند که حلالیت آن ها در آب کم است و به صورت معلق باقی می مانند. از میان مواد معلق به باکتری ها، گل و لای، روغن، رنگ، سیلیس کلئیدی، جلبک ها و موجودات ریز زنده می توان اشاره کرد. اندازه ی این ذرات معمولاً بزرگ تر از ۰/۱ میکرون است [۱۱ تا ۱۸]. استاندارد ملی ایران به شماره ی ۵۹۰۴، روش اندازه گیری مواد جامد معلق آب را بیان کرده است [۶].

علاوه بر روش معمول در اندازه گیری میزان مواد معلق، شاخص دانسیته ی لجن (SDI) امکان گرفتگی غشاهای فیلترها را مشخص می کند. این شاخص امکان گرفتگی ناشی از کلئیدهای آلی، ذرات ناشی از خوردگی آهن، هیدروکسید آهن ته نشین شده، جلبک و سایر ذرات ریز را اندازه گیری می کند. این اندازه گیری بر اساس شکل، اندازه ی ذرات یا مقدار جامدات معلق نیست و بنابراین رابطه ای بین آن و کدورت وجود ندارد. اگرچه رفتار غشاء در مورد کدورت کم تر از ۱ NTU و SDI کم تر از ۵ شباهت دارد. روش اندازه گیری این شاخص بر اساس استاندارد ASTM به شماره ی D4189 است [۱۹ تا ۲۱].

۱-۲-۲- کدورت^۲

کدورت یا عدم شفافیت آب به دلیل وجود مواد معلق یا کلئیدی در آب است. رابطه ی تجربی کدورت با مواد جامد معلق در ذیل آمده است:

$$TSS = 1.5658 \times \text{Turbidity}^{0.804782} \quad (1-1)$$

1- Silt Density Index (SDI)

این اندیس شاخص اندازه گیری کیفیت آب ورودی به سیستم اسمز معکوس است که میزان ذرات معلق و کلئیدها در آب را نشان می دهد. درواقع، SDI نشان دهنده عملکرد تجهیزات پیش تصفیه سیستم اسمز معکوس است.

2- Turbidity

$$\frac{TSS}{Turbidity} = 1 \sim 1.5 \quad (2-1)$$

کدورت آب مانع اثرگندزداها بر باکتری‌های بیماری‌زا می‌شود [۱۱ تا ۱۸].

۱-۲-۳- رنگ

میزان و نوع مواد محلول یا معلق موجود در آب می‌تواند رنگی شدن آب را به همراه بیاورد. یکی از عوامل تغییر رنگ آب، وجود موادی نظیر آهن، منگنز یا اسیدهای آلی است که می‌توانند رنگ آب را به ترتیب قهوه‌ای، آبی و زرد کنند [۱۱ تا ۱۸]. استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۶۷۲۲ روش اندازه‌گیری رنگ آب را بیان کرده است. واحدهای اندازه‌گیری رنگ، مقدار حقیقی یا هازن^۱ هستند.

۱-۲-۴- بو و مزه

عوامل مختلفی مانند جلبک‌ها، تجزیه‌ی گیاهان آب‌زی، آب‌انتهای سیستم توزیع آب، ترکیبات ناشی از کلرزنی آب و موارد مشابه موجب بروز بوها و مزه‌های مختلف در آب می‌شود. برای مثال راکد ماندن آب بوی لجن را به همراه خواهد آورد. افزایش یا کاهش pH نیز به ترتیب مزه‌ی صابون (pH بیش‌تر از ۹) یا ترش و گزنده شدن (pH کم‌تر از ۳) آب را به همراه دارد.

مزه‌ی شور آب ناشی از یون کلر است. این شوری بستگی به ترکیبات شیمیایی آب دارد. اگر یون سدیم در کنار کلروربا غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، مزه‌ی شور آب محسوس است؛ اما اگر غلظت یون کلرور تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و یون مرتبط با آن به جای سدیم، کلسیم یا منیزیم باشد، ممکن است مزه‌ی شور آشکار نشود. انحلال برخی از گازها در آب نیز در طعم و مزه‌ی آن سهم دارد. برای نمونه، انحلال اکسیژن موجب گوارا شدن آب می‌شود و حل شدن سولفید هیدروژن آب را بدبو می‌کند [۱۱ تا ۱۸].

۱-۲-۵- عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی

در سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی تمام مواد معلق و سایر عوامل تولیدکننده‌ی آلودگی‌های فیزیکی از آب حذف خواهد شد و تنها برخی از مواد آلی فرار (VOC)^۲ قادر به گذر از این فرایندها هستند. در واقع آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی را می‌توان عاری از هر گونه مشکل فیزیکی برشمرد.

در سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی، از جمله نانوفیلتراسیون (NF)^۳ و اسمز معکوس (RO)^۴ حتی بخش قابل توجهی از یون‌ها نیز از آب حذف می‌شوند و قاعدتاً امکان عبور سایر مواد وجود نخواهد داشت. تنها مواد موثر بر پارامترهای فیزیکی

1- Hazen Unit (HU)

2- Volatile Organic Compound (VOC)

3- Nanofiltration (NF)

4- Reverse Osmosis (RO)

آب که امکان عبور از نانوفیلترها و اسمز معکوس را دارند گازها هستند. البته باید به این نکته توجه داشت که وجود آلاینده های فیزیکی در ورودی این دو روش موجب کاهش عمر و بالا رفتن هزینه های آن ها خواهد شد.

اما سامانه ی اولترافیلتراسیون قابلیت حذف ۹۹/۸ درصدی کلوئیدهای سیلیس، آهن و آلومینیوم، تمام جامدات معلق، ۹۹/۹۹۹ درصد باکتری ها، ویروس ها و اندوتوکسین ها و ۷۰ درصد کل کربن آلی (TOC)^۱ را دارد. این سامانه ها کدورت را به کم تر از یک NTU می رسانند. اگرچه از اولترافیلتراسیون برای تصفیه ی آب های سطحی با شوری بسیار کم و تولید آب قابل شرب استفاده می شود ولی نقش اصلی آن در صنعت نمک زدایی به عنوان پیش تصفیه ی روش های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس است.

در مجموع با صرف نظر از امکان وجود ناشی در سامانه های نمک زدایی غشایی، می توان تولیدات آن ها را عاری از آلودگی فیزیکی در نظر گرفت.

۳-۱- عوامل شیمیایی

معمولاً به ویژگی هایی از آب که در اثر میزان و نوع ماده حل شده در آن تغییر می کند، ویژگی های شیمیایی آب گفته می شود. از جمله می توان به pH، قلیائیت، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی و سختی اشاره کرد.

۳-۱-۱- هدایت الکتریکی (EC)^۲

هدایت الکتریکی آب نشان دهنده میزان وجود نمک های محلول در آب است. البته این به معنی رابطه هدایت الکتریکی با تعداد یون های محلول در آب نیست. چرا که با افزایش تعداد یون ها حرکت آزادانه یون ها محدود شده و در میزان هدایت الکتریکی تاثیر می گذارد. استاندارد ملی ایران به شماره ۷۴۷۶ روش اندازه گیری هدایت الکتریکی آب را بیان کرده است.

۳-۱-۲- کل جامدات محلول (TDS)^۳

مقدار کل مواد غیر فرار محلول در آب، شامل یون های مختلف، به عنوان TDS با واحد میلی گرم بر لیتر یا ppm اعلام می گردد. رابطه نزدیکی بین هدایت الکتریکی و TDS وجود دارد که آن را در قالب رابطه (۳-۱) تعریف می کنند.

$$TDS(ppm) = K \times EC\left(\frac{\mu S}{cm}\right) \quad (3-1)$$

هدایت الکتریکی با تعداد یون های محلول در آب رابطه ای مستقیم و خطی ندارد و لذا نمی توان برای ضریب K مقداری ثابت در نظر گرفت. مقادیر تجربی K بین ۰/۵ تا ۰/۹۶ متغیر است و به نوع مواد شیمیایی محلول در آب بستگی دارد. در دستگاه های اندازه گیری معمولاً مقدار میانگین ۰/۶۷ به عنوان پیش فرض در نظر گرفته شده است. همچنین با

1- Total Organic Carbon (TOC)

2- Electrical Conductivity

3- Total Dissolved Solids (TDS)

توجه به رابطه نزدیک هدایت الکتریکی با دما باید توجه داشت که در صورت تغییر دما از ۲۵ درجه باید از ضرایب تصحیح استفاده کرد تا مقدار TDS محاسبه شده به مقدار واقعی نزدیک باشد [۱۱ تا ۱۸]. جدول (۱-۱) مقادیر نسبی K را به‌طور تقریبی بیان کرده است.

جدول ۱-۱- ضریب تبدیل هدایت الکتریکی به TDS [۱۹]

ضریب K	EC ₂₅ (μS/cm)
۰/۵	۱۰ تا ۱
۰/۵۵	۸۰۰ تا ۳۰۰
۰/۷	۶۰۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰
۰/۷۵	۸۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰

۱-۳-۳- سختی

یون‌های ایجادکننده سختی در آب کلسیم، منیزیم، استرانسیم، آهن، منگنز و ... هستند ولی به دلیل مقدار بسیار ناچیز استرانسیم، آهن و منگنز، کاتیون‌های کلسیم و منیزیم عوامل اصلی ایجاد سختی در آب به حساب می‌آیند. استاندارد ملی ایران به شماره ۲۳۵۶ روش اندازه‌گیری سختی آب را بیان کرده است.

سختی، دارای واحدهای متعددی است که برخی از آن‌ها به همراه روش تبدیل آن‌ها در پیوست شماره ۱ آمده است. سختی یکی از عوامل موثر در ایجاد رسوب است که اغلب به شکل رسوب‌های کربنات کلسیم، هیدروکسید منیزیم و سولفات کلسیم دیده می‌شود. سختی دارای تعاریف مختلفی است که هر یک مشخصات و ویژگی‌های یون‌های کلسیم و ترکیبات و شرایط گوناگون را نشان می‌دهد [۱۱ تا ۱۹].

سختی ناشی از نمک‌های بی‌کربنات کلسیم و منیزیم را سختی موقت می‌گویند. این بدان علت است که این بخش از سختی در اثر افزایش دما رسوب می‌کند.

سایر نمک‌های کلسیم و منیزیم مانند نمک‌های سولفات، نیتراته و کلرورها را سختی دائم می‌گویند. این نوع از سختی حتی با جوشیدن آب حذف نمی‌شود [۱۱ تا ۱۹].

مجموع سختی دائم و سختی موقت یا به عبارتی کل نمک‌های کلسیم و منیزیم را سختی کل (TH) می‌نامند و گاهی به تفکیک سختی کل کلسیم و سختی کل منیزیم بیان می‌کنند. سختی در کنار قلیائیت و pH نشان‌دهنده قابلیت خوردگی یا رسوب‌گذاری آب است.

۱-۳-۴- pH

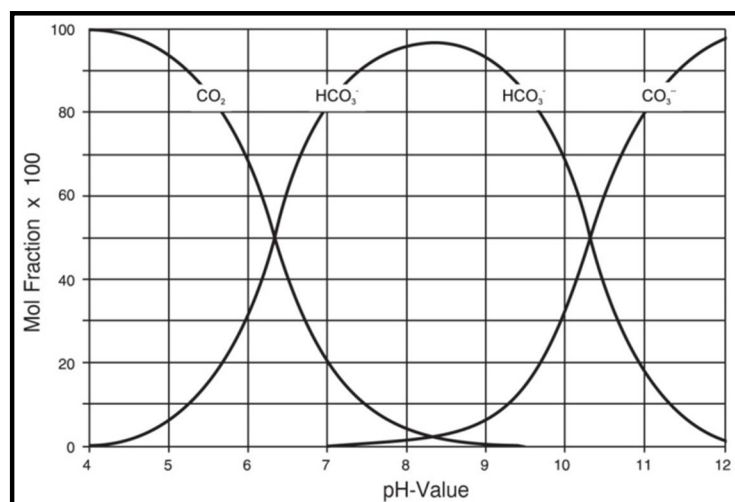
این عامل معیاری برای سنجش اسیدی یا بازی بودن محلول است و نشان‌گر غلظت یون هیدروژن در محلول است؛ به همین دلیل گاهی به آن اسیدیته نیز گفته می‌شود.

pH تابعی از دماست و pH خنثی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تعیین می شود. دانستن pH در تعیین قابلیت خوردگی یا رسوب گذاری محلول از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۱ تا ۱۹].

۱-۳-۵- قلیائیت^۱

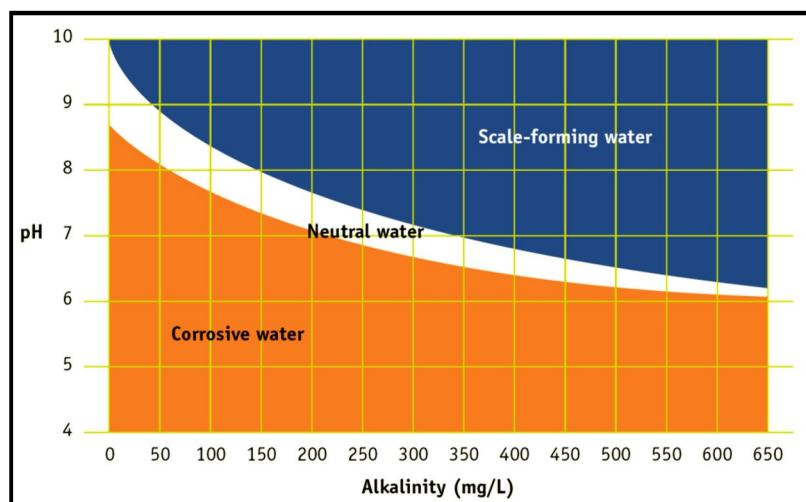
ظرفیت آب برای جذب اسید قوی تا رسیدن به pH حدود ۴/۵ را قلیائیت آب می گویند. قلیائیت به دلیل وجود هیدروکسیدها، کربنات ها، بی کربنات ها، فسفات ها، سیلیکات ها و بورات ها در آب است. البته غلظت بسیار کم فسفات ها، سیلیکات ها و بورات ها در مقایسه با سایر عوامل قلیائیت، موجب می شود که در بیش تر موارد از آن ها صرف نظر گردد. قلیائیت بسته به نوع معرف مورد استفاده در اندازه گیری به دو گروه قلیائیت فنل فتالئین یا قلیائیت ساده و قلیائیت متیل اورانژ یا قلیائیت کل تقسیم می شود.

شکل (۱-۱) نشان می دهد که قلیائیت ساده تنها مقداری از یون های بی کربنات و یون های کربنات را اندازه می گیرد. این در حالی است که قلیائیت کل، علاوه بر اندازه گیری کل یون های بی کربنات و کربنات، بخش عمده ای از یون های هیدروکسید را نیز اندازه می گیرد. به همین دلیل در آنالیز آب مربوط به سامانه های نمک زدایی اغلب مقدار قلیائیت کل اعلام می گردد [۱۱ تا ۱۹].



شکل ۱-۱- رابطه pH با قلیائیت [۱۱ تا ۱۹]

اما آنچه دارای اهمیت و تاثیر گذار است، رابطه سه عامل pH، قلیائیت و سختی است. این رابطه در میزان رسوب گذاری یا خوردگی آب مشاهده می شود و روش ها و شاخص های متعددی برای محاسبه آن وجود دارد. شکل (۱-۲) وضعیت نسبی آب را با توجه به عوامل فوق برای قلیائیت در محدوده صفر تا ۶۵۰ میلی گرم بر لیتر نشان می دهد [۱۱ تا ۱۹].



شکل ۱-۲- وضعیت نسبی آب با توجه به پارامترهای pH و قلیائیت [۲۲]

۱-۳-۶- شاخص‌ها

روش متداول و کارآمد در تعیین وضعیت خوردگی و رسوب‌گذاری آب، استفاده از شاخص‌ها است. رسوب کربنات کلسیم (کلسیت)^۱ به عنوان یکی از مهم‌ترین رسوب‌ها، سهم زیادی از اندیس‌های مذکور را به خود اختصاص داده است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

شاخص لانژلیه (LSI)^۲ اختلاف بین pH محلول و pH کربنات کلسیم اشباع در آب را نشان می‌دهد. از این روش می‌توان برای آب‌های لب‌شور با TDS کم‌تر از ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر استفاده کرد. همچنین این روش برای آب‌های حاوی فسفات و قلیائیت سدیمی پایین و سیستم‌های با سرعت کم جریان آب مناسب است. علاوه بر این، این روش نسبت به آلودگی چربی و روغن، جلبک‌ها و میکرواورگانیزم‌ها تاثیرپذیری قابل توجهی دارد [۲۳ و ۲۴].

شاخص استیف و دیویس (S&DSI)^۳ برای جبران مشکل شاخص لانژلیه در آب‌های با TDS بیش‌تر از ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر توسعه یافته است و اثر متقابل یون‌ها برای ایجاد رسوب را در نظر می‌گیرد [۲۵].

LSI تنها تمایل محیط به تشکیل رسوب یا خوردگی را نشان می‌دهد و ممکن است در مورد دو نوع آب، یکی با سختی زیاد و دیگری با سختی کم، مقادیر مشابهی داشته باشد. به همین دلیل شاخص ریزنار (RSI)^۴ مطرح شده است که بین دو نوع آب مورد بحث تمایز ایجاد می‌کند.

RSI از روی داده‌های تجربی موجود در مورد نرخ خوردگی و تشکیل رسوب بر روی لوله‌های استیل مورد استفاده در آب‌های شهری به وجود آمده است و فقط برای کنترل رسوب کربنات کلسیم در سیستم‌های با سرعت بالاتر از ۰/۶ متر بر ثانیه مناسب است [۲۶].

1- Calcite

2- Langelier Saturation/Stability Index (LSI)

3- Stiff & Davis (Calcite) Saturation Index (S&DSI)

4- Ryznar Stability Index (RSI)

شاخص پوکوریوس (PSI) روشی مشابه RSI است که در آن به جای pH از pH تعادلی استفاده می شود تا ظرفیت بافری آب نیز در محاسبات در نظر گرفته شود. این شاخص در pH بالاتر از ۸ کاربرد مناسبی دارد زیرا در این حالت pH محلول بافری است و با قلیائیت رابطه مشخصی ندارد [۲۷ و ۲۸].

شاخص اودو-توماسون (OTI) مشابه LSI و S&DSI است. در این شاخص تاثیر فشار جزئی دی اکسید کربن بر pH و حلالیت کربنات کلسیم نیز در نظر گرفته شده است. همچنین در این روش تجربی دو یا چند فاز (آب، گاز و روغن) در محاسبات لحاظ شده است [۲۹].

شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم (CCPP)^۱ شاخصی واقعی از ظرفیت آب برای ته نشینی کربنات کلسیم است. این شاخص مفیدترین ابزار محاسباتی برای طراحی روش های کنترل خوردگی و تصفیه ی تکمیلی برای آب نمک زدایی شده از آب دریا است.

شایان ذکر است که شاخص های فوق به دلیل ارتباط تنگاتنگ با pH، رابطه نزدیکی با دما دارند [۳۰]. اما چنانچه ذکر شد، تمام شاخص های فوق برای تشخیص امکان رسوب کربناتی کلسیم است و به رسوب سولفاتی کلسیم نمی پردازد. وجود مقادیر قابل توجه سولفات و کلسیم عامل تشکیل رسوب سولفات کلسیم (جیپسوم)^۲ خواهد بود. حلالیت این نمک با افزایش دما کاهش می یابد و امکان تشکیل رسوب سولفات کلسیم بیش تر خواهد شد. با توجه به جدی بودن بروز مشکل رسوب گذاری سولفات کلسیم، به ویژه در سامانه های نمک زدایی حرارتی که در دمای بالا کار می کند، شاخص هایی برای تشخیص امکان رسوب سولفات کلسیم ارائه شده است که در ادامه بدان پرداخته شده است.

اولین شاخص برای تشخیص امکان رسوب سولفات کلسیم، شاخص اسکیلمن^۳ است. اگر چه نمودارهایی از جانب اسکیلمن برای انجام محاسبات ارائه شده است، وجود ثابت تعادل در رابطه این شاخص محاسبات را با مشکل مواجه می کند [۳۱].

شاخص لارسون-اسکولد برای تشخیص امکان خوردگی ناشی از سولفات و کلراید ایجاد شده است و بهترین دامنه عملکرد آن در pH بین ۶/۵ تا ۸/۵ است [۳۲].

شاخص شدت خوردگی (AI)^۴ برای لوله های آزبست - سیمان با آب هایی که دمایی بین ۴ تا ۲۷ درجه سلسیوس دارند، ایجاد شده است. این شاخص محدودیت های مهمی برای پیش بینی ظرفیت خوردگی در لوله های آزبست - سیمان دارد و تنها تقریبی از LSI بوده و ظرفیت واقعی رسوب کربنات کلسیم را نشان نمی دهد و لذا محدودیت های شاخص شدت خوردگی برای محاسبات کنترل خوردگی برای آب های نمک زدایی شده را نشان می دهد [۳۰]. جدول (۱-۲) مقایسه نتایج شاخص های رسوب گذاری را نشان می دهد.

1- Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP)

2- Gypsum

3- Skillman Index

4- Aggressive Index (AI)

جدول ۱-۲- مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری

نام شاخص	نوع شاخص	خوردگی	تعادل	رسوب‌گذاری
لانژلیه (LSI)	کربنات کلسیم	کم‌تر از ۰/۳	۰/۳-	بیش‌تر از ۰/۳-
استیف و دیویس (S&DSI)		کم‌تر از ۰/۳-	۰/۳-	بیش‌تر از ۰/۳-
ریزنار (RSI)		بیش‌تر از ۸	۶/۵ تا ۷	کم‌تر از ۶/۵
پوکوریوس (PSI)		بیش‌تر از ۶	۶	کم‌تر از ۶
پتانسیل رسوب کربنات کلسیم		کم‌تر از صفر	۴ تا ۱۰	بیش‌تر از ۱۰ در صورت نبود رسوب پلی‌فسفاتی
اسکیلین	سولفات کلسیم	کم‌تر از ۱	۱	بیش‌تر از ۱
لارسون-اسکولد		بیش‌تر از ۱/۲	۰/۸ تا ۱/۲	کم‌تر از ۰/۸
شدت خوردگی (AI)		کم‌تر از ۱۲*	۱۲	بیش‌تر از ۱۲

* آب‌هایی با AI کم‌تر از ۱۰ به شدت خورنده و AI بین ۱۰ و ۱۲ کمی خورنده محسوب می‌شوند.

۱-۳-۷- مواد آلی

از جمله موادی که ممکن است در آب وجود داشته باشند مواد آلی هستند که گستره وسیعی دارند. بخشی از این مواد فرار است و قابلیت همراه شدن با فاز بخار را دارد، بخشی دیگر به‌صورت کلوئیدی در آب معلق می‌ماند و قسمت دیگری از آن در آب محلول است. برای اندازه‌گیری مقدار این مواد در آب شاخص‌های مختلفی وجود دارد که معتبرترین و دقیق‌ترین آن‌ها نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن (BOD)،^۱ نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD)^۲ و کل کربن آلی (TOC) است [۱۱ تا ۱۹].

۱-۳-۷-۱- نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن (BOD)

آزمایش BOD آزمایشی شیمیایی برای اندازه‌گیری مقدار اکسیژن محلول مورد نیاز میکرواورگانیزم‌های هوازی برای تجزیه مواد آلی موجود در آب در دما و زمان مشخص است. اگرچه آزمایش BOD برای مشخص کردن کیفیت آلی آب بسیار متداول است ولی از لحاظ کمی چندان دقیق نیست. آزمایش BOD در شرایط استاندارد واحدی قابل اطمینان برای تعیین درجه آلودگی آلی آب است. مقدار BOD پنج‌روزه برای تعیین کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرد در حالی که تعیین BOD کل به زمان بیش‌تری نیاز دارد. آب‌ها از نظر مقدار BOD به ترتیب جدول (۱-۳) طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱-۳- دسته‌بندی آب‌ها بر اساس مقدار BOD

نوع آب	BOD (mg/l)
خوب	۱
مشکوک به آلودگی	۳
آلوده	۵

1- Biochemical Oxygen Demand (BOD)

2- Chemical Oxygen Demand (COD)

۱-۳-۷-۲- نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD)

این روش برای اندازه گیری مقدار ترکیبات آلی موجود در آب، به ویژه آب های سطحی است. اکسیژن مورد نیاز برای انجام واکنش مورد نظر و تبدیل مواد آلی به دی اکسید کربن، آمونیاک و آب بیان گر نتیجه آزمایش خواهد بود. اکسیدکننده مورد استفاده در آزمایش COD (دی کرومات پتاسیم) قادر به اکسید کردن آمونیاک به نیترات نیست و به همین دلیل، مقدار اکسیژن به دست آمده، اکسیژن مورد نیاز برای تبدیل آمونیاک به نیترات (نیترا ته کردن) را در بر نمی گیرد. برخی از آب ها حاوی مقادیر زیادی از مواد اکسیدشونده هستند که دی کرومات پتاسیم را به مصرف می رسانند. از جمله موادی که در آزمایش COD دخالت می کنند می توان به کلرور، نیتريت، آهن دو ظرفیتی، سولفید و ترکیبات منگن دار اشاره کرد. برای حل این مشکل، قبل از افزودن اکسیدکننده، باید از مواد اصلاح کننده مانند سولفات جیوه استفاده شود.

اگرچه آزمایش COD مقدار آمونیاک را به خوبی آزمایش BOD نشان نمی دهد و ترکیبات آلی فاتی ک فرار با زنجیره خطی در آن به قدرت اکسید می شوند؛ ولی آزمایش COD در مدت ۲ تا ۳ ساعت انجام می شود و در مقایسه با آزمایش BOD که ۵ روز به طول می انجامد از مزیت بالاتری برخوردار است. همچنین آزمایش COD نسبت به آزمایش BOD ساده تر و ارزان تر است.

۱-۳-۷-۳- کل کربن آلی (TOC)

مقدار کربن موجود در ترکیب مواد آلی را کل کربن آلی می گویند که معیاری متداول برای مشخص کردن کیفیت آب نیست. اندازه گیری TOC اغلب به تجهیزات خاص و گران قیمت نیاز دارد. مقدار TOC یک نمونه کوچک در چند ثانیه اندازه گیری می شود و بنابراین می توان از آن به صورت هم زمان با فرآیند پیوسته استفاده کرد. آزمایش TOC نسبت به آزمایش های COD و BOD روشی دقیق تر برای تشخیص میزان مواد آلی در محلول است. اگر رابطه ای بین این سه پارامتر برقرار باشد، با مشخص بودن TOC می توان BOD و COD را به دست آورد. با این همه آزمایش TOC تمام اطلاعات حاصل از آزمایش های BOD و COD را نشان نمی دهد.

۱-۳-۸- انواع مواد شیمیایی

مواد شیمیایی را می توان به چهار دسته گازها، معدنی (سمی و غیرسمی)، آلی و رادیواکتیو تقسیم کرد [۱۱ تا ۱۹].

۱-۳-۸-۱- گازها

حلالیت گازها (از جمله اکسیژن) در آب تابع دما و فشار جزئی آن گاز در هوا است. مصرف اکسیژن محلول در آب به وسیله باکتری های هوازی، منجر به کاهش اکسیژن می شود. ولی باکتری های بی هوازی با مصرف بعضی ناخالصی های موجود در آب، گاز متان، آمونیاک یا هیدروژن سولفور تولید می کنند.

آب در اثر تماس با هوا مقداری از دی‌اکسید کربن هوا را جذب می‌کند. از طرفی تماس آب با مواد آلی در حال فساد، منجر به افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در آب می‌شود.

۱-۳-۸-۲- نمک‌های معدنی

نمک‌های معدنی محلول در آب معمولاً به صورت کاتیونی یا آنیونی هستند. کاتیون‌های مهم عبارتند از کلسیم، منیزیم، پتاسیم، آهن، منگنز و سدیم و آنیون‌ها معمولاً بی‌کربنات، کربنات، هیدروکسید، سولفات، کلراید، فسفات و نیترات هستند. حلالیت نمک‌ها در آب به دما، pH و عوامل دیگر بستگی دارد. در بین یون‌های مختلف، برخی مضر هستند و بعضی نقش حیاتی در سلامت بدن ایفا می‌کنند. به همین دلیل نمک‌های معدنی به دو دسته غیرسمی و سمی تقسیم می‌شوند.

مواد معدنی غیرسمی و سمی متعارف براساس استانداردهای معتبر و مقادیر مجاز آن‌ها در پیوست شماره ۲ آمده است.

۱-۳-۸-۳- مواد آلی

به مواد غیرمعدنی که در ساختار مولکولی خود کربن دارند مواد آلی می‌گویند که عمده‌ترین آن‌ها هیدروکربن‌های آلیفاتیک و هتروترئوفیک است. مقدار مجاز این مواد بر طبق استانداردها در پیوست شماره ۲ قابل مشاهده است.

۱-۳-۹- عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی

در سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی، تمام مواد شیمیایی حذف شده و تنها مقدار بسیار اندکی از نمک‌ها مانند کلرور سدیم به همراه بخار حمل می‌شود. این مقدار بسته به نوع طراحی حداکثر تا حدود ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر خواهد بود. البته برخی از مواد آلی فرار (VOC) قادر به گذر از این فرایندها هستند و لذا این فرایندها قادر به حذف کامل COD نیستند. در بین روش‌های نمک‌زدایی غشایی، روش‌های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در حذف گازها توانایی خاصی ندارند و گازها به راحتی از آن‌ها عبور می‌کنند. توانایی اصلی این روش‌ها در حذف یون‌هاست که بسته به نوع غشا و سازنده آن کارایی‌های متفاوتی دارند. بالاترین درصد جداسازی در فرآیند اسمز معکوس ۹۹/۸ درصد و در فرآیند نانوفیلتراسیون ۹۷ درصد است. نانوفیلتراسیون درصد بالایی از یون‌های دوظرفیتی را جدا می‌کند؛ درحالی‌که در مورد یون‌های تک‌ظرفیتی قابلیت محدودی دارد.

۱-۴- ریزجانداران و عوامل زنده

آب در مصارف گوناگون باید از نظر کیفیت تابع استانداردهای تدوین شده جهانی باشد. به‌طور کلی به‌منظور استفاده از تمامی منابع آب باید فرآیند تصفیه مناسب با آب خام ورودی انجام شده تا به سطح استانداردهای تعیین شده برسد. در این بخش سعی شده است کیفیت آب از نظر بیولوژیکی مورد بررسی قرار گیرد. در پیوست شماره ۲ استانداردهای مربوط به عوامل میکروبی آمده است.

زندگی از آب نشات گرفته است و بسیاری از پدیده های وابسته به حیات هنوز در محیط های دریایی، دریاچه ها، رودخانه ها، برکه ها و مشابه آن به وقوع می پیوندد. اما گاهی حضور بیش از حد مجاز آب زیان در آب، برای انسان مضر است. در محیط طبیعی ریزجانداران ممکن است ترکیباتی تولید کنند که به سختی قابل حذف باشد و طعم نامطبوعی در آب ایجاد کنند. ریزجانداران همچنین ممکن است با جداره لوله ها واکنش داده و باعث افزایش کدورت آب شوند (باکتری آهن). در نهایت وجود بسیاری از این باکتری ها می توانند یک تهدید برای بهداشت عمومی محسوب گردند (ریزجانداران بیماری زا) [۱۱ تا ۱۷].

به طور کلی میکروارگانیسم های موجود در اکوسیستم های آبی را می توان به دو بخش اتوتروف و هتروتروف تقسیم کرد. میکروارگانیسم های اتوتروف با مصرف انرژی خورشیدی و با استفاده از مواد ساده معدنی در دسترس، مواد آلی مورد نیاز خود را می سازند. در حالی که میکروارگانیسم های هتروتروف نمی توانند مواد آلی بسازند بلکه مواد آلی را باید از محیط کسب نمایند.

همچنین آب زیان به دسته های مختلف باکتری ها، ویروس ها، جلبک ها، حیوانات و گیاهان تقسیم می شوند. در میان باکتری های آبزی، باکتری های هتروتروف شامل مجموعه ای از باکتری های هوازی و بی هوازی اختیاری هستند. این باکتری ها معمولا عامل گرفتگی بیولوژیکی در سامانه های غشایی هستند.

قارچ ها، کرم ها و حشرات عموما در مراحل پیش تصفیه حذف می شوند. گیاهان آبزی، خزها و جلبک ها نیز از عوامل عمده گرفتگی فیلترها در پیش تصفیه سامانه های نمک زدایی غشایی هستند.

آمیب ها می توانند به صورت کیست تا بیش از یک ماه زنده بمانند. اگرچه آن ها با ازن زنی با زمان تماس زیاد از بین می روند ولی مقاومت این جانداران در برابر گندزدایی از اغلب باکتری ها بیش تر بوده و ریشه کنی آن ها را با دشواری روبرو می سازد. حذف این عوامل به راحتی از طریق تصفیه آب با روش انعقادسازی و لخته گذاری با میزان بهینه تزریق مواد شیمیایی و به دنبال آن فیلتراسیون سریع با صافی شنی امکان پذیر است.

چون سامانه های نمک زدایی حرارتی در دمای بالا کار می کنند امکان زنده ماندن عوامل میکروبی در آب تولیدی این فرایندها منتفی خواهد بود. لیکن باکتری ها در صورت عدم تصفیه کامل در مراحل پیش تصفیه می توانند موجب گرفتگی بیولوژیکی در سامانه های غشایی بشوند.

همچنین با توجه به امکان وجود نشی در سامانه های نمک زدایی غشایی و امکان رشد بیولوژیکی و حرکت آن از سمت مخزن آب تولیدی به سمت سامانه نمک زدایی، با وجود عدم امکان عبور عوامل میکروبی از هر یک از روش های اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس باید مراقب رشد میکروبی در آب تولیدی این سامانه ها بود.

وجود موجودات زنده آبزی شامل جلبک ها، خزها، گیاهان آبزی، لارو و ماهی های مختلف می تواند بر روی کلیه سامانه های پیش تصفیه از برداشت آب تا فیلتراسیون ماسه ای و فیلترهای غشایی تراوا (کارتریج فیلتر و میکروفیلتراسیون) را تحت تاثیر قرار دهد.

۱-۵- انواع آب‌گیری

روش برداشت آب خام از منابع آب، یکی از با اهمیت‌ترین بخش‌های فناوری نمک‌زدایی می‌باشد، همچنین بخش عمده‌ای از هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و ساخت رابه خود اختصاص می‌دهد. به‌عنوان اولین گام در فرآیند پیش‌تصفیه، نوع آب‌گیر استفاده شده می‌تواند بر روی محدوده کیفی پارامترهای منبع آب و عملکرد تجهیزات تصفیه پایین‌دست تاثیر بگذارد. طرح، احداث، نظارت و سایر موارد مرتبط به آب‌گیرها ممکن است به اندازه ۱۰ تا ۲۰ درصد هزینه کل پروژه‌های نمک‌زدایی باشد. یک طرح آب‌گیر مناسب نه تنها از تجهیزات پایین‌دست حفاظت می‌کند و اثرات مخرب بر روی اکوسیستم آبی را کاهش می‌دهد، بلکه بازدهی و عملکرد فرآیند نمک‌زدایی آب را بالا برده و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری را نیز کاهش می‌دهد. اصولاً یک آب‌گیر مناسب کم‌ترین آشفستگی را در محیط آب‌گیری ایجاد می‌کند و دارای عمق مناسب بوده و از ورود گل و لای و آب‌زیان جلوگیری می‌کند. آب‌گیرها با توجه به منابع آبی به سه بخش آب‌گیری از دریاها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تقسیم می‌شود که آب‌گیری از دریا و دریاچه در ادامه می‌آید.

۱-۵-۱- آب‌گیری از دریاها

عموماً دو نوع آب‌گیری از آب دریا برای نمک‌زدایی وجود دارد:

- آب‌گیرهای مستقیم: معمول‌ترین نوع آب‌گیر است که آب را مستقیماً توسط کانال‌های انتقالی باز و یا خطوط لوله در کف دریاها و روش‌های دیگر جمع‌آوری می‌کنند. این آب‌گیرها به دو نوع سطحی و عمیق تقسیم می‌شوند.
- آب‌گیرهای غیرمستقیم: از لوله‌های دفن شده یا چاه‌هایی تشکیل شده که در کنار ساحل یا کف اقیانوس ایجاد شده‌اند. این نوع آب‌گیرها خود به ۴ دسته‌ی چاه‌های عمودی، چاه‌های آب‌گیر افقی، سامانه زه‌کشی ساحلی و آب‌گیر با فیلتراسیون کف دریا تقسیم می‌شوند [۳۴].

۱-۵-۱-۱- آب‌گیرهای مستقیم

اکثر واحدهای نمک‌زدایی از آب‌گیرهای مستقیم برای برداشت آب خام استفاده می‌کنند، این نوع آب‌گیرها معمولاً از یک آشغال‌گیر در ورودی آب‌گیر برای جلوگیری از ورود مواد زاید بزرگ و ماهی‌ها، استفاده می‌کنند. اندازه منافذ این آشغال‌گیرها بستگی به مقدار و نوع مواد معلق در آب دارد. در حال حاضر سه نوع فناوری برای این نوع آشغال‌گیرها موجود است:

- کلاهک‌های کاهنده سرعت: این کلاهک‌ها از یک صفحه بر روی لوله‌ی عمودی که از کف دریا خارج شده، تشکیل شده است که با تبدیل جریان عمودی آب اطراف لوله آب‌گیر به جریان افقی، سرعت در آب‌گیر را کاهش می‌دهد و تا حدود زیادی از ورود جانوران دریایی جلوگیری می‌کند [۳۵].

- ۱-۵-۱-۱-۱- آب گیر مستقیم - سطحی

۱-۵-۱-۱-۲- آب‌گیرهای مستقیم- عمیق

۱-۵-۱-۲- آب‌گیرهای غیرمستقیم

۱-۵-۱-۲-۱- چاه‌های آب‌گیر عمودی

چاه‌های آب‌گیر عمودی به منظور فراهم نمودن آب خام برای سامانه‌های نمک‌زدایی استفاده می‌شوند. به این چاه‌ها معمولاً چاه‌های ساحلی نیز گفته می‌شود که اشاره به چاه‌های کم عمقی می‌کند که به صورت محلی با آب دریا که به صورت افقی به آن نفوذ می‌کند پر می‌شود. از آنجا که این چاه‌ها، آب با غلظت پایین مواد آلی و SDI کم، فراهم می‌کنند از روش‌های مناسب و با کیفیت برداشت آب خام محسوب می‌شوند [۳۸ و ۳۹]. مقدار SDI در این چاه‌ها معمولاً در محدوده ۵/۰ تا ۳ می‌باشد. در این چاه‌ها استفاده از مواد غیرفلزی مثل لوله‌ها، صفحات مشبک و تجهیزاتی که در برابر خوردگی مقاوم هستند ضروری است. استفاده از پمپ‌های فولادی ضد زنگ به خاطر مقاومت بالا در برابر خوردگی، ترجیح داده می‌شود [۴۰].

۱-۵-۲-۲- چاه‌های آب‌گیر افقی

چاه‌های آب‌گیر افقی نزدیک به یک قرن است که به‌عنوان آب‌گیر برای سامانه‌های نمک‌زدایی استفاده می‌شود. این چاه‌ها شامل یک استوانه مرکزی به قطر ۳ تا ۵ متر است که در بستر حوزه آب‌گیر حفر می‌شود و تعدادی مجرای زه‌کشی به صورت افقی از آن منشعب شده و در لایه آب‌دار پیش می‌روند [۴۰].

چاه‌های جمع‌کننده افقی برای پروژه‌هایی که دارای سواحل پایدار ماسه‌ای شنی می‌باشند، گزینه‌ی بسیار مناسبی هستند. هنگامی که چاه‌هایی با ظرفیت بالا مورد نیاز است، تعدادی چاه باید به صورت پشتیبان در نظر گرفته شود تا هنگامی که چاه‌های دیگر تعمیر می‌شوند از آن‌ها استفاده گردد [۴۱].

۱-۵-۲-۳- آب‌گیرهای زه‌کش ساحلی

آب‌گیرهای ساحلی شامل ساخت و طراحی فیلتر مصنوعی در زیر صفحه جزر و مدی ساحل است. این آب‌گیرها از آنجا که با انرژی مکانیکی موج‌ها به‌صورت پیوسته تمیز می‌شوند، گزینه با دوامی هستند. عملکرد این روش آب‌گیری به جز از نقطه نظر خودشویی، مشابه فیلتر شنی سریع است. ساحل‌هایی با حداقل ۳ متر ضخامت ماسه غیرمتراکم و پایداری قابل قبول می‌توانند گزینه‌ی مناسبی برای ساخت این نوع آب‌گیرها محسوب شوند [۳۵].

پیش از طراحی این گونه آب‌گیرها، باید مطالعات اقیانوس‌شناسی و حوزه‌های آبی زیرزمینی انجام گیرد [۳۶].

۱-۵-۲-۴- آب‌گیر با فیلتراسیون کف دریا

آب‌گیری به روش فیلتراسیون کف دریا بسیار مشابه آب‌گیر ساحلی است اما از لحاظ روش خودشویی متفاوت است. در این آب‌گیرها یک سامانه فیلتراسیون بر بستر دریا، دورتر از خط ساحل که مشابه فیلتراسیون ماسه‌ای کند در تصفیه‌خانه‌های آب عمل می‌کنند، ساخته می‌شود [۳۵ و ۴۲]. این نوع آب‌گیرها احتیاج به آزمایش‌های میدانی خاص برای پی بردن به ویژگی‌های حوزه آب‌گیر ندارد. با این حال بررسی‌های دریایی و اقیانوس‌شناسی شامل بررسی تاریخچه طوفان‌ها، بررسی اطلاعات مربوط به محدوده جزرومدی، بررسی جانوران کف دریا و بررسی میزان ته‌نشینی برای ساختن این نوع آب‌گیرها نیاز است [۳۸].

۱-۵-۳- مقایسه اقتصادی آب‌گیرهای مستقیم با غیرمستقیم

در تمامی فرایندهای نمک‌زدایی، آب خام قبل از ورود به فرایند اصلی باید پیش‌تصفیه و فیلتر شود. استفاده از آب‌گیرهای غیرمستقیم می‌تواند عملاً تمام فرایندهای پیش‌فیلتراسیون را حذف کند زیرا این نوع آب‌گیرها فرایندهای فیلتراسیون را نیز در بر می‌گیرند. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از پروژه‌های مختلف، هزینه سرمایه‌گذاری در آب‌گیرهای غیرمستقیم می‌تواند تا ۲ برابر بیش‌تر از آب‌گیرهای مستقیم باشد. البته هزینه‌ی آب‌گیری بعضی پروژه‌ها که از آب‌گیرهای مستقیم استفاده می‌کنند، به دلایلی (از جمله مسافت طولانی لوله‌گذاری در بستر دریا)، از آب‌گیرهای غیرمستقیم به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر می‌شود. از طرفی وقتی از یک آب‌گیر غیرمستقیم استفاده می‌شود، بسته به

طراحی سیستم پیش تصفیه، هزینه بهره برداری کلی سامانه می تواند ۱۰ تا ۳۰ درصد کم تر از سامانه با آب گیر مستقیم باشد. بنابراین، هزینه های سرمایه گذاری اضافه شده احتمالی برای طراحی و ساخت آب گیرهای غیرمستقیم با هزینه کاسته شده از فرایندهای پیش تصفیه و عملیات بهره برداری جبران می شود [۴۳].

۴-۱-۵-۱- مزایا و معایب آب گیرهای مستقیم و غیرمستقیم

در جدول (۴-۱) تعدادی از مزایا و معایب این دو روش آب گیری به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۴-۱- مزایا و معایب آب گیرهای مستقیم و غیرمستقیم [۴۴]

نوع آب گیر	معایب	مزایا
مستقیم	کیفیت پایین تر و متغیر آب	جریان با ظرفیت بالا
	احتیاج به تجهیزات پیش تصفیه گران قیمت	مناسب برای اکثر زمین ها و پروژه ها
	هزینه بهره برداری و نگهداری بالا	ساخت نسبتاً آسان
	تأثیر زیست محیطی مخرب در طول بهره برداری	اثر ظاهری کم تر بر ساحل دریا
	آسیب پذیری نسبت به جذر و مد	
غیرمستقیم	محدودیت از لحاظ ظرفیت آب گیری (به جز موارد استفاده از چاه های چندگانه یا چاه های جمع کننده افقی)	کیفیت آب بهتر و پایدارتر به طور کلی نیاز کم تر به تجهیزات پیش تصفیه
	ریسک بالاتر برای ظرفیت جریان ناکافی	از لحاظ تجهیزات پیش تصفیه سرمایه گذاری کم تر از لحاظ انرژی و مواد شیمیایی هزینه های بهره برداری کم تر
	وابستگی جدی به ملاحظات هیدرولوژیکی	اثرات مخرب زیست محیطی کم تر در حین بهره برداری (به غیر از اثرات ظاهری بر محیط زیست)
	سرعت اولیه پایین در برداشت	
	پیچیدگی در ساخت نگهداری مشکل (فرسایش تا بسته شدن)	فراهم کردن انعطاف پذیری بیش تر در حین بهره برداری

۴-۱-۵-۲- آب گیری از دریاچه ها

تجهیزات آب گیر در دریاچه ها در صورتی که میزان رسوب گذاری پایین باشد، می تواند در بستر آب قرار گیرد. یک لوله ساده با تکیه گاه فونداسیون که در زیر سطح آب دریاچه با سطح پایدار پیش می رود یک طرح مناسب آب گیری برای این نوع منابع آب محسوب می شود. انتهای تاسیسات آب گیر به منظور جلوگیری از ورود آشغال ها و ماهی ها همواره باید آشغال گیر داشته باشد. در طراحی و به کارگیری آب گیرها در این نوع منابع آب باید موارد زیر را مدنظر قرار گیرد:

– خطر فرسایش بیولوژیکی آب گیر توسط گیاهان و جانوران آبی

– غلظت رسوبات معلق در عمق های متفاوت در ستون آب و تغییرات فصلی در غلظت [۴۰]

انواع دیگر آب گیرها برای دریاچه ها عبارتند از آب گیر شناور، برج آب گیر با برداشت انتخابی از عمق های مختلف و آب گیر غیرمستقیم که مشابه آب گیری از دریا است. توجه به این نکته ضروری است که دریاچه جزء محیط های چهارگانه محیط زیست تلقی نشود چرا که امکان آگیری و یا دفع پساب به آن غیرممکن است.

۱-۵-۳- عوامل موثر در تعیین نوع آب‌گیر

عوامل اساسی در تعیین نوع آب‌گیر، میزان برداشت آب و تغییرات آن در فصول مختلف در دوره بهره‌برداری است. اما عوامل بیرونی شرایط و امکاناتی است که هریک از آن‌ها در طی زمان بنا بر عوامل پیچیده دیگری تغییر می‌کند. طرح ساختمان آب‌گیر باید به‌نحوی باشد که از این تغییرات آسیب نبیند و با آن سازگار باشد. مهم‌ترین این عوامل عبارتند از:

- شرایط آب و هوایی
 - شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی بستر و ساحل دریا
 - شرایط هیدرولوژیکی منبع آب‌گیر شامل تغییرات فصلی آب، مقدار و جهت سرعت جریان، شیب ساحل و بستر دریا
 - منبع آب‌گیری، تاثیر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شامل دانه‌بندی و میزان مواد معلق در آب، بار بستر و خورندگی آب دریا.
 - هیدرودینامیک دریا، بسی‌متری، باد و ایستگاه‌های دریایی موجود
 - نوع فرایند نمک‌زدایی
 - ضوابط محیط زیستی دریا، رودخانه یا سفره آب زیرزمینی
 - فاصله تا نقطه دفع پساب
 - مدل‌سازی موج، ارتفاع موج، جزر و مد دریا، نواحی Surf zone، مطالعات ساختگاه‌های دریایی
- علاوه بر این، عوامل اجرایی مانند مصالح، ماشین‌آلات، نیروی انسانی و تخصصی لازم، زمان و دوره ساخت آب‌گیر در بعضی از طرح‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.
- سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری در همه طرح‌ها اهمیت اساسی دارد. لازمه طرح آب‌گیر، تلفیق اطلاعات و محدودیت‌های موجود است که همه آن‌ها قابلیت بیان عددی و رابطه ریاضی صریح را ندارند. طرح مناسب آن است که ارزان‌تر، ساده‌تر و بهره‌برداری از آن نیز ساده باشد [۳].

۱-۶- جمع‌بندی

- آب خام مورد استفاده در فرایندهای نمک‌زدایی به دو دسته آب زیرزمینی و آب سطحی تقسیم می‌شود.
- ویژگی آب‌های زیرزمینی به شرح زیر است:
 - مواد معلق در آن‌ها بسیار کم است.
 - ممکن است دارای ذرات شن باشند.
 - معمولاً مواد آلی بسیار کمی دارند.
- ویژگی آب‌های سطحی به شرح زیر است:
 - شرایط متغیر کیفی شامل آلاینده‌های کلوئیدی، مواد آلی، مواد معلق، pH و کدورت

- احتمال آلودگی به مواد آلی، نفت و روغن
 - احتمال آلودگی میکروبی
 - آلودگی بیولوژیکی میکروبی، موجودات پرسلول، لارو و موجودات آبزی
 - آلودگی به سموم کشاورزی، فسفات، نیترات و ریزآلاینده ها
 - امکان حضور بور به ویژه در آب دریا
 - احتمال بروز اوتریفیکاسیون، آلودگی جلبکی و تبعات ناشی از آن
- بر اساس تعاریف و استانداردهای اندازه گیری، شاخص های کدورت، مواد جامد معلق، رنگ، بو و مزه برای شناسایی کیفیت فیزیکی تعریف شده است که در کنار دما، خواص فیزیکی آب برشمرده می شوند. این عوامل تحت تاثیر شرایط محیطی، خصوصیات ظاهری آب را نشان می دهند.
- در سامانه های نمک زدایی حرارتی تمام مواد معلق و سایر عوامل تولیدکننده ی آلودگی های فیزیکی از آب حذف خواهد شد و تنها برخی از مواد آلی فرار (VOC)^۱ قادر به گذر از این فرایندها هستند. در واقع آب تولیدی سامانه های نمک زدایی حرارتی را می توان عاری از هر گونه مشکل فیزیکی برشمرد.
- معمولاً به ویژگی هایی از آب که در اثر میزان و نوع ماده حل شده در آن تغییر می کند، ویژگی های شیمیایی آب گفته می شود. از جمله می توان به pH، قلیائیت، کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی و سختی اشاره کرد.
- کارایی های متفاوتی دارند. بالاترین درصد جداسازی در فرآیند اسمز معکوس ۹۹/۸ درصد و در فرآیند نانوفیلتراسیون ۹۷ درصد است.
- روش برداشت آب خام از منابع آب، یکی از با اهمیت ترین بخش های فناوری نمک زدایی می باشد، همچنین بخش عمده ای از هزینه های مربوط به بهره برداری و ساخت رابه خود اختصاص می دهد.
- آب گیرها با توجه به منابع آبی به سه بخش آب گیری از دریاها، رودخانه ها و دریاچه ها تقسیم می شود.
- عموماً دو نوع آب گیری از آب دریا برای نمک زدایی وجود دارد: آب گیر مستقیم، آب گیر غیر مستقیم
- روش های آب گیری برای دریاچه ها عبارتند از آب گیر شناور، برج آب گیر با برداشت انتخابی از عمق های مختلف و آب گیر غیر مستقیم که مشابه آب گیری از دریا است. توجه به این نکته ضروری است که دریاچه جز محیط های چهارگانه محیط زیست تلقی نشود چراکه امکان آبگیری و یا دفع پساب به آن غیرممکن است.
- عوامل موثر در تعیین نوع آب گیر عبارتند از:
- شرایط آب و هوایی
 - شرایط توپوگرافی و زمین شناسی بستر و ساحل دریا

- شرایط هیدرولوژیکی منبع آب‌گیر شامل تغییرات فصلی آب، مقدار و جهت سرعت جریان، شیب ساحل و بستر دریا
- منبع آب‌گیری، تاثیر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شامل دانه‌بندی و میزان مواد معلق در آب، بار بستر و خورندگی آب دریا.
- هیدرودینامیک دریا، بسی متری، باد و ایستگاه‌های دریایی موجود.
- نوع فرآیند نمک‌زدایی
- ضوابط محیط زیستی دریا، رودخانه یا سفره آب زیرزمینی
- فاصله تا نقطه‌ی دفع پساب
- مدل‌سازی موج، ارتفاع موج، جزر و مد دریا، نواحی surf zone، مطالعات ساختگاه‌های دریایی.

فصل ۲

انتخاب پیش تصفیه مناسب

۲-۱- کلیات

نمک‌زدایی روشی مناسب و قابل اعتماد برای تولید آب آشامیدنی است. حداکثر مجاز TDS آب ورودی به واحدهای نمک‌زدایی معمولاً ۶۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است که البته به غلظت یون‌ها وابسته است. TDS بسیاری از منابع آب دریا ۳۰۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. در اصل، علاوه بر نوع آب ورودی، نحوه طراحی واحد تصفیه اعم از روش نمک‌زدایی، روش‌های پیش تصفیه، دفع پساب و بازیابی کیفیت محصول را تعیین می‌کند [۴۵].

روش‌های مختلف نمک‌زدایی را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی بررسی نمود که متداول‌ترین تقسیم‌بندی بر اساس نوع عملکرد سامانه شامل فرایندهای حرارتی و غشایی است. فرایندهای نمک‌زدایی حرارتی دارای قدمتی نزدیک به ۶۰ سال و فرایندهای نمک‌زدایی غشایی قدمتی در حدود ۴۰ سال دارند [۱۰].

روش‌های متداول نمک‌زدایی حرارتی شامل روش‌های تقطیر به روش «تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای» (MSF)^۱، «تقطیر چند مرحله‌ای» (MED)^۲ و تقطیر به روش «تراکم بخار» (VC)^۳ است. در این روش‌ها فرآیند تقطیر، الهام گرفته از سیکل طبیعی آب است که در آن آب شور حرارت داده شده و به بخار آب تبدیل شده و پس از میعان، به آب شیرین تبدیل می‌گردد [۱۰]. در سال‌های اخیر پیشرفت جدی در سامانه MED و انرژی مصرفی کم‌تر آن در مقایسه با MSF، استفاده از این روش را بیش‌تر کرده است.

مزیت استفاده از روش‌های تقطیری در مقایسه با سایر روش‌های نمک‌زدایی، عمر بالاتر، تجهیزات کم‌تر و قابلیت اطمینان بیش‌تر است. این روش‌ها برای آب دریا و آب‌های بسیار شور مناسب هستند. انرژی حرارتی مورد استفاده فرآیند می‌تواند از حرارت مازاد فرایندهای صنعتی تامین گردد [۴۶].

لازم به ذکر است که در واحدهای حرارتی، برای جلوگیری از تشکیل کف، کف‌زداهایی مانند پلی‌اتیلن گلیکول و پلی‌پروپیلن گلیکول می‌تواند به آب ورودی افزوده شود. پلی‌اتیلن گلیکول سمی نیست، اما ممکن است به دلیل تجزیه زیستی پایین در طبیعت باقی بماند [۴۷].

فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی شامل اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز هستند. در فرآیند الکترودیالیز از خاصیت انتخابی غشا نسبت به بار یون‌ها برای حذف نمک‌ها استفاده می‌شود. به‌طور معمول، از این روش برای نمک‌زدایی آب‌های لب‌شور استفاده می‌شود [۱۰].

نانوفیلتراسیون به تنهایی نمی‌تواند غلظت نمک آب دریا را به حد استانداردهای آب آشامیدنی کاهش دهد. اما این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تصفیه آب‌های لب‌شور و سخت به‌کار گرفته شده است. به‌طور کلی این روش برای حذف یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم که منجر به سختی آب می‌شود و همچنین مواد معدنی محلول استفاده می‌گردد.

1- Multi-Stage Flash (MSF)

2- Multi Effect Distillation (MED)

3- Vapor Compression (VC)

برخلاف غشاهای نانوفیلتراسیون، غشاهای اسمز معکوس برای آب دریا و آب لب شور کاربرد دارند و دارای درصد بالای دفع نمک هستند. غشاهای مورد استفاده برای آب لب شور به دلیل کیفیت بهتر آب نسبت به آب دریا دارای شار گذرنده بالاتر و دفع نمک و فشار عملیاتی مورد نیاز پایین تر هستند [۴۸].

۲-۲- کیفیت منابع آب خام

همان طور که در بخش اول ذکر شد، آب خام مورد استفاده در فرایندهای نمک زدایی به دو دسته آب زیرزمینی و آب سطحی تقسیم می شود. ترکیبات این دو آب دارای تفاوت های زیادی است.

۲-۲-۱- آب سطحی

غلظت های متداول آب دریا در نقاط مختلف جهان از کم تر از ۳۵۰۰۰ تا بیش از ۴۵۰۰۰ میلی گرم بر لیتر است. غلظت TDS در آب های خلیج فارس ۳۹۰۰۰ تا ۴۸۰۰۰ میلی گرم بر لیتر است.

آب دریا اغلب حاوی ذرات ریز و آلاینده های کلوئیدی، هیدروکربن های ناشی از آلودگی های روغنی و آلودگی بیولوژیکی (رشد جلبکی و سایر میکروارگانیسم ها) است. همچنین یکی از مشکل سازترین عناصر آب دریا در تولید آب شرب، بور است [۴۸]. استانداردهای آب آشامیدنی در مورد میزان مجاز بور، به طور فزاینده ای سخت گیرانه شده است. بور معمولاً به صورت اسید بوریک در آب وجود دارد. این اسید در pH حدود ۹/۲ و بالاتر یونیزه شده و به بورات تبدیل می شود. یون بورات به وسیله سامانه های نمک زدایی قابل حذف است. لذا افزایش pH به عنوان متداول ترین راه یونیزاسیون بور و دفع آن شناخته شده است. با این وجود افزایش pH می تواند منجر به تشکیل رسوب نمک و ته نشینی آن به ویژه در فرایندهای غشایی گردد [۴۹ و ۵۰].

رودخانه ها به عنوان بخش دیگری از آب های سطحی معمولاً دارای مشکلات فیزیکی مانند کدورت و جامدات معلق بالا هستند. ولی در بیش تر موارد دارای TDS پایین بوده و در دسته آب های لب شور قرار می گیرند. در نتیجه در تصفیه آن ها به ندرت از روش های حرارتی استفاده می شود.

کربنات کلسیم و منیزیم معمولاً تنها شکل رسوب مشکل زا در اسمز معکوس آب دریا است. با این وجود حضور یون های سولفات، باریم و استرانسیم نیز امکان تشکیل رسوب های سولفات مانند سولفات کلسیم و سولفات باریم را محتمل می سازد. بزرگ ترین مشکل سامانه های نمک زدایی حرارتی، افزایش رسوب گذاری سولفات کلسیم با افزایش دما است. حضور فراوان ذرات معلق، مواد آلی و میکروارگانیسم ها در این آب ها از عوامل اصلی بروز گرفتگی و رشد بیولوژیکی در سامانه های نمک زدایی غشایی است [۴۸].

۲-۲-۲- آب زیرزمینی

منابع آب زیرزمینی سفره‌های طبیعی نمک و یا آب‌های زیرزمینی هستند که به دلیل نفوذ آب دریا و یا تاثیرات اسمز در تماس با طبیعت (آبیاری، استعمال مفرط) شور شده‌اند. آب‌های زیرزمینی محدوده گسترده‌ای از TDS (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) دارند و غلظت عناصر آن از یک منبع به منبع دیگر بسیار متفاوت است. از این رو شناسایی دقیق آب ورودی به واحدهای نمک‌زدایی به‌ویژه اسمز معکوس عامل مهمی در طراحی و عملکرد صحیح سامانه نمک‌زدایی آب لب‌شور است [۴۸]. به دلیل شوری پایین این آب‌ها، در فرآیند تصفیه از روش‌های حرارتی استفاده نمی‌شود.

آلاینده‌ها به‌طور طبیعی و یا در نتیجه دخالت بشر در منابع‌های آبی وجود دارند. آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین، بور، نوکلئیدها، رادیواکتیو و فلوراید به‌طور طبیعی در منابع آب لب‌شور زیرزمینی وجود دارند. منابع آبی که فعالیت بشر بر روی آن تاثیر گذاشته است، حاوی مقادیر بالای نیترات (کودهای شیمیایی)، آفت‌کش‌ها (مورد استفاده در مزارع)، آرسنیک (مورد استفاده در استخراج معادن) و آلودگی‌های دارویی است [۴۵]. در طول عملیات اسمز معکوس این آلاینده‌ها در داخل جریان تغلیظ شده باقی می‌مانند و قبل از دفع باید تصفیه شوند [۴۸].

۲-۳- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های نمک‌زدایی

سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی به دلیل وابستگی بسیار کم به شرایط آب ورودی، نسبت به سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی مقاومت بالاتری در برابر تغییر مشخصات آب ورودی داشته و به پیش تصفیه کم‌تری نیاز دارند. پیش تصفیه مورد نیاز برای سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی عموماً شامل آشغال‌گیری، تزریق و حذف مواد گندزدا، ضد رسوب و ضد کف است. همچنین در این سامانه‌ها، حوضچه آب‌گیر زمانی برای ته‌نشینی عوامل تولید کدورت آب فراهم می‌نماید. مواردی مانند عوامل جلبکی و کشند قرمز علی‌رغم استفاده از مواد گندزدا و وجود حوضچه آب‌گیر تاکنون چندان قابل کنترل نبوده است.

سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی نسبت به کیفیت آب ورودی بسیار حساس هستند و کیفیت آب ورودی به آن‌ها باید به دقت کنترل شود؛ به همین دلیل معمولاً فرآیند پیش تصفیه این سامانه‌ها شامل مراحل متعددی است. محدودیت‌های آب ورودی به سامانه اسمز معکوس به‌عنوان یکی از حساس‌ترین سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی در جدول (۲-۱) آمده است.

سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی حساسیت چندان در برابر تغییرات فصلی ندارند. البته تغییرات دمایی در طول سال موجب می‌شود تا تمهیدات خاصی اندیشیده شود. در فصل‌های گرم با توجه به افزایش دمای آب ورودی حجم آب مورد نیاز از دریا برای استفاده در قسمت خنک‌کننده واحدهای حرارتی تا حدود ۳ برابر افزایش می‌یابد که این تغییر حجم در طراحی اولیه در نظر گرفته می‌شود تا از افت تولید جلوگیری به عمل آید.

در سامانه‌های غشایی نیز تغییرات دما در کیفیت و کمیت تولید تاثیرگذار است به‌طوری که در واحدهای اسمز معکوس به طور تقریبی هر ۴ درجه افزایش یا کاهش دما متناسب با حدود ۱۰ درصد افزایش یا کاهش در تولید است. همچنین

افزایش دما منجر به افت کیفی در تولید این واحدها خواهد شد. تغییرات کمی تولید ناشی از تغییرات دما در این واحدها را می توان با تغییر فشار ورودی با استفاده از دستگاه تغییر دور پمپ (VFD)^۱ کنترل کرد و در شرایط ثابت نگه داشت.

جدول ۱-۲- محدودیت های آب ورودی به سامانه های اسمز معکوس [۱۹ و ۵۱ و ۵۲]

پارامتر	واحد	مقدار	توضیح
دما	°C	۱۰ تا ۴۰	
pH		۲ تا ۱۲	
SDI		کمتر از ۵	کمتر از ۳ بهتر است
LSI		کمتر از ۲/۳	بهترین مقدار ۰/۳- است. بر میزان تزریق ضد رسوب موثر است.
S&DSI		کمتر از ۱/۸	کمتر از صفر بهتر است. بر میزان تزریق ضد رسوب موثر است.
MFI		کمتر از ۴	کمتر از ۱ بهتر است
کدورت	NTU	کمتر مساوی ۱	
کلر آزاد	ppm	کمتر از ۰/۱	
آهن دو ظرفیتی	ppm	کمتر از ۴	
آهن سه ظرفیتی	ppm	کمتر از ۰/۰۵	
منگنز	ppm	کمتر از ۰/۰۵	
باریم	ppm	کمتر از ۰/۰۰۱	
استرانسیم	ppm	کمتر از ۱	
آلومینیوم	ppm	کمتر از ۰/۰۵	
فلوراید	ppm	کمتر از ۰/۱	در حضور مقدار زیاد کلسیم
سیلیس	ppm	کمتر از ۱	بسته به دما و pH، در آب تغلیظ شده کمتر از ۱۲۰ باشد.
H2S	ppm	کمتر از ۰/۱	
TOC	ppm	کمتر از ۳	
AOC	ppm	کمتر از ۰/۰۱	کمتر از ۰/۰۰۵ بهتر است
COD	ppm	کمتر از ۱۰	
Oil and Grease	ppm	کمتر از ۰/۱	

۲-۴- کنترل گرفتگی و رسوب گذاری

راهکار اصلی برای جلوگیری از گرفتگی یا رسوب گذاری، استفاده از پیش تصفیه مناسب است. معمولاً، منابع آب های سطحی (آب دریا و آب لب شور) در مقایسه با آب های زیرزمینی امکان گرفتگی و رسوب گذاری بیش تری ایجاد می کنند و پیش تصفیه مفصل تری را می طلبند.

1- Variable Frequency Drive (VFD)

۲-۴-۱- روش های شیمیایی

روش های شیمیایی شامل افزودن مواد شیمیایی شامل گندزدایی، اسید، منعقدکننده، ضد رسوب و مشابه آن و روش تبادل یونی است.

۲-۴-۱-۱- اسید

افزودن اسید سبب کاهش pH می شود و حلالیت بی کربنات را افزایش می دهد. معمولاً از اسید سولفوریک جهت کاهش pH استفاده می شود؛ اگرچه، زمانی که احتمال تشکیل رسوب سولفات با افزودن اسید سولفوریک وجود دارد از اسید هیدروکلریک استفاده می شود [۴۸ و ۵۳].

۲-۴-۱-۲- منعقدکننده ها و لخته سازها

منعقدکننده ها، بار منفی ذرات معلق و کلوئیدی را خنثی کرده آن ها را از حالت ثبات خارج می سازند و امکان اتصال با سایر مواد یا سطوح با بار مخالف (مثبت) اعم از یون ها و ایجاد گرفتگی را به حداقل می رسانند. منعقدکننده ها معمولاً کوچک مولکول بوده و دارای بار مثبت هستند. منعقدکننده های معدنی معمولاً نمک های آلومینیم و آهن مانند کلرید آهن، سولفات آهن یا سولفات آلومینیم هستند. در حالی که منعقدکننده های آلی معمولاً پلیمرهای کاتیونی با وزن مولکولی کم، مانند پلی آمید و دی متیل دی آلومینیم کلراید هستند [۵۴]. معمولاً میزان مورد نیاز تزریق منعقدکننده های معدنی (۵ تا ۳۰ میلی گرم بر لیتر) بیش از منعقدکننده های آلی (۰/۲ تا ۱ میلی گرم بر لیتر) است [۵۵]. انتخاب نهایی منعقد کننده لازم است به کمک جار تست و میزان مصرف و ضرورت اصلاح pH صورت گیرد.

در صورتی که کیفیت آب ورودی به گونه ای باشد که نیاز به لخته سازی و ته نشین شدن نداشته باشد، تزریق منعقدکننده ها در داخل جریان پیش از مدیافیلترها قابل انجام است [۵۶]. هدف اصلی از تزریق منعقدکننده به داخل جریان، تغییر شیمی سطح ذرات معلق است که منجر به چسبیدن بهتر به مدیافیلتر می گردد. به علاوه، استفاده از هر دو نوع منعقدکننده به منظور بهره گیری از مزایای هر کدام از این انواع امکان پذیر است [۴۸].

زمانی که آب ورودی SDI بالاتر از ۱۰ داشته باشد، از لخته کننده در کنار منعقدکننده پیش از مدیافیلترها استفاده می شود. لخته کننده ها موجب تجمع و تراکم ذرات معلق و کلوئیدی بی ثبات شده و ریزلخته ها و سپس لخته های بزرگ تر را تشکیل می دهند و در نتیجه موجب ته نشینی آنها می گردند. لخته کننده ها معمولاً پلیمرهای آنیونی با وزن مولکولی بالا هستند [۵۶]. فرار این مواد از مدیافیلترها مشکلات جدی و برگشت ناپذیری برای سامانه های غشایی ایجاد می کند.

۲-۴-۱-۳- ضد رسوب

این مواد شیمیایی با از هم گسیختن یک یا دو مرحله از مراحل کریستالیزاسیون منجر به جلوگیری از رسوب می شوند. ضد رسوب ها در افزایش آستانه غلظت یونی مورد نیاز در تشکیل خوشه های یونی و از بین بردن نظم هسته و

ساختار کریستالی موثر هستند [۴۸ و ۵۳]. انتخاب ضد رسوب وابسته به نوع ترکیبات آب ورودی است. بسیاری از این مواد با هدف رفع مشکل رسوبات خاصی ساخته شده اند [۵۷].

۲-۴-۱-۴- ضد کف

ضد کفها در فرآیند پیش تصفیه سامانه های حرارتی افزوده می شوند. ضد کفها از تشکیل کف ناشی از پاشش آب بر روی دسته لوله ها یا داخل مراحل مختلف تقطیر جلوگیری می کنند و با این کار مانع حمل ذرات ریز آب توسط بخار و افت کیفیت تولید می شوند [۵۷].

۲-۴-۱-۵- گندزدایی

روش های گندزدایی به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می شوند. روش های فیزیکی غربالگری در حذف باکتری ها تاثیر چندانی ندارند به طوری که در بهترین شرایط با استفاده از ته نشین سازی و صافی تنها ۳۰ درصد باکتری ها حذف می شوند. البته روش های غشایی جدید از قبیل میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون با تقریب ۹۹/۹۹ درصد کلیه باکتری ها را حذف می نمایند.

گندزدایی شیمیایی در فرآیند پیش تصفیه با افزودن اکسیدکننده های قوی و یا تابش اشعه فرابنفش انجام می گیرد. غلظت اکسیدکننده افزوده شده باید به قدری باشد که بتواند در سایر مراحل پیش تصفیه باقی بماند و از رشد بیولوژیکی جلوگیری کند.

مواد شیمیایی استفاده شده برای گندزدایی شامل هالوژن ها مثل کلر، برم و ید، یون های فلزی مانند نقره و مس و همچنین ازن، پراکسید هیدروژن و ... است. قدرت نسبی اکسیداسیون این مواد در مقایسه با کلر در جدول (۲-۲) نشان داده شده است [۵۸ و ۵۹].

جدول ۲-۲- قدرت نسبی اکسیداسیون در مقایسه با کلر (Cl=1.0) [۵۸]

۱/۵۲	ازن (O_3)	۱/۱۵	دی اکسید کلرین (ClO_2)
۱/۷۸	اکسیژن اتمی (O_2)	۱/۱۰	اسید هیپوکلروس ($HClO$)
۱/۳۱	پراکسید هیدروژن (H_2O_2)	۱/۰۰	کلرین (Cl)
۲/۲۳	فلورین (F)	۰/۸۰	برومین (Br)
۱/۲۴	پرمنگنات (MnO_4)	۰/۵۴	یودین (I)

۲-۴-۱-۵-۱- کلر

کلر ماده شیمیایی منحصر به فردی است که خواص شیمیایی آن در حالات مختلف گازی، مایع (هیپوکلریت سدیم) و جامد (هیپوکلریت کلسیم) بسیار متفاوت است. گاز کلر بوی زننده و خورندگی شدید در برابر فلزات و ماشین آلات دارد. اگر چه قدرت عملکرد گاز کلر بسیار بیش تر از سایر ترکیبات کلر است ولی توجه به مسایل ایمنی و نگهداری موجب شده است که متداول ترین نوع کلر مصرفی برای گندزدایی کلر جامد یا همان هیپوکلریت کلسیم باشد.

مقررات اداره بهداشت و امنیت شغلی ایالات متحده (OSHA)^۱ برای گاز کلر در غلظت بالای ۱ میلی گرم بر لیتر در هوا درجه بسیار خطرناک برای سلامتی (IDLH)^۲ را تخصیص داده است. لازم به ذکر است کلر در pH های کمتر از ۶ بسیار موثرتر از pH های بالاتر از ۸ است [۵۸ و ۵۹].

۲-۴-۱-۵-۲- ازن

ازن دارای پتانسیل اکسایش بالا بوده و به عنوان رقیب جدی برای کلرزنی محسوب می گردد. از آنجا که ازن گاز خورنده ای است، اجزای فلزی باید از فولاد ضد زنگ و ادوات اندازه گیری باید از جنس پلی تترافلورواتیلن (PTFE)^۳ یا پلی اتیلن کلروسولفوناته (CSPE)^۴ انتخاب گردد. لاستیک و محصولات سنتزی آن توسط ازن قابل تخریب هستند. طبق استاندارد OSHA غلظت ازن جهت تخلیه به هوای محیط باید کمتر از ۱/۰ میلی گرم بر لیتر به مدت متوسط ۸ ساعت باشد. واحدهای تخریب ازن می توانند کاتالیستی، حرارتی یا ترکیب این دو و یا کربن فعال باشند [۵۸]. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد محصولات جانبی گندزایی مانند اثر ازن بر روی آب های حاوی برمید به فصل ۵ مراجعه شود.

۲-۴-۱-۵-۳- اشعه فرابنفش (UV)

برخلاف سایر روش های شیمیایی، اشعه فرابنفش با ریزجانداران واکنش شیمیایی نمی دهد؛ بلکه اشعه جذب شده، مواد مولکولی ضروری برای عامل سلولی را تغییر می دهد. تابش پرتو فرابنفش در اسید نوکلئیک میکروب ها تغییرات شیمیایی ایجاد می کند. این تغییرات مانع تکثیر سلولی و تولید مثل آن ها می شود. مقدار تخریب ایجاد شده توسط پرتو فرابنفش و در نتیجه میزان تاثیر فرایند میکروب کشی با شدت نور و مدت مجاورت با تابش متناسب است. پرتو فرابنفش علیه کلیه ریزجانداران شامل باکتری ها، ویروس ها، قارچ ها، کپک ها، مخمرها و جلبک ها در آب و هوا و سطوح موثر است. طبق دسته بندی کمیسیون بین المللی روشنایی، تنها فرابنفش با طول موج کوتاه (UV-C) که در محدوده طول موج ۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر است خاصیت میکروب کشی شدید دارد. بیشترین کارایی آن در طول موج ۲۵۰ تا ۲۶۰ نانومتر است. پیش نویس استاندارد ایزو در خصوص تابش های خورشیدی (ISO-DIS-21348) در جدول (پ. ۲-۸) پیوست شماره ۲ آمده است.

اشعه UV تابانده شده به میکروارگانیسم ها باید به مقدار کافی باشد تا از بازسازی حاصل از فرایند فعال سازی مجدد نوری در حضور نور یا بازسازی در تاریکی جلوگیری به عمل آید. کارایی نفوذ این پرتو در یک باکتری در آب متأثر از

1- Occupational Safety & Health Administration (OSHA)

2- Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH)

3- Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene (PTFE)

4- Chlorosulfonated Polyethylene (CSPE)

کدورت، رنگ، غلظت آهن، منگنز، سختی و ترکیبات آلی در آب است. جدول (۳-۲) شرایط گندزدایی موثر با پرتو فرابنفش را مشخص کرده است [۶۰ و ۶۱].

جدول ۳-۲- حداکثر مجاز عوامل بازدارنده در گندزدایی با پرتو فرابنفش [۶۱]

آلاینده	حداکثر مقدار مجاز
کدورت	۵ NTU
جامدات معلق	۱۰ میلی گرم بر لیتر
آهن	۰/۳ میلی گرم بر لیتر
منگنز	۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر
سختی	کمتر از ۶ گرین

۲-۴-۱-۶- حذف اکسیدکننده ها

اغلب گندزدهای اکسیدکننده بر روی سامانه های غشایی اثرات نامطلوب دارند و باید قبل از ورود به غشا حذف شوند. در صورتی که کلر به عنوان گندزدا استفاده شود، در انتهای فرآیند پیش تصفیه باید کلر باقی مانده حذف شود تا برای سامانه نمک زدایی مشکل خوردگی یا از بین رفتن غشا ایجاد نکند. متداول ترین و کارآمدترین روش برای حذف کلر استفاده از محلول بی سولفیت سدیم است.

سایر روش ها مانند استفاده از کربن فعال یا تزریق پراکسید هیدروژن کارایی و دقت استفاده از محلول بی سولفیت سدیم را ندارند.

جدول های (پ. ۲-۹) تا (پ. ۲-۱۲) از پیوست شماره ۲ حداکثر مقدار مجاز و مقدار مطلوب گندزدها و محصولات جانبی آنها، رابطه pH و کلر آزاد باقی مانده و میزان کلر باقی مانده توصیه شده در آب آشامیدنی را مطابق استاندارد آب آشامیدنی ایران نشان می دهد.

۲-۴-۱-۷- سختی گیر تبادلی یونی

رزین های تبادلی یونی می توانند به منظور حذف عوامل رسوب گذاری به عنوان یک روش پیش تصفیه در فرایندهای نمک زدایی استفاده شوند. استفاده از انواع رزین های کاتیونی امکان حذف سختی (کلسیم و منیزیم) و بی کربنات را فراهم می کند. روش های جدید حذف عوامل رسوب گذاری، هزینه بالای سالیانه ناشی از مصرف زیاد مواد شیمیایی و تعویض رزین ها، نیاز به تنظیم pH، نیاز به تجهیزاتی چون گاززدا باعث شده است تا از این سامانه ها کمتر در بخش پیش تصفیه استفاده شود و این سامانه ها بیش تر به بخش تصفیه تکمیلی و با هدف تولید آب فوق خالص (DM)^۱ منتقل شوند [۵۵].

1- Demineralized (DM) Water

۲-۴-۲- روش های فیزیکی

روش های فیزیکی شامل ته نشین سازی و شناوری و استفاده از انواع فیلترها است.

۱-۲-۴-۲- ته نشین سازی و شناوری

زمانی که کدورت متوسط روزانه منبع آب ورودی به غشا بیش تر از ۳۰ NTU باشد و یا با کدورت ۵۰ NTU یا بیش تر برای مدت یک ساعت مواجه شویم، از ته نشین سازی استفاده می شود. به منظور حذف آلاینده های کوچک شناور مانند روغن، سلول های جلبکی، گریس یا سایر آلاینده ها که به خوبی توسط ته نشین سازی و یا فیلتراسیون حذف نمی شوند، از فناوری شناور سازی با هوای محلول استفاده می شود. در این روش کدورت به کم تر از ۵/۰ NTU می رسد [۶۳].

۲-۲-۴-۲- فیلترها

۱-۲-۲-۴-۲- فیلتر کیسه ای

فیلترهای کیسه ای برای حذف ذرات در محدوده ۵ تا ۱۰۰۰ میکرون کاربرد دارند [۶۴].

۲-۲-۲-۴-۲- فیلتر دانه ای

فیلترهای دانه ای شامل موادی مانند ماسه سیلیسی، آنتراسیت و گارنت است. فیلترهای دانه ای در بهترین شرایط SDI آب ورودی را به مقدار ۳ کاهش می دهند. کدورت جریان خروجی از این نوع فیلترها حدود ۱ تا ۵ NTU است [۵۶].

۳-۲-۲-۴-۲- دیسک فیلتر

فیلترهای دیسکی به عنوان جایگزین فیلترهای دانه ای پیشنهاد می شوند که دارای مزایای قابل توجهی نسبت به روش های سنتی هستند. این فیلترها نسبت به فیلترهای شنی فضای کمتری اشغال می کنند و از سرعت فیلتراسیون بالاتری برخوردار هستند. این فیلترها، شستشوی معکوس بسیار ساده تر و کم هزینه تری دارند و آب مصرفی برای شستشوی معکوس آن ها به مراتب کم تر است. این فیلترها نیازی به دستگاه آماده به کار^۱ ندارند.

۴-۲-۲-۴-۲- فیلتر کربن فعال

کربن فعال با ساختار بسیار متخلخل و سطح ویژه بسیار بالا در حذف طیف وسیعی از مواد معدنی، کرومات، سولفید، کلر و کلرآمین ها موثر است. این فیلتر در حذف رنگ و بو توانایی قابل قبولی دارد. از دیگر کاربردهای اصلی این فیلتر حذف روغن و گریس موجود در آب است. در صورت عدم استفاده از محلول بی سولفیت سدیم برای جلوگیری از حمله اکسیدکننده های قوی به سطح غشای اسمز معکوس به عنوان پیش تصفیه اسمز معکوس می توان از کربن فعال استفاده کرد [۶۵].

۲-۴-۲-۵- کارتریج فیلتر (میکرو فیلتر)

کارتریج فیلتر به عنوان آخرین مرحله پیش تصفیه سامانه های اسمز معکوس به کار برده می شود و ذرات کوچک تری (که از فیلتردانه ای عبور کرده است) را حذف می نماید. اندازه منافذ کارتریج فیلترها معمولاً ۱ تا ۲۰ میکرون است که در سامانه های اسمز معکوس عمدتاً از نوع ۵ میکرون آن استفاده می شود [۵۶ و ۶۶].

کارتریج های مورد استفاده در پیش تصفیه سامانه های نمک زدایی معمولاً از جنس نایلون یا پروپیلن هستند و هزینه پایینی دارند [۶۴].

۲-۴-۲-۳- گاززدایی

با توجه به عدم توان حذف گازها در روش های مختلف نمک زدایی و تاثیر آنها بر خصوصیات آب مانند pH می توان از گاززدا استفاده نمود. در واحدهای حرارتی به منظور جلوگیری از افت ضرایب انتقال حرارت ناشی از تمرکز گازها در سطوح انتقال حرارت، با استفاده از اجکتورها یا پمپ های خلا می توان این گازها را تخلیه نمود. اما در سامانه های غشایی مهم ترین مشکل، کاهش pH ناشی از حضور دی اکسید کربن است که با استفاده گاززدا و حذف آن اصلاح می شود. استفاده از گاززدا در شرایطی اتفاق می افتد که امکان تزریق سود جهت افزایش pH نباشد. افزایش pH گاز دی اکسید کربن را به بی کربنات تبدیل می کند که سامانه غشایی آن را حذف خواهد کرد [۶۲].

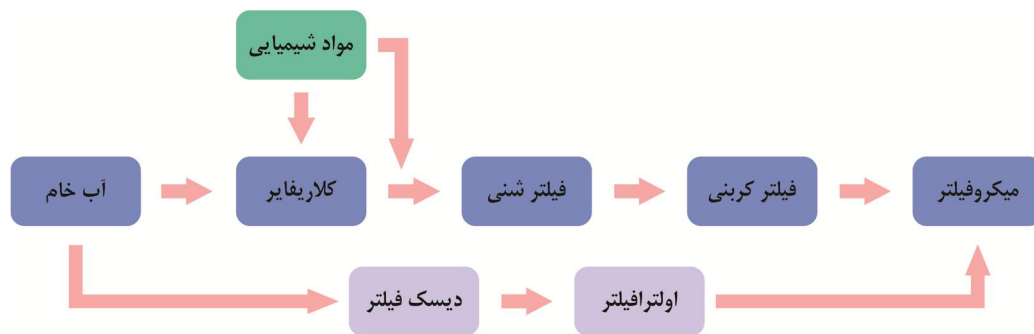
۲-۴-۲-۴- روش های پیش تصفیه نوین

با وجود این که روش های مرسوم به طور گسترده در واحدهای اسمز معکوس آب لب شور و آب دریا استفاده می شود، تغییر در ویژگی آب ورودی در اثربخشی روش های پیش تصفیه مرسوم به شدت تاثیرگذار است. اغلب، ذرات معلق و کلوئیدی که در فرایندهای پیش تصفیه معمول حذف نمی شود، در گرفتگی غشای اسمز معکوس نقش به سزایی دارد. اخیراً به عنوان پیش تصفیه اسمز معکوس بیش تر از روش های غشایی مانند میکرو، اولترا و نانوفیلتر استفاده می شود. مدول های میکرو و اولترافیلتر با قابلیت شستشوی معکوس، انعطاف پذیری عملیاتی بیش تری نسبت به مدول های نانو دارند [۴۹ و ۵۵].

اولترافیلترها توانایی حذف ماسه، لجن، خاک رس، جلبک، میکروبها، باکتریها، ویروسها و مواد هیومیک را دارند [۶۷]. این فیلترها بهترین تعادل میان حذف آلاینده ها و جریان گذرنده از غشا را در بین سه غشای ذکر شده دارند [۴۹ و ۵۵]. اولترافیلترها در مقایسه با روش های سنتی مزایای فراوانی را به همراه دارند. پیش تصفیه غشایی می تواند SDI آب ورودی به سامانه اسمز معکوس را به کم تر از ۱ و کدورت آن را به کم تر از ۰/۱ NTU کاهش دهد [۶۸]. از دیگر مزایای اولترافیلترها مقاومت آنها در برابر مواد خورنده مانند کلر است که عمر این غشاها را تا بیش از ۵ سال افزایش می دهد.

اگرچه معمولاً دیسک فیلترها به عنوان پیش تصفیه دائمی اولترافیلترها شناخته می شوند، گاهی در شرایط بسیار نامساعد مانند آب های بسیار آلوده به منظور کاهش بار وارد بر اولترافیلترها از روش های سنتی مانند کلاریفایر پیش از آن ها استفاده می شود.

در مجموع می توان چینش کلی روش های پیش تصفیه متداول نوین و سنتی را در شکل (۱-۲) مشاهده کرد.



شکل ۱-۲- چینش کلی روش های پیش تصفیه متداول و جایگزین

۲-۵- جمع بندی

اولین گام در انتخاب روش پیش تصفیه مناسب، شناخت نوع و کیفیت آب ورودی است. انتخاب و طراحی صحیح پیش تصفیه نیازمند تهیه داده های مربوط به کیفیت آب در طول سال به منظور تعیین سطح و میزان تغییرات آلاینده ها است [۶۷]. جدول (۲-۴) میزان توانمندی روش های مختلف پیش تصفیه در حل مشکلات را نشان می دهد. همچنین محدوده ظرفیت کاربرد در آن مشخص شده است.

جدول ۲-۴- توان روش های مختلف پیش تصفیه در حل مشکلات و محدوده ظرفیت کاربردی آن ها

نوع پیش تصفیه	محدودیت ظرفیت (مترمکعب بر روز)			رسوب گذاری										گرفتگی			سایر
	کمتر از ۱۰۰۰	۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	بیش تر از ۱۰۰۰۰	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SiSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	Fe / Mn	Al	LSI/S&DSI	SDI	میکروارگانیزمها	مواد آلی	روغن و چربی	
گندزدایی	✓	✓	✓							○	○			●	○		اکسیدکننده ها / خوردگی
ته نشین سازی		✓	✓										●		●		
منعقد کننده و لخته ساز		✓	✓						○	○	○		●		●		
هوادهی		✓	✓							○	○		○		●	●	
سختی گیری با آهک	✓	✓	✓	●	●	○	○	●	○	○	○		○		○		
اسیدزنی	✓	✓	✓	●	○	○	○	○	○	●	●	●	○				
حذف اکسیدکننده ها	✓	✓	✓											○			●
ضدرسوب	✓	✓	✓	○	●	●	●	●	●	○		○					

ادامه جدول ۲-۴- توان روش های مختلف پیش تصفیه در حل مشکلات و محدوده ظرفیت کاربردی آنها

محدودیت ظرفیت (مترمکعب بر روز)			رسوب گذاری										گرفتگی		سایر				
نوع پیش تصفیه			کمتر از ۱۰۰۰	۱۰۰۰۰ تا	بیش تر از ۱۰۰۰۰۰	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SiSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	Fe / Mn	Al	LSI /S&DSI	SDI	میکروارگانیزمها	مواد آلی	روغن و چربی	اکسیدکننده ها / خوردگی
فیلتراسیون اکسایشی			✓	✓	✓							●				○	○		
سختی گیر رزینی*			✓	✓		●	●	●	●					●					
فیلتر کیسه ای			✓							○	○	○	○		○	○	○		
مدیافیلتر			✓	✓	✓						○	○	○		○	○	○		
کربن فعال			✓	✓	✓												●	●	●
دیسک فیلتر			✓	✓	✓					○	○	○	○		○	○			
اولترافیلتر			✓	✓	✓						○	○	○		○	●	○		
کارتریج فیلتر			✓	✓	✓						○	○	○		○	○			
تنظیم پارامترهای عملیاتی			✓	✓	✓	○	○	○	○	○	●			○					
●: موثر ○: ممکن * از سختی گیر رزینی برای پیش تصفیه آب دریا استفاده نمی شود. سایر روش ها برای تمام منابع های آب قابل استفاده است.																			

- سامانه های نمک زدایی حرارتی به دلیل وابستگی بسیار کم به شرایط آب ورودی، نسبت به سامانه های نمک زدایی غشایی مقاومت بالاتری در برابر تغییر مشخصات آب ورودی داشته و به پیش تصفیه کمتری نیاز دارند. پیش تصفیه مورد نیاز برای سامانه های نمک زدایی حرارتی عموماً شامل آشغال گیری، تزریق و حذف مواد گندزدا، ضد رسوب و ضد کف است
- سامانه های نمک زدایی غشایی نسبت به کیفیت آب ورودی بسیار حساس هستند و کیفیت آب ورودی به آنها باید به دقت کنترل شود؛ به همین دلیل معمولاً فرآیند پیش تصفیه این سامانه ها شامل مراحل متعددی است.
- راهکار اصلی برای جلوگیری از گرفتگی یا رسوب گذاری، استفاده از پیش تصفیه مناسب است. معمولاً، منابع آب های سطحی (آب دریا و آب لب شور) در مقایسه با آب های زیرزمینی امکان گرفتگی و رسوب گذاری بیش تری ایجاد می کنند و پیش تصفیه مفصل تری را می طلبند.
- روش های شیمیایی شامل افزودن مواد شیمیایی شامل گندزدایی، اسید، منعقد کننده، ضد رسوب و مشابه آن و روش تبادل یونی است.
- روش های فیزیکی شامل ته نشین سازی و شناوری و استفاده از انواع فیلترها است.

فصل ۳

انتخاب فناوری نمک زدایی مناسب

۳-۱- کلیات

یکی از راه‌های متداول برای حل مشکل کمبود آب در مناطق ساحلی استفاده از نمک‌زدایی آب دریا یا آب لب‌شور است. به‌طور کلی بر مبنای فیزیک حاکم بر نمک‌زدایی آب، این فرآیند از طریق سه روش قابل انجام است. در روش اول نمک‌زدایی بر مبنای اختلاف نقطه جوش آب و مواد حل شده در آن انجام می‌شود که به‌طور کلی آن‌ها را فرایندهای حرارتی می‌نامند. در روش دوم از فیلترهایی استفاده می‌شود که بر مبنای جداسازی فیزیکی بدون تغییر فاز عمل می‌کنند و شامل فرایندهای غشایی می‌شوند. روش سوم بر اساس پیوند شیمیایی عمل می‌کند. رزین‌های تبادل یونی از این دسته هستند.

۳-۱-۱- فرایندهای حرارتی

در روش‌های حرارتی از تبخیر و تقطیر برای نمک‌زدایی آب استفاده می‌شود. روش‌های نمک‌زدایی حرارتی اغلب برای نمک‌زدایی از آب‌های با شوری بالا مانند آب دریا استفاده می‌شوند و به‌کارگیری آن‌ها برای آب‌های لب‌شور اقتصادی نیست^۱. همچنین آب تولیدی این روش‌ها کیفیت بسیار بالایی دارد و در رده آب‌های مقطر یا بدون املاح قرار می‌گیرد. در این روش‌ها بیش‌تر از سه فرآیند تقطیر چند مرحله‌ای (MED)، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای (MSF) و تراکم بخار (VC) استفاده می‌شود. فرایندهای MSF و MED تا سال ۲۰۰۹ به ترتیب ۸۷/۳ و ۱۲/۵ درصد از بازار این سه فرآیند را به خود اختصاص داده است. روش‌های دیگر حرارتی مانند حوضچه خورشیدی، رطوبت‌زنی - رطوبت‌زدایی و منجمدسازی به‌صورت صنعتی رایج نبوده و به‌صورت آزمایشگاهی و در مقیاس‌های محدود ساخته می‌شوند [۶۹]. اغلب، فرایندهای MED و MSF در کنار نیروگاه‌ها به‌کار گرفته می‌شوند زیرا در هر دو روش به بخار آب با فشار متوسط نیاز است که می‌توان بخار مورد نیاز را از نیروگاه‌های بخار با هزینه کم به‌دست آورد. ولی در روش تراکم بخار مکانیکی (MVC)^۲ به توان الکتریکی به‌عنوان انرژی محرک فرآیند نیاز است.

۳-۱-۲- فرایندهای غشایی

فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی بر اساس توانایی غشاهای نیمه تراوا برای عبوردهی انتخابی یا به حداقل رساندن عبور یون‌های خاص طراحی شده‌اند. سه نوع نیرو محرکه اساسی شامل اختلاف فشار، اختلاف پتانسیل الکتریکی، و اختلاف غلظت می‌توانند برای سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی مورد استفاده قرار گیرند. فرایندهای اسمز معکوس (RO) و

۱- البته در صورتی که از منابع انرژی اتلافی در کنار نیروگاه‌ها استفاده شود این تکنولوژی در برابر تکنولوژی غشایی قابل رقابت خواهد بود. (علی‌رغم هزینه سرمایه‌گذاری بالاتر نسبت به تکنولوژی غشایی).

2- Mechanical Vapor Compression (MVC)

نانوفیلتراسیون (NF) بر اساس اختلاف فشار، الکترودیالیز (ED)^۱ و الکترودیالیز معکوس شونده (EDR)^۲ بر اساس اختلاف پتانسیل الکتریکی و فرایند اسمز پیش رونده (FO)^۳ بر اساس اختلاف غلظت کار می کنند.

اصولا در فرایندهای نمک زدایی غشایی برای آب دریا از اسمز معکوس آب دریا (SWRO)^۴ استفاده می شود. غشاهای SWRO معمولا در فشارهایی در محدوده ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ psi (برابر با ۵/۵ تا ۶/۹ مگاپاسکال) کار می کنند. غشاهای اسمز معکوس قادر به حذف مواد آلاینده تا اندازه ۰/۱ نانومتر هستند. علاوه بر اثرات یون های محلول، انتقال جرم یون ها در طول غشاهای اسمز معکوس با مشخصات کیفی آب مثل دما و pH نیز تحت تاثیر قرار می گیرد [۷۰].

مقدار آب بازیابی شده با استفاده از غشاهای اسمز معکوس آب دریا ۳۰ تا ۴۵ درصد و برای آب لب شور ۶۰ تا ۸۵ درصد است و غشاهای اسمز معکوس تجاری معمولا ۹۹ تا ۹۹/۸ درصد از کل مواد جامد محلول در آب تغذیه را جدا می کنند. با وجود این، حذف بعضی از مواد آلاینده مثل بور در بعضی مواقع به اندازه لازم نیست.

علاوه بر توانایی سامانه SWRO برای حذف انواع مختلفی از آلودگی ها، اسمز معکوس در مقایسه با سامانه های نمک زدایی حرارتی عموما خصوصیات از جمله مصرف انرژی کمتر به علت عدم نیاز به تغییر فاز، دبی جریان آب تغذیه کمتر و عدم تاثیرات حرارتی بر پساب خروجی را دارد. از دیگر مزایای این فناوری می توان به امکان طراحی مدولار و منعطف با توجه به توسعه مدول های غشایی، سرعت بالای جداسازی (ضخامت بسیار کم غشا)، امکان انجام فرآیند در دماهای پایین، امکان استفاده در هرگونه شرایط محیطی (تنوع مواد ساختاری غشا)، جداسازی در گستره وسیعی از اندازه و حالات مواد، مقیاس افزایی آسان از پیلوت به واحد صنعتی و امکان ترکیب با روش های دیگر جداسازی اشاره کرد. به طور کلی اصلاح غشاها و سامانه های بازیابی انرژی برای اسمز معکوس باعث کاهش قیمت هزینه های مرتبط با تصفیه و کارایی این فرایند شده است [۷۱].

اگر چه نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز یا الکترودیالیز معکوس شونده نیز فناوری های توسعه یافته هستند و می توانند برای نمک زدایی مورد استفاده قرار گیرند، ولی معمولا الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده از نظر قیمت، هزینه، مصرف انرژی الکتریکی و مشکلات گرفتگی غشا برای نمک زدایی آب دریا قابل رقابت با دیگر فرایندها نیستند [۷۲].

فرایند نانوفیلتراسیون نیز به علت تمرکز بیش تر بر حذف یون های دو ظرفیتی و پایین بودن توان حذف یون های یک ظرفیتی برای تولید آب شرب از آب دریا مورد توجه قرار نمی گیرد. غشاهای نانوفیلتر درصد بیش تری (تا بیش از ۹۷ درصد) از یون های دو ظرفیتی را حذف می کند اما توان حذف یون های تک ظرفیتی در آن ها محدود است (حدود ۴۰ تا ۹۵ درصد). از سامانه های نانوفیلتراسیون در کاهش سختی قبل از سامانه های اسمز معکوس آب دریا و سامانه های حرارتی جهت افزایش بازدهی کلی واحد استفاده می شود. فرایند اسمز پیش رونده نیز یکی از فناوری های در حال توسعه است که هنوز در مقیاس بزرگ تجاری نشده است [۷۰].

1- Electro Dialysis (ED)

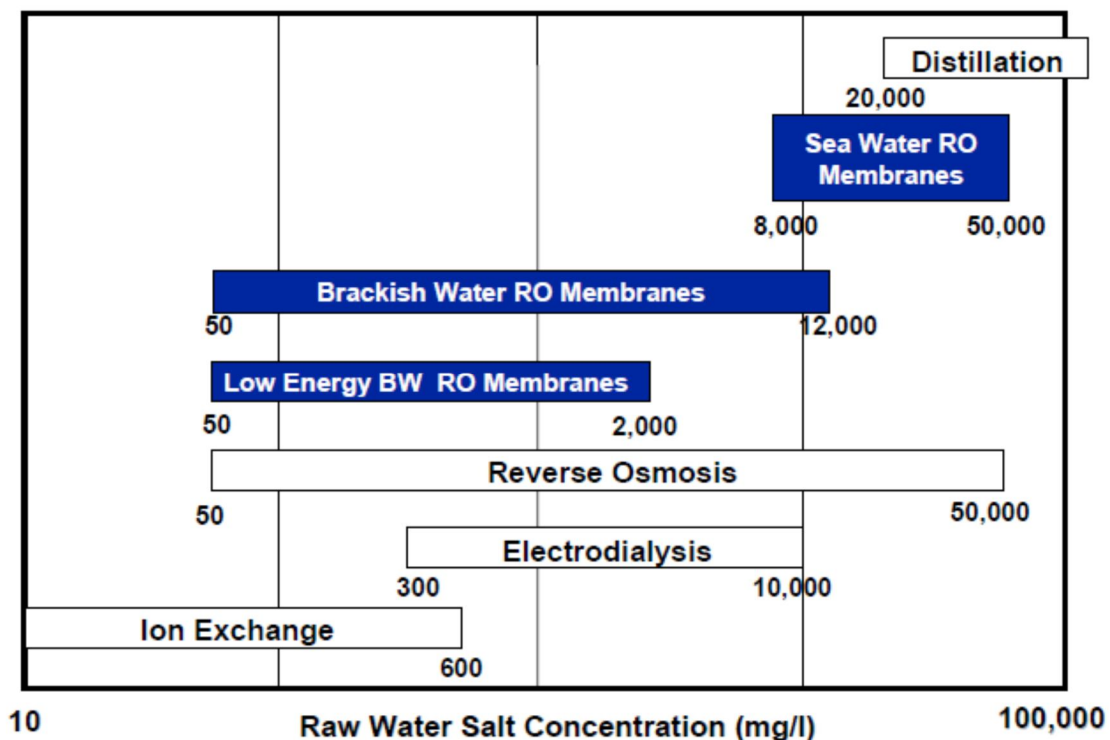
2- Electro Dialysis Reversal (EDR)

3- Forward Osmosis (FO)

4- Seawater Reverse Osmosis (SWRO)

باکتری‌ها، مواد غیرمحلول، و سایر موادی که باعث ایجاد کدورت می‌شوند در فرایند EDR تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند و بنابراین در جریان آب خروجی باقی می‌مانند و بعد از این فرایند به تصفیه تکمیلی برای تولید آب شرب نیاز است [۷۳].

شکل (۱-۳) نمودار محدوده کاربرد سامانه‌های نمک‌زدایی نسبت به درجه‌ی شوری را برای فرایندهای اقتصادی و مهم نمک‌زدایی نشان می‌دهد. [۱۹]



شکل ۱-۳- نمودار محدوده کاربرد سامانه‌های نمک‌زدایی نسبت به درجه‌ی شوری [۱۹]

۳-۲- تشریح نحوه عملکرد

۳-۲-۱- اساس کار اسمز معکوس

اسمز معکوس بر اساس غلبه بر پدیده طبیعی فشار اسمزی است. فشار اسمزی زمانی پدید می‌آید که یک غشای نیمه‌تراوا دو محلول با غلظت‌های مختلف از یون‌ها را از هم جدا می‌کند. فشار اسمزی ناشی از اختلاف غلظت، جریان آب را از محلول رقیق به محلول غلیظ حرکت می‌دهد تا تعادل شیمیایی ایجاد شود. جریان آب می‌تواند با استفاده از نیروی هیدرولیکی خارجی (فشار) بیش‌تر از فشار اسمزی معکوس شود. اسمز معکوس فرآیندی است که در آن از فشار برای معکوس نمودن جریان اسمزی آب از درون یک غشای نیمه‌تراوا استفاده می‌شود [۶۹ و ۷۲].

۳-۲-۲- نانوفیلتراسیون

نانوفیلتراسیون معمولا برای نرم کردن آب و حذف محصولات جانبی فرایند گندزدایی مثل مواد آلی محلول مورد استفاده قرار می گیرد. نانوفیلتراسیون معمولا برای نمک زدایی آب دریا به کار نمی رود، ولی در کنار فرایندهای حرارتی به عنوان سختی گیر به کار گرفته می شود تا مشکلات رسوب گذاری این سامانه ها را کاهش داده و بازدهی آن ها را بیش تر کند. همچنین از این غشاهای آب های لب شور استفاده کرد.

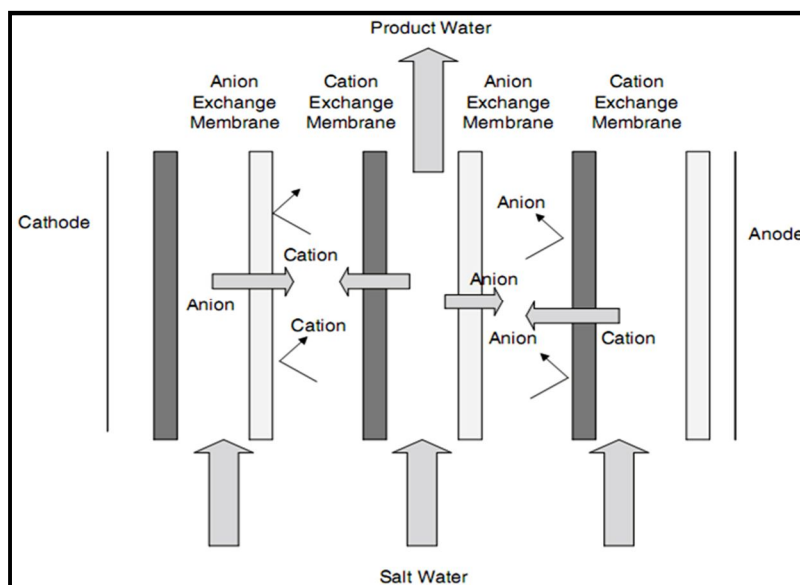
نانوفیلتراسیون از غشاهای نیمه تراوا است و از نیروی محرکه فشار هیدرولیکی استفاده می کند؛ با این وجود، در مقایسه با اسمز معکوس، غشاهای نانو، مواد با وزن ملکولی بزرگ تر را، راحت تر عبور می دهند. غشاهای نانوفیلتر درصد بالایی (تا بیش از ۹۷ درصد) از یون های دو ظرفیتی را حذف می کنند اما درصد حذف یون های تک ظرفیتی در آن ها محدود است (حدود ۴۰ تا ۹۵ درصد).

به علت اینکه غلظت بالایی از یون های تک ظرفیتی می توانند از غشاهای نانوفیلتر عبور کنند، فشار هیدرولیک مورد نیاز آن ها کم تر از سامانه های اسمز معکوس است. وجود این مساله هم زمان با لایه های غشایی با تراوایی بالا، فشار هیدرولیکی مورد نیاز را به طور چشم گیری کاهش می دهد [۶۹].

۳-۲-۳- الکترو دیالیز و الکترو دیالیز معکوس شونده

فرایندهای الکترو دیالیز و الکترو دیالیز معکوس شونده از یک غشا که قدرت انتخاب یون دارد بهره می برند و از اختلاف پتانسیل الکتریکی برای جداسازی ذرات باردار از آب استفاده می کنند. الکترو دیالیز و الکترو دیالیز معکوس شونده از پتانسیل الکتریکی برای بیرون کشیدن یون های محلول از بین یک سری از غشاها (غشاهای کاتیونی و غشاهای آنیونی) استفاده می کنند و آب یون زدایی شده در بین غشاها حرکت می کند و در نهایت بازیابی می شود. فرایند الکترو دیالیز و الکترو دیالیز معکوس شونده قادر به حذف پاتوژن ها و مواد معلق بدون بار نیستند و بنابراین نقشی در فرایند گندزدایی و حذف کدورت ندارند. [۶۹ و ۷۴].

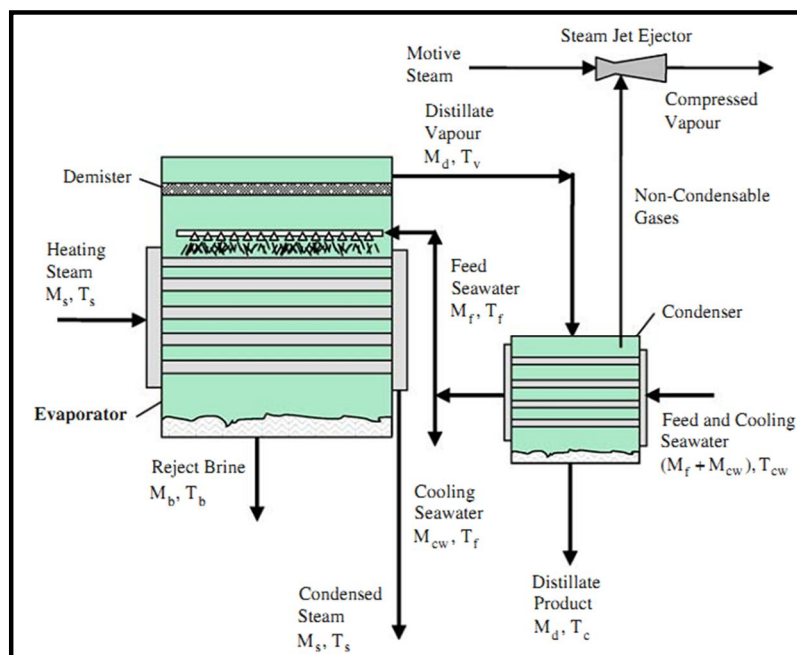
فرایندهای الکترو دیالیز و الکترو دیالیز معکوس شونده معمولا برای نمک زدایی آب دریا به کار نمی روند زیرا در غلظت های بالای نمک، مصرف برق بسیار بالایی دارند و نسبت به دیگر انواع فناوری های نمک زدایی غشایی کارایی کم تری دارند [۷۵]. شکل (۳-۲) اساس کار فرایند الکترو دیالیز را نشان می دهد.



شکل ۳-۲- اساس کار فرایند الکترودیالیز

۳-۲-۴- فرآیند تقطیر چند مرحله‌ای (MED)

سامانه MED بر اساس فرایندهای تقطیر یک مرحله‌ای تا چند مرحله‌ای طراحی می‌شود. همان طور که در شکل (۳-۳) مشاهده می‌شود آب تغذیه وارد کندانسور شده و با جذب انرژی بخار علاوه بر تقطیر نمودن بخار، پیش گرم می‌شود. قسمتی از آب خروجی از کندانسور که برای تقطیر بخار در کندانسور در فصول گرم وارد سامانه می‌گردد، به دریا بازگردانده می‌شود [۷۶].



شکل ۳-۳- سامانه نمک‌زدایی تقطیری تک مرحله‌ای [۶۹]

آب تغذیه پس از طی مراحل پیش تصفیه مقدماتی از بالا به داخل تبخیرکننده بر روی دسته لوله‌ها پاشیده شده و در اثر جذب حرارت از بخار ورودی، تبخیر می‌شود. بخار تشکیل شده دمای کم‌تری از دمای بخار ورودی دارد. برای جدا کردن قطرات آب شور حمل شده همراه بخار تولید شده از قطره‌گیر استفاده می‌شود.

گازهای غیر قابل چگالش باید از بخار جدا شود. زیرا حضور این گازها منجر به کاهش انتقال حرارت بین بخار و آب تغذیه در چگالنده و تبخیرکننده‌ها می‌شود. همچنین حضور این گازها سبب کاهش فشار جزیی بخار آب شده و در نتیجه عمل چگالش در دمای کم‌تری اتفاق می‌افتد. این پدیده به دلیل کاهش اختلاف دمای بین بخار و آب تغذیه ورودی، منجر به کاهش بازده شده و همچنین منجر به کاهش دمای آب تغذیه پیش گرم شده، می‌شود [۶۹].

اصول طراحی سامانه نمک‌زدایی تقطیر چند مرحله‌ای بر اساس فرآیند تقطیر یک مرحله‌ای است. در این سامانه به جای استفاده از یک تبخیرکننده از چندین تبخیرکننده استفاده می‌شود. در این روش از بخار تولید شده در مرحله قبل به عنوان تبخیرکننده آب تغذیه در مرحله بعدی استفاده می‌شود. با استفاده از این روش نسبت بهره‌وری (GOR)^۱ سامانه تا چند برابر افزایش می‌یابد.

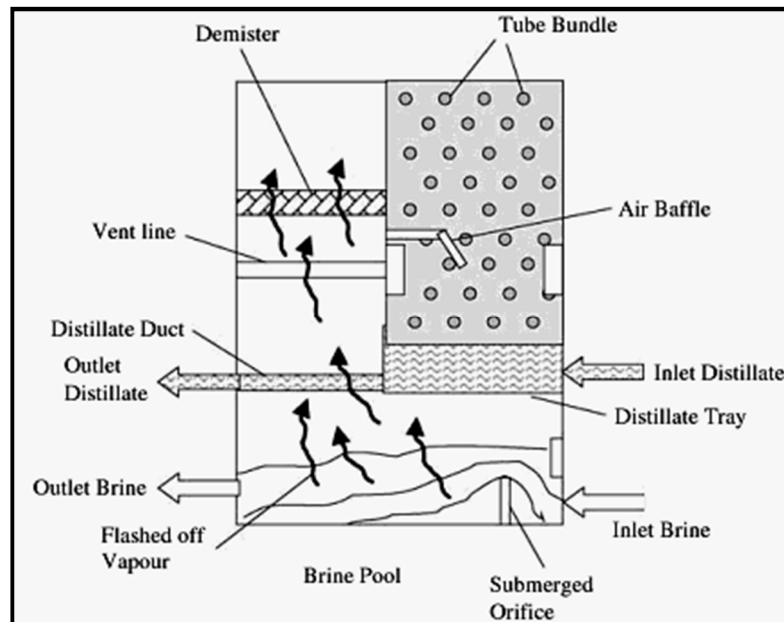
سامانه‌های نمک‌زدایی تقطیر چند مرحله‌ای بر اساس مسیر آب تغذیه هر مرحله، به سه دسته تقطیر با خوراک موازی، تقطیر با خوراک پیش‌رو و تقطیر با خوراک پس‌رو تقسیم می‌شوند.

۳-۲-۵- تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای (MSF)

در سامانه نمک‌زدایی تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای به جای تبخیر آب بر روی سطوح لوله‌های تبخیرکننده، تبخیر ناگهانی ناشی از کاهش فشار در توده مایع صورت می‌گیرد. در این فرآیند به دلیل عدم تماس آب شور با سطوح بیرونی لوله‌های تبخیرکننده از تشکیل رسوب جلوگیری می‌شود.

مقطعی از سامانه نمک‌زدایی MSF در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. آب ورودی با بخار حاصل از فرآیند تبخیر پیش گرم می‌شود. آب پیش گرم شده وارد محفظه تبخیر ناگهانی شده و در اثر پایین بودن فشار در این محفظه‌ها به صورت ناگهانی تبخیر می‌شود. بخار تولید شده از قطره‌گیرها عبور کرده و قطرات آب شور از آن جدا شده و در اثر انتقال حرارت با لوله‌های آب ورودی تقطیر و جمع‌آوری می‌شود. طراحی سامانه‌های MSF بر مبنای بازیافت حرارت از پساب خروجی می‌تواند یک مسیر یا چرخشی باشد.

1- Gain Output Ratio (GOR)

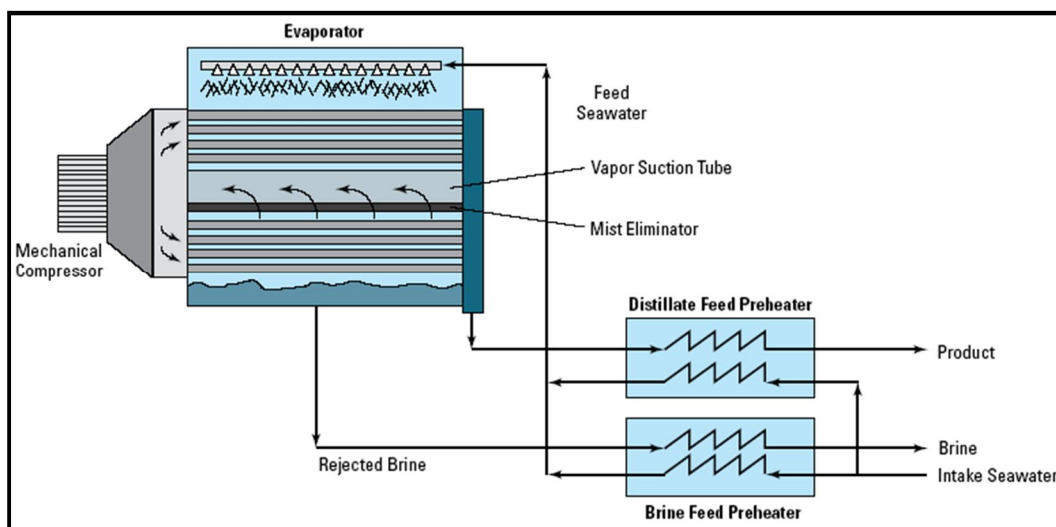


شکل ۳-۴- یک مقطع از محفظه تبخیر ناگهانی [۶۹]

۳-۲-۶- فرآیند تراکم بخار

اساس کار سامانه تراکم بخار شبیه سامانه‌های MED است. با این تفاوت که تمام بخار تولید شده از آب ورودی به‌طور مستقیم به کندانسور برای چگالش منتقل نمی‌شود و بخشی از آن وارد کمپرسور شده و دما و فشار آن افزایش یافته و به‌عنوان منبع انرژی، دوباره به داخل سامانه بازگردانده می‌شود و آب ورودی را تبخیر می‌کند [۶۹]. بر حسب اینکه کمپرسور مورد استفاده در سامانه، حرارتی یا مکانیکی باشد، عناوین تراکم بخار حرارتی (TVC) و یا مکانیکی (MVC) به آن‌ها اختصاص داده می‌شود.

این نوع سامانه‌ها نظیر سایر سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی برای آب‌های شور مناسب هستند. آب تولیدی از این روش دارای خلوص بالایی است. در شکل (۳-۵) نمایی از سامانه MVC را نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- سامانه تراکم بخار مکانیکی [۷۷]

۳-۳- مصالح و تجهیزات مناسب

با توجه به تنوع تجهیزات مورد استفاده در فرایندهای نمک‌زدایی، فقط به تجهیزاتی پرداخته شده است که ملاحظات خاصی در انتخاب، ساخت یا بهره‌برداری داشته‌اند.

۳-۳-۱- دستگاه‌ها و تجهیزات سامانه‌های غشایی

دستگاه‌ها و تجهیزات اصلی سامانه‌های نمک‌زدایی اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون عبارتند از کارتریج فیلتر، پمپ فشار قوی، سامانه بازیابی انرژی، مخازن تحت فشار، غشا، شیرها، لوله‌کشی، دستگاه‌های تزریق مواد شیمیایی، سامانه شستشوی شیمیایی و تجهیزات کنترلی و اندازه‌گیری.

همچنین دستگاه‌ها و تجهیزات اصلی سامانه‌های نمک‌زدایی شامل: EDR، محفظه الکترودیالیز، غشا، الکتروود، توری پلیمری و سل‌ها هستند.

در ادامه تجهیزاتی که دارای اهمیت خاص یا ملاحظات ویژه هستند شرح داده شده است.

۳-۳-۱-۱- سامانه‌های اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون

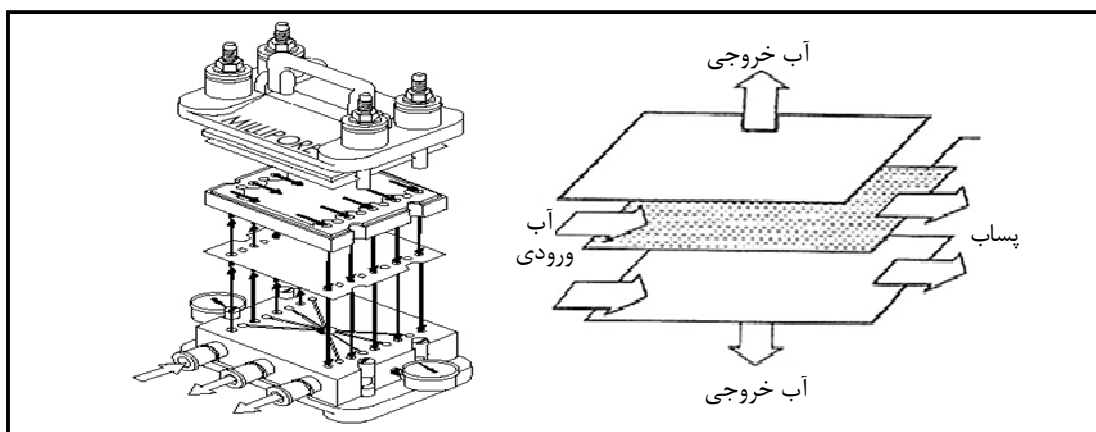
مدول‌های غشایی در نمک‌زدایی معمولاً شامل غشا، محفظه تحت فشار، تجهیزات تامین فشار، لوله‌کشی‌ها، شیرآلات و ادوات کنترل فرآیند و همچنین سامانه شستشو و بازیابی غشا هستند. در ادامه به توضیح اجزای کلیدی سامانه‌های غشایی پرداخته شده است.

۳-۳-۱-۱-۱- غشاها

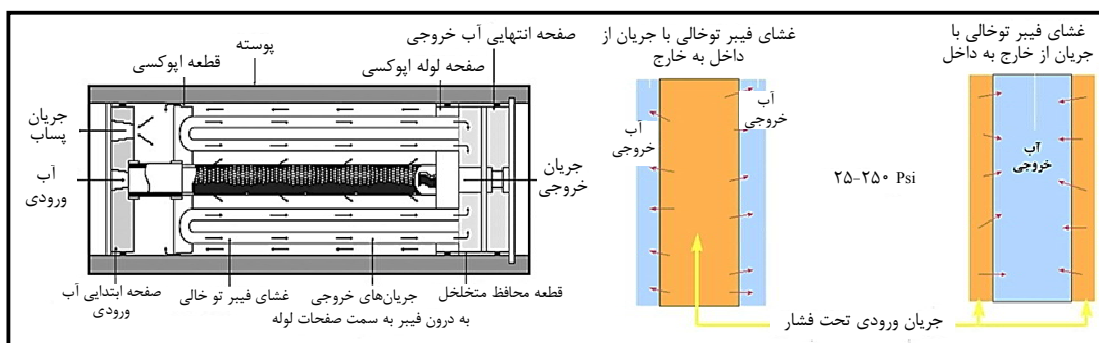
غشاها از نظر شکل غشا و محفظه فشار و جهت جریان به اشکال مختلف طراحی و ساخته می‌شوند که عمده‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- غشای صفحه‌ای
- غشای الیافی یا فیبر توخالی
- غشای لوله‌ای
- غشای حلزونی

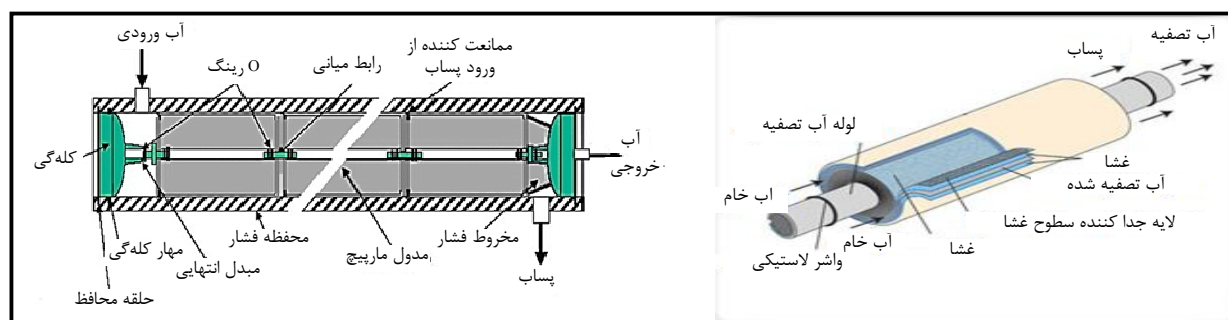
در شکل‌های (۳-۶) تا (۳-۸) تصویر مدول‌های صفحه‌ای، الیافی و حلزونی به همراه مکانیزم عملکرد آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی صفحه‌ای (چپ)

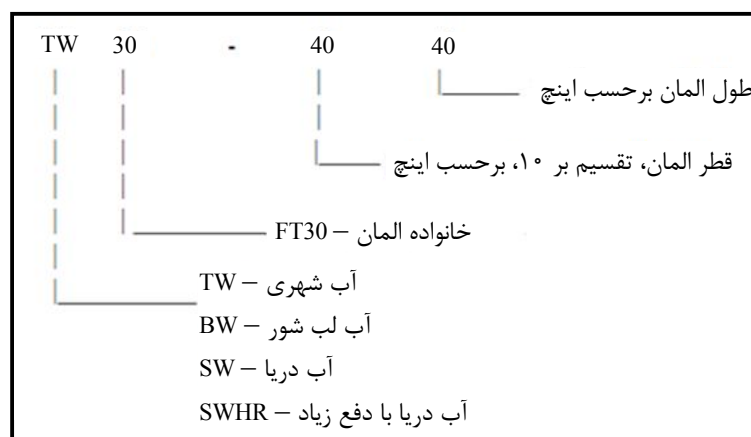


شکل ۳-۷- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی الیافی (چپ)



شکل ۳-۸- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی حلزونی (چپ)

امروزه برای نمک زدایی آب دریا و آب لب شور بیش تر از غشای حلزونی استفاده می شود. سه نوع دیگر غشا به ندرت در کاربردهای نمک زدایی دیده می شوند ولی در بسیاری از صنایع غذایی و کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند [۱۹]. به عنوان نمونه در طراحی المان غشای الیافی، تعداد زیادی از غشاهای الیافی در مخزن تحت فشار قرار می گیرند. ماده اصلی این غشاها پلی آمید یا مخلوطی از سلولز استات ها است. غشاها دارای قطر خارجی حدود ۳۰۰-۱۰۰ میکرون و قطر داخلی بین ۵۰ و ۱۵۰ میکرون هستند. معمولاً رشته ها به صورت U شکل در می آیند و دو انتهای آن در یک صفحه نگهدارنده از جنس اپوکسی قرار می گیرد. صفحه نگهدارنده نیز داخل یک مخزن تحت فشار قرار می گیرد. آب نمک با فشار در امتداد سطح خارجی الیاف وارد محفظه می شود. آب خالص، تحت فشار از دیواره ی رشته ها عبور می کند و داخل رشته جریان می یابد. مدول های حلزونی در قطرهای ۲/۵، ۴، ۸، ۱۶ و ۱۸ اینچ موجود هستند و طول آن ها ۴۰ اینچ است. این غشاها حدود ۲۸ تا ۱۷۲۵ فوت مربع سطح غشایی دارند. بسته به نوع آب ورودی به سامانه نمک زدایی، می توان از غشاهای با سطح بالاتر، درصد جداسازی بیشتر، مقاومت بالاتر در برابر گرفتگی و انرژی مصرفی کمتر بهره گرفت. المان های با قطر کوچک تر از ۸ اینچ به صورت زیر نام گذاری می شود. اولین بخش اسم، نوع استفاده را مشخص می کند؛ مثلاً BW30 مربوط به ممبرین Brackish Water FT30 قابل استفاده برای آب های لب شور است. بخش دوم اسم، اندازه المان را مشخص می کند، مثلاً ۲۵۴۰ المانی با قطر ۲/۵ اینچ و طول ۴۰ اینچ است. شکل (۳-۹) نام گذاری المان های کوچک تر از ۸ اینچ را نشان می دهد.



شکل ۳-۹- نام گذاری المان های کوچک تر از ۸ اینچ [۱۹]

۳-۳-۱-۲- محفظه تحت فشار

به دلیل فشار بالای عملیات و حساسیت و صدمه‌پذیری بالای غشاها، از محفظه تحت فشار استفاده می‌شود. مخازن تحت فشار با توجه به فشار عملیاتی سامانه از جنس‌های استیل ضدزنگ آلیاژی برای فشارهای کم و فایبرگلاس (FRP) برای فشارهای مختلف ساخته می‌شوند. معمولاً باید مخازن تحت فشاری با ۱۰ درصد تحمل بالاتر از فشار مورد نیاز انتخاب شود تا افزایش فشار ناشی از رسوب‌گذاری مشکلی ایجاد نکند.

طراحی نامناسب مخازن تحت فشار سبب آسیب دیدن غشاها می‌شود. یک مخزن تحت فشار با طراحی مناسب باید مقاومت مکانیکی خوب و کنترل مناسبی بر حرکت سیال داشته باشد. همچنین باید تمیز کردن فیزیکی و شیمیایی غشا و تعمیر و نگهداری آن به آسانی صورت گیرد و علاوه بر این سطح بالایی از غشا را در برگیرد. در این خصوص باید توجه داشت که مخازن تحت فشار با اتصالات از کنار^۱ بهتر از مخازن تحت فشار با اتصالات از انتها^۲ هستند و امکان دسترسی و تعمیر و نگهداری را به مراتب راحت‌تر می‌سازند [۱۹]. برای کاهش مصرف انرژی در سامانه‌های نمک‌زدایی می‌توان از پمپ‌های فشار قوی دور متغیر استفاده کرد.

۳-۳-۱-۳- پمپ فشار قوی

تامین فشار مورد نیاز در سامانه‌های غشایی به‌عهده پمپ فشار قوی است. فشار خروجی پمپ باید طوری کنترل شود که شدت جریان مطلوب را تامین کند و نباید از حداکثر مقدار مجاز تجاوز نماید. انتخاب نوع مخزن تحت فشار در فرایند اسمز معکوس بر اساس همین فشار انجام می‌شود. محدوده فشارهای مجاز برای انواع غشاها در جدول (۳-۱) آورده شده است.

جدول ۳-۱- فشار مورد نیاز جریان ورودی RO براساس نوع غشا

فشار مورد نیاز (psi)	نوع غشا
۶۰۰ تا ۱۲۰۰	غشای مورد استفاده در نمک‌زدایی آب دریا
۶۰۰ تا ۱۰۰	غشای مورد استفاده در نمک‌زدایی آب لب‌شور

فشار عملیاتی غشاها را نانوفیلتر در مقایسه با غشاها اسمز معکوس تا بیش از ۵۰ درصد کم‌تر است [۱۹]. برای کاهش مصرف انرژی در سامانه‌های نمک‌زدایی می‌توان از پمپ‌های فشار قوی دور متغیر استفاده کرد.

۳-۳-۱-۴- سامانه بازیابی انرژی

در سامانه اسمز معکوس مربوط به آب دریا، معمولاً ۵۵ تا ۶۰ درصد از آب تغذیه پرفشار، به صورت جریان آب تغلیظ شده با فشاری در حدود ۶۰ بار سیستم را ترک می‌کند. برای صرفه‌جویی در انرژی مورد نیاز سیستم می‌توان این انرژی را بازیابی کرد. دستگاه‌های بازیابی انرژی مانند چرخ پلتون^۳، توربین با چرخش معکوس، مبدل پیستونی، مبدل فشاری و

1- Side Port
2- End Port
3- Pelton Wheel

توربو شارژر هیدرولیکی با کاربردهای مختلف موجود هستند. آب تغلیظ شده با فشار بالا وارد دستگاه بازیابی انرژی می شود. در این دستگاه از فشار بالای جریان برای تامین بخشی از انرژی مورد نیاز پمپ فشار قوی استفاده می شود. این بازیابی تا ۴۰ درصد از میزان مصرف انرژی می کاهد. در این بین با توجه به کارایی و میزان بازیافت انرژی بیش تر از توربوشارژر، مبدل فشار و مبدل پیستونی استفاده می شود [۱۹].

۳-۱-۳-۵- خطوط لوله و اتصالات

تامین فشار مورد نیاز در سامانه های غشایی به عهده پمپ فشار قوی است. اغلب پیشنهادهای می شود در خطوط لوله و اتصالات با فشار کم تر از ۱۰ بار از پلاستیک یا فایبرگلاس استفاده شود. این کار برای حذف مشکل خوردگی و ملاحظات مربوط به آن و البته کاهش هزینه هاست.

برای خطوط لوله کم فشار در فضاهای سرباز معمولاً از پلی اتیلن یا فایبرگلاس استفاده می شود و در محل های سرپوشیده، UPVC به کار می رود.

در لوله های با فشار بالا از فلزات آلیاژی استفاده می شود. در این شرایط توجه به نوع آب برای جلوگیری از بروز خوردگی و مشکلات ناشی از آن ضروری است. کربن و آلیاژهای پایین فولاد مقاومت کافی در برابر خوردگی ندارند و ذرات جدا شده از تجهیزات فلزی در اثر خوردگی می توانند موجب گرفتگی غشاها نیز شوند.

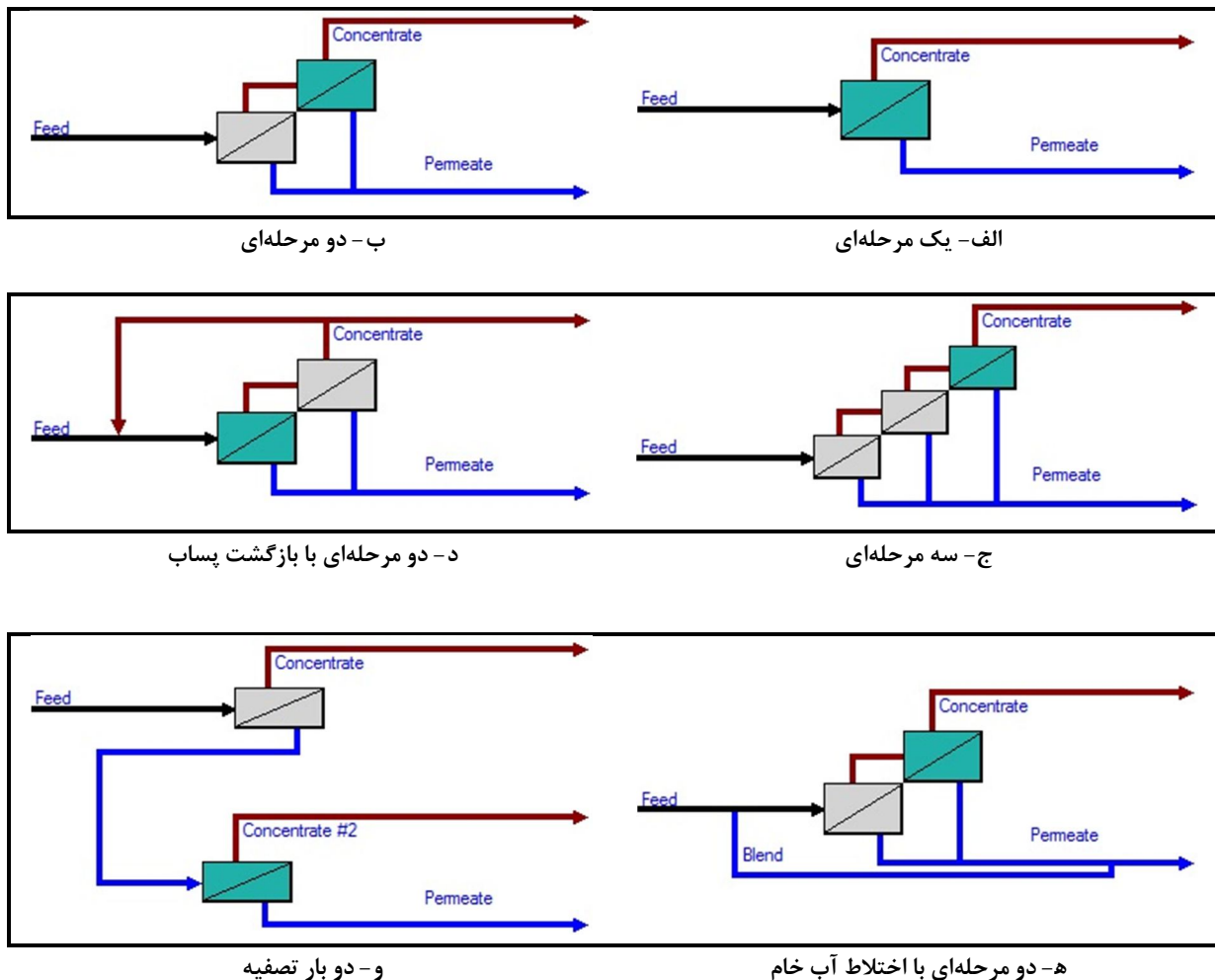
بهترین جنس قابل توصیه برای قطعات فشار بالا فولاد ضد زنگ است. فولاد ضد زنگ در برابر انواع خوردگی و فرسایش مقاوم است ولی دچار خوردگی گالوانیک می شود که می توان با حفاظت کاتدی با مس یا برنج از آن جلوگیری کرد.

با این وجود برخی استیل ها در محل منافذ و درزها دچار خوردگی می شوند؛ لذا عمل به توصیه های زیر کارساز خواهد بود: برای آب های با TDS کم تر از ۷۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در مسیر آب تغلیظ شده به ویژه در محل های جوش باید حداقل از استیل 316L استفاده شود. در محل هایی غیر از محل های جوش می توان از استیل ۳۱۶ استفاده کرد.

برای آب های با TDS بیش تر از ۷۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در مسیر آب تغلیظ شده به ویژه برای لوله ها و خم ها و جاهایی که درز وجود ندارد باید از آلیاژ 904L استفاده شود. اما در محل های درزدار مانند فلنچ ها، شیرها و پمپ ها باید از آلیاژ SMO254 یا آلیاژ مشابهی با حداقل مولیبدن ۶ درصد استفاده شود. این دو آلیاژ را می توان بدون بروز مشکل خوردگی گالوانیک به هم جوش داد. همچنین سنسورهای مورد استفاده در این مسیر باید پوشش داشته باشند. طراحی خطوط لوله، سرعت سیال (حداقل ۱/۵ متر بر ثانیه) و نحوه جوش کاری نیز در بروز خوردگی موثر است [۱۹].

۳-۱-۳-۶- آرایه سامانه های غشایی

در جهت افزایش ظرفیت تولید، نرخ بازیافت آب و یا دستیابی به خلوص بالاتر آب تولیدی، آرایه های مختلفی از سامانه های غشایی طرح و اجرا می شود. شکل (۳-۱۰) انواع آرایه های متداول سامانه های غشایی را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۰- انواع آرایه‌های متداول سامانه‌های غشایی

شکل الف نشان دهنده سیستم تک مرحله‌ای ساده برای آب ورودی به سامانه آب شیرین کن و خروجی آب تصفیه شده و پساب است. شکل ب و ج به ترتیب سیستم دو و سه مرحله‌ای و با هدف افزایش میزان بازیافت آب تولیدی است. در شکل د با هدف افزایش درصد بازیافت آب تولیدی، پساب خروجی به ورودی بازگردانده می‌شود. شکل ه نشان دهنده سیستم ترکیب آب تصفیه تولیدی سامانه با آب ورودی با هدف تنظیم غلظت مناسب املاح است. در شکل و با هدف افزایش کیفیت آب تولیدی، آب تصفیه شده‌ی مرحله‌ی اول به مرحله دوم برای تصفیه تکمیلی هدایت می‌شود. برای توضیحات بیشتر به پیوست شماره‌ی پنج مراجعه شود.

۳-۱-۱-۳-۷- شستشوی غشا

پیش تصفیه سامانه‌های غشایی به منظور جلوگیری از بروز انواع رسوب‌گذاری و گرفتگی طراحی می‌شود. با این وجود به مرور زمان غشاها دچار گرفتگی شده و به شستشو نیاز پیدا می‌کنند. فاصله زمانی دو شستشو به کیفیت آب خام، توان پیش تصفیه و میزان توجه به راهبری مناسب سامانه نمک‌زدایی بستگی دارد.

گرفتگی غشاها با افت تولید (۱۰ درصد)، افزایش اختلاف فشار (۱۰ تا ۱۵ درصد) و یا افزایش نمک عبوری (۵ تا ۱۰ درصد) نمایان می شود. البته باید ابتدا مطمئن شد که این افت یا افزایش ها ناشی از کاهش دما یا تغییر شرایط عملیاتی واحد نباشد.

روش شستشوی شیمیایی بر اساس نوع گرفتگی انتخاب می شود و انتخاب درست این روش در عملکرد و عمر غشاها تاثیر به سزایی دارد. برای تشخیص درست عامل گرفتگی معمولاً مواردی مانند داده های ثبت عملکرد واحد، تجزیه آب تغذیه، داده های ثبت نتایج شستشوی شیمیایی قبلی، آثار گرفتگی روی فیلتر آزمون SDI، آثار روی کارتریج فیلترها و سطح داخلی خط آب تغذیه بررسی می شود.

تاخیر زیاد در انجام شستشوی شیمیایی پس از گرفتگی غشاها موجب سخت شدن شستشو و کاهش عمر و افت عملکرد غشاها پس از شستشو می شود.

علاوه بر شستشوی شیمیایی، باید در مواردی که آب ورودی به سامانه غشایی امکان ایجاد رسوب گذاری یا گرفتگی بالایی دارد، حتماً در هر بار توقف سامانه آن را با آب تصفیه شده شستشو داد.

۳-۱-۲-۳- سامانه های الکترو دیالیز معکوس شونده

۳-۱-۲-۱-۳-۳- غشاها

غشاهای الکترو دیالیز از نظر جنس، مشابه رزین های تعویض یونی بوده و دارای انواع کاتیونی و آنیونی هستند. غشاها با ضخامت کم و به طور معمول با ابعاد ۲۵×۲۳، ۵۰×۴۶ یا ۱۰۰×۴۶ سانتی متر ساخته می شوند.

در برخی از قسمت های داخل سامانه الکترو دیالیز که اختلاف فشار وجود دارد، مانند قسمت هایی شامل الکتروود، به منظور شستشوی آن و پاک کردن رسوبات و لجن ایجاد شده، آب با فشار بیش تری جریان دارد، لذا از غشاهای با دو برابر ضخامت غشاهای معمولی استفاده می شود. این نوع غشاها به غشاهای سنگین معروف هستند.

ضخامت غشاها بستگی به فناوری تولید آن ها دارد و معمولاً در محدوده ۰/۱ تا ۰/۶ میلی متر هستند [۷۸].

۳-۱-۲-۱-۳-۳- محفظه غشای الکترو دیالیز

محفظه، در برگیرنده الکتروودها و غشاها بوده و ساختمان آن ها بر اساس طراحی می تواند افقی یا عمودی باشد. هر محفظه دو صفحه الکتروود و تعداد مشخصی از جفت غشاهای آنیونی و کاتیونی را دارد. معمولاً جنس بدنه محفظه از استیل است. صفحات انتهایی دارای آداپتور و تجهیزات الکتریکی هستند [۷۸].

۳-۳-۱-۳-۳- الکترودها

در محفظه الکترودیالیز دو الکترود فلزی نیاز است که به جریان الکتریسیته DC متصل می‌شوند. الکترودها از تیتانیوم یا نیوبیوم با پوششی از پالادیم یا پلاتین ساخته می‌شوند تا در محیط‌های اسیدی، قلیایی و ولتاژ اعمال شده مقاوم باشند. در اثر استفاده یا جابجایی نامناسب، این پوشش از بین می‌رود و موجب کاهش کارایی الکترودها می‌شود. طول عمر الکترودها به ترکیبات آب خام ورودی و آمپراژ جریان مصرفی بستگی دارد. هرچه غلظت کلر و آمپراژ مصرفی بالاتر باشد، از طول عمر الکترود نیز کاسته می‌شود [۷۸].

۳-۳-۲- دستگاه‌ها و تجهیزات سامانه‌های حرارتی

خوردگی همواره از طریق پارامترهای pH، دما، غلظت بالای یون کلراید و اکسیژن محلول، سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی را تهدید می‌کند. در بخش آب تولیدی، کمبود مواد معدنی، عاملی موثر برای ایجاد خوردگی است. کارآمدترین روش برای کنترل خوردگی در این سامانه‌ها استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی است؛ اگرچه پیش‌تصفیه مناسب نیز در رسیدن به این هدف کارساز است ولی به عنوان نمونه برای تنظیم pH و کنترل میزان اکسیژن محلول از مواد شیمیایی استفاده می‌شود. به همین ترتیب با استفاده از پلی‌فسفات‌ها می‌توان اثر دما را کنترل نمود. خوردگی تحت اثر کلراید با استفاده از مواد شیمیایی قابل کنترل نبوده و استفاده از مواد مناسب و مقاوم در برابر خوردگی گزینه قابل توصیه است. در برخی از سامانه‌ها از گاززدا برای کنترل گازهای وارد شونده با سامانه‌ها استفاده می‌کنند.

دستگاه‌ها و تجهیزات اصلی سامانه‌های نمک‌زدایی MED عبارتند از تبخیرکننده‌ها، کندانسور، ترموکمپرسور، اجکتورها، الکتروپمپ محصول، الکتروپمپ آب کندانس، الکتروپمپ پساب، شیرها، لوله‌کشی و دستگاه تزریق مواد شیمیایی. این دستگاه‌ها و تجهیزات در سامانه‌های نمک‌زدایی MSF شامل: مراحل^۱، مبدل پیش‌گرم‌کن، الکتروپمپ محصول، الکتروپمپ آب کندانس، الکتروپمپ پساب، الکتروپمپ بازچرخانی پساب، اجکتورها، شیرها، لوله‌کشی و دستگاه تزریق مواد شیمیایی هستند.

دستگاه‌ها و تجهیزات اصلی سامانه‌های نمک‌زدایی MVC نیز شامل تبخیرکننده، کندانسور، مبدل پیش‌گرم‌کن، الکتروپمپ محصول، الکتروپمپ آب کندانس، الکتروپمپ پساب و کمپرسور مکانیکی می‌شوند. مواردی که در سامانه‌های نمک‌زدایی دارای اهمیت خاص یا ملاحظات ویژه هستند عبارتند از:

- سه ردیف بالای لوله‌های تبخیرکننده‌ها در سامانه نمک‌زدایی MED باید از آلیاژی ساخته شود که در برابر خوردگی و سایش ناشی از پاشش آب دریا روی لوله‌ها مقاوم باشد. اغلب از لوله‌های تیتانیوم استفاده می‌شود. سایر لوله‌ها نیز از آلیاژهای بالاتر از استیل ۳۱۶L مانند آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شوند.
- تیوب‌شیت‌ها و صفحه‌های نگه‌دارنده در سامانه نمک‌زدایی MED نیز معمولاً از استیل ۳۱۶L ساخته می‌شوند.

- بدنه داخلی محفظه های تبخیر ناگهانی در سامانه نمک زدایی MSF با فولاد ضد زنگ و مقاوم در مقابل سایش پوشش داده شود تا آشفستگی جریان دوفازی عبورکننده از اوریفیس های محفظه های تبخیر ناگهانی ایجاد خوردگی نکند.
- جنس پروانه و پوسته پمپ های پساب و محصول باید از آلیاژ آلومینیوم-برنز و جنس شفت آن ها استیل ۳۱۶ باشد. همچنین جنس پروانه و پوسته پمپ آب کندانس باید از چدن و جنس شفت آن از استیل ۳۱۶ یا آلیاژهای مقاوم تر باشد.
- بدنه تبخیرکننده، تیوب شیت ها و نگه دارنده ها در MVC باید از جنس استیل ۳۱۶L باشد. جنس لوله ها در این سامانه اغلب از Cu-Ni 90/10 است.

۳-۴- ملاحظات زیست محیطی سامانه های نمک زدایی

ملاحظات زیست محیطی نقش مهمی را در مراحل مختلف طراحی و اجرای پروژه های تصفیه آب بازی می کنند. از زمانی که محل اجرای پروژه انتخاب و کار طراحی شروع می شود، کنترل موارد زیست محیطی نیز باید به طور همزمان انجام شود تا تاثیرات منفی اجرای پروژه بر زندگی انسان و طبیعت را در حین ساخت و اجرا به حداقل برساند. برای اجرای یک واحد جدید نمک زدایی، باید مجوزهای زیست محیطی مربوطه اخذ شود. فرایند گرفتن مجوزها بخش مهمی از کل فرایند اجرای پروژه است. در طی این فرایند، طراحان می توانند داده ها و تحلیل هایی که برای طراحی و نظارت خوب لازم است را جمع آوری نمایند. توجه به ملزومات زیست محیطی و مسایل بقا و لحاظ کردن آن ها در زمان طراحی یک واحد جدید یا توسعه و نوسازی یک واحد موجود بسیار ضروری است [۷۹]. جدول (۳-۲) مراحل بررسی مسایل زیست محیطی را در یک پروژه نشان می دهد.

جدول ۳-۲- مسایل زیست محیطی در اجرای پروژه [۸۰]

فازهای اجرای پروژه		مسایل زیست محیطی مربوطه
برنامه ریزی	انتخاب محل واحد	معیارها و ملاحظات بازدید محل برای حفاظت از منابع مختلف
	محل دفع پساب	امکان سنجی و بررسی محل دفع براساس معیارهای محیط زیست
	بازتاب عمومی	ارزیابی واکنش های اولیه افراد مستقر در محل
	تأییدیه اولیه	بررسی قوانین و ملاحظات زیست محیطی منطقه
طراحی	طراحی فنی	توسعه معیارهای طراحی
	مجوزها و تأییدیه ها	ارزیابی واکنش ها و توسعه اقدامات کاهنده
پیشنهاد مزایده یا مناقصه	اسناد مزایده یا مناقصه	تعیین مجوزها و استانداردهای عملیاتی در اسناد مزایده یا مناقصه
ساختمان سازی	تجهیزات ساخت	بازبینی و گزارش مسایل زیست محیطی
شروع عملیات و اجرای فرایند	تجهیزات عملیات	بازبینی و گزارش مسایل زیست محیطی تداوم برآورده کردن ملزومات مجوزها

۳-۴-۱- تأثیرات زیست‌محیطی حین ساخت فرایندهای نمک‌زدایی

۳-۴-۱-۱- ارزیابی شرایط مکانی و خصوصیات آن

این مرحله شامل حساسیت‌های زیست‌محیطی خاص ناشی از وجود تالاب، منطقه سیلابی یا مناطق با اهمیت تاریخی و باستانی می‌شود. این ارزیابی باید با بررسی قوانین محلی و آیین‌نامه‌های حفاظت منابع طبیعی و زمین‌های هم‌جوار انجام شود، زیرا این منابع راهنمایی‌های بسیار خوبی برای تعیین ویژگی‌های مکان‌ها به دست می‌دهند که باید برای طراحی ساختمان مورد توجه قرار گیرند. این ویژگی‌ها بعداً در معماری محل لحاظ می‌گردد.

۳-۴-۱-۲- تعیین اجزای مهم پروژه

اجزای متعارف مورد نظر در پروژه‌های نمک‌زدایی شامل محل‌های رفت و آمد، محل‌های استقرار، اتصالات و تاسیسات رفاهی، ایستگاه‌های پمپ، شبکه‌های پخش، آب‌گیرهای اصلی، چاه‌های برداشت از آب زیرزمینی، لای‌روبی، محل‌های آب‌گیری و محل‌های دفع پساب و ضایعات است [۸۰].

۳-۴-۲- تأثیرات زیست‌محیطی حین عملکرد فرایندهای نمک‌زدایی

عملکرد فرایندهای نمک‌زدایی، از جنبه‌های مختلفی با محیط زیست در تعامل است و آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تأثیرات به محل واحد، کیفیت منبع آب (آب تغذیه) و آب تولیدی بستگی دارد و تامین مصرف انرژی، عملیات برداشت آب از منبع، مقدار جریان پساب، استفاده از مواد شیمیایی برای تصفیه، جریان خروجی شامل مواد خورنده، اختلاف دما و غلظت با آب پذیرنده، سر و صدا و آلودگی صوتی، اختلال در مناظر طبیعی و اثرات زیبایی‌شناختی و پس‌ماندهای جامد (غشا و مصالح و اجزای از رده خارج شده) از آن جمله‌اند. ظرفیت پذیرش تغییرات زیست‌محیطی در مناطق کم‌آبی مانند دشت‌های مرکزی ایران بسیار محدود است و اتخاذ تمهیدات حفاظت زیست‌محیطی در این مناطق از اهمیت بالایی برخوردار است.

۳-۴-۲-۱- برداشت آب از منبع

قبلاً تصور می‌شد بزرگ‌ترین مشکل زیست‌محیطی سامانه‌های نمک‌زدایی دفع پساب آن‌هاست. اما با گذشت زمان این نتیجه حاصل شد که در صورت استفاده از یک سامانه دفع پساب مناسب، بزرگ‌ترین نگرانی در این سامانه‌ها ناشی از آب‌گیری آن‌ها به خصوص برای آب‌گیری از منابع باز مثل دریاست. استفاده از این منابع منجر به کاهش موجودات دریایی در منطقه می‌شود. در هنگام برخورد موجودات دریایی با تجهیزات آب‌گیری مثل آشغال‌گیرها و یا گیر افتادن آن‌ها در واحد نمک‌زدایی در اثر جریان آب خوراک ورودی، تعداد زیادی از این موجودات از بین می‌روند. ساختار و تجهیزات سامانه آب‌گیری و لوله‌کشی‌ها اولین عاملی است که تعادل محیط زیست را بر هم می‌زند. بعد از نصب تجهیزات، ساختار آن‌ها می‌تواند مبادله جرم و انرژی (انتقال آب و مواد معلق زنده و بی‌جان) را تحت تأثیر قرار داده و

همچنین به عنوان یک مانع مصنوعی در برابر ماهی ها و سایر موجودات عمل کند و در دریا در مسیر کشتی ها و سایر تجهیزات دریایی اختلال ایجاد نماید [۴۸].

۳-۴-۲-۲- مصرف انرژی

فناوری های نمک زدایی عموماً از انرژی حرارتی یا الکتریسیته برای جداسازی نمک از آب استفاده می کنند. تاثیرات زیست محیطی استفاده از انرژی به منبع مورد استفاده برای انرژی بستگی دارد. جدول (۳-۳) میزان مصرف انرژی را در بعضی فناوری های نمک زدایی متداول نشان می دهد.

جدول ۳-۳- مقایسه مصرف انرژی در فرایندهای مختلف [۷۱]

نام فناوری	انرژی حرارتی (مگاژول بر مترمکعب)	انرژی الکتریسیته (کیلووات ساعت بر مترمکعب)	کل سوخت مصرفی (مگاژول بر مترمکعب)	سوخت* (کیلوگرم بر مترمکعب)
MSF	۳۸۰ تا ۲۰۰	۴/۸ تا ۳/۶	۴۲۱ تا ۲۴۶	۶/۱۵ تا ۱۰/۵۲
MED	۳۸۰ تا ۲۰۰	۲/۳	۴۰۴ تا ۲۲۴	۵/۶ تا ۱۰/۱
SWRO بدون بازیافت انرژی	°	۶/۵ تا ۳	۶۷ تا ۳۱	۱/۶۷۵ تا ۰/۷۷۵
SWRO با بازیافت انرژی	°	**۲	۲۰/۵	۰/۵۱

* هر کیلوگرم سوخت متعارف معادل ۴۰ مگاژول انرژی فرض شده است.

** با توجه به شرایط گوناگون و بسته به سامانه بازیافت انرژی مورد استفاده، این مقدار بین ۲ تا ۴ کیلووات ساعت به ازای هر مترمکعب تولید متغیر است.

انتشار آلاینده ها در هوا در فرایند اسمز معکوس (با مصرف انرژی الکتریکی، علی رغم محاسبه انتشار آلاینده ها در نیروگاه تولید برق) کمتر از فناوری های حرارتی (با مصرف مستقیم سوخت فسیلی) است. با این وجود، اگر یک منبع ارزان قیمت انرژی مانند بخار اضافی برای تامین انرژی حرارتی در دسترس باشد، اختلاف بین آلاینده های منتشر شده در هوا بین سامانه اسمز معکوس و روش های حرارتی باید به صورت موردی بررسی شود [۷۱].

۳-۴-۲-۳- جریان پساب

پسماندهای سامانه های نمک زدایی در هر سه حالت جامد، مایع، و گاز وجود دارد. هر سامانه باید به طور اختصاصی مورد بررسی قرار گیرد تا انواع ضایعات آن مشخص شود، سپس روش های مناسب برای تصفیه یا دفع آن ها مورد ارزیابی قرار گیرد. دفع پساب و ضایعات دیگر سامانه های نمک زدایی تاثیر چشم گیری بر محیط زیست دارد. ترکیب درصد جریان پساب با توجه به نوع سامانه نمک زدایی به طور قابل ملاحظه ای تغییر می کند. بنابراین تاثیرات زیست محیطی آن ها هم با هم متفاوت است. با توجه به ظرفیت منابع آب خام، به ویژه دریاها و اقیانوس ها، در پذیرش پساب سامانه های نمک زدایی و عدم تراکم و تعداد کمتر این سامانه ها تا دو دهه قبل، می توان گفت که در دوره مورد نظراین سامانه ها تاثیرات مخرب زیادی بر محیط زیست نداشته اند. ولی امروزه با توسعه سریع صنعت نمک زدایی، اتخاذ روش های قابل قبول تخلیه پسماند از عوامل مهم محسوب می شود.

چنانچه گفته شد، کمیت پساب یک سامانه نمک‌زدایی بسیار اهمیت دارد اما کیفیت آن به موارد زیر بستگی دارد:

- کیفیت آب خام ورودی
- مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیند شامل گندزداها، ضدرسوب‌ها، منعقدکننده‌ها و لخته‌سازها، ضد زیست‌ها و ضد اکسیدکننده‌ها
- درصد بازیافت آب
- دما
- تصفیه تکمیلی و شستشوی شیمیایی
- میزان اختلاط جریان پساب و بازچرخانی

۳-۴-۲-۳-۱- پساب پیش تصفیه

چنانچه در مباحث پیش گفته شد، هر کدام از سامانه‌های نمک‌زدایی، بسته به نوع فرآیند، محدودیت کیفی برای آب خام ورودی (خوراک) دارند؛ لذا برای ایجاد سازگاری کیفی آب ورودی با سامانه‌های نمک‌زدایی نیاز به عملیات پالایش می‌باشد که به آن پیش تصفیه گفته می‌شود. پساب سامانه‌های پیش تصفیه از لجن حوض ته‌نشینی، پساب شستشوی فیلتر شنی تا دورریز میکروفیلتر و اولترافیلتر متفاوت است. پساب پیش تصفیه در صورت استفاده از مواد شیمیایی (منعقدکننده‌ها، ضدرسوب‌ها، ضدخوردگی‌ها و مواد گندزدا و کلرزدا) دارای اثرات زیست‌محیطی بوده و بدون انجام عملیات فرآوری قابل دفع مستقیم به محیط نیست.

علاوه بر پساب سامانه‌های نمک‌زدایی، پسماندهای جامد نیز از اهمیت بالایی برخوردار است.

۳-۴-۲-۳-۲- پساب فرایند نمک‌زدایی

از آنجا که غلظت جریان پساب فرایندهای نمک‌زدایی عموماً بیش‌تر از آب منبع پذیرنده می‌باشد لذا بدون عملیات پالایش پساب قابلیت تخلیه به محیط را ندارد. مطابق جدول (پ. ۲-۷) پیوست (۲) مبنی بر استاندارد پساب ایران، اگر شوری جریان پساب از ۱۰ درصد بیش‌تر باشد، مجوزی برای این کار داده نمی‌شود.

سمی بودن معمولاً نگرانی مهمی در پساب سامانه‌های نمک‌زدایی نیست، زیرا فرایندی که در سامانه نمک‌زدایی اتفاق می‌افتد افزایش غلظت موادی است که به‌طور طبیعی در آب خام ورودی وجود دارند و سمی نیستند. با این وجود، تست سمی بودن، در برخی موارد، بخشی از فرایند صدور مجوزهاست.

تالاب‌ها که معمولاً برای تخلیه پساب‌ها به‌کار می‌روند مناطق حاصل‌خیزی برای رشد محصولات باارزش هستند. این مناطق با پساب گرم سامانه‌های حرارتی (یا پساب‌های با شوری بالا) آسیب می‌بینند و باید مطالعات دقیقی برای اطمینان از اینکه این مناطق ظرفیت پذیرش این جریان‌های گرم و غلیظ را دارند انجام شود.

اگر امکان تخلیه پساب به آب‌های سطحی وجود نداشته باشد، حوضچه‌های تبخیر برای خشک کردن جریان پساب مورد توجه قرار می‌گیرد. گرم بودن پساب سامانه‌های حرارتی می‌تواند به تبخیر و تبدیل آن‌ها به نمک‌های خشک کمک کند.

مقدار اکسیژن حل شده برای پساب حاصل از تصفیه آب های زیرزمینی در سامانه های نمک زدایی غشایی که مقدار اکسیژن حل شده کمی دارند، مهم است. میزان اکسیژن حل شده در پساب تغلیظ شده این سامانه ها باید قبل از تخلیه بررسی شود تا از اثرات سوء آن بر محیط زیست مانند تاثیر بر رشد نامتعارف باکتری ها و میکروارگانیسم ها جلوگیری به عمل آید. پساب ناشی از شستشوی سامانه های نمک زدایی معمولاً حاوی اسید، فلزات سنگین، مواد شیمیایی پاک کننده و آلودگی های حذف شده توسط سامانه است. مقدار این پساب نسبت به پساب سامانه ها کم تر است و همراه سایر پساب ها دفع یا تصفیه می شود [۸۱].

قبل از مخلوط سازی پساب ها با هم، ممکن است لازم باشد خاصیت اسیدی یا بازی محلول خنثی گردد تا از واکنش های ناخواسته جلوگیری شود و این اطمینان حاصل شود که مخلوط ضایعات با قوانین و مقررات زیست محیطی برای تخلیه پساب سازگار است.

جدول (۳-۴) مشخصات پساب ناشی از فرایندهای SWRO و حرارتی و تاثیرات زیست محیطی آن را نشان می دهد.

جدول ۳-۴- فرایند اسمز معکوس آب دریا جریان پساب در فرایندهای مختلف نمک زدایی و تاثیرات زیست محیطی آن ها [۷۱]

مشخصات پساب	SWRO	فرایند حرارتی	تاثیر زیست محیطی
غلظت نمک	۵ تا ۷ درصد	۵ درصد	افزایش غلظت نمک باعث افزایش دانسیته می شود. این ویژگی با دما اثر متقابل دارد. بنابراین، پساب خروجی اسمز معکوس تمایل بیش تری برای نفوذ در زمین دارد. تاثیر نهایی این مشخصه تغییر میزان شوری محل به علت دفع پساب است.
دما	دمای محیط	۵ تا ۲۵ درجه بالاتر از دمای محیط	افزایش دما باعث کاهش میزان اکسیژن و کاهش میزان موجودات دریایی می شود
اکسیژن	به علت استفاده از بی سولفیت سدیم کاهش می یابد.	به علت استفاده از بی سولفیت سدیم کاهش می یابد.	به علت کاهش میزان اکسیژن در آب میزان موجودات دریایی کاهش می یابد.
کلر	مشکل محسوب نمی شود زیرا کلر قبل از رسیدن به غشا حذف شده است.	۰/۲ تا ۰/۵ میلی گرم بر لیتر محدوده خطرناک غلظت: ۶ تا ۸ میلی گرم بر لیتر	محصولات جانبی کلر بر ارگانیسم ها اثر منفی دارند.
مواد آلی هالوژنه	می توانند در پساب پیش تصفیه اسمز معکوس وجود داشته باشند.	دارای غلظت و ترکیب متفاوت	محدوده پیشنهادی: ۱۳-۷/۵ میکروگرم بر لیتر مواد آلی هالوژنه در اطراف واحدهای تقطیر هم مشاهده شده اند. شواهد محکمی برای تاثیر منفی آن ها بر محیط زیست ارائه نشده است اما باید در مورد آن ها با دقت عمل کرد.
منعقد کننده ها (Al^{3+} , Fe^{3+})	در پیش تصفیه استفاده می شوند.	در واحدهای بسیار بزرگ استفاده می شوند.	کدورت زدایی آب، دفن ارگانیسم ها در اعماق دریا
لخته سازها	در پیش تصفیه استفاده می شوند.	استفاده نمی شود	در حال حاضر تاثیری از این مواد شناسایی نشده است.
مواد ضد رسوب	۱ تا ۲ میلی گرم بر لیتر در آب ورودی	۱ تا ۲ میلی گرم بر لیتر در آب ورودی	خطر انباشتگی پلی سولفات ها، که لخته هایی تشکیل می دهند.
pH	۶ تا ۷	۶ تا ۷	
ضد کف	استفاده نمی شود	۲ میلی گرم در لیتر در آب ورودی	به علت تخریب پذیری بسیار کند برای مدت های طولانی در محیط زیست باقی می ماند، ولی تاکنون اثر ضد زیست محیطی از آن شناخته نشده است.
مواد شیمیایی شوینده	شوینده ها، چیلنت ها، مواد اکسید کننده و ضد زیست ها	مواد ضد خوردگی و اسید	رها سازی لجن ها می تواند مشکل زا شود.

۳-۴-۲-۴- سایر آلاینده‌ها

علاوه بر پساب‌ها، سامانه‌های حرارتی، آلودگی به شکل گاز نیز دارند که طی انجام فرایند نمک‌زدایی از سامانه خارج می‌شوند. این گازها شامل دی‌اکسید کربن، نیتروژن و اکسیژن است و نیازی به روش خاص یا تجهیزات ویژه برای دفع آن‌ها نیست. اگر گاز سولفید هیدروژن از آب تغذیه آزاد شود، باید اقدامات لازم برای دفع بی‌خطر آن‌ها در نظر گرفته شود. علاوه بر این، دفع بخار مازاد ممکن است بر تعادل رطوبتی منطقه تاثیر نامطلوب داشته باشد.

در بین فرایندهای غشایی فرایند ED/EDR پساب خاصی با جریان محدود تولید می‌کند که پساب الکتروود نامیده می‌شود و حاوی مقدار چشم‌گیری گازهای هیدروژن و کلر است که معمولاً با استفاده از یک گاززدا از پساب الکتروودی زدوده می‌شوند.

علاوه بر موارد بالا، در طی یک دوره عملیات سامانه غشایی، مدول غشایی گرفته، فشرده و یا تخریب می‌شود و باید آن را دفن یا دفع کرد. به جز در موارد خاص که غشاهای مستعمل قبل از دفع از مواد باقی‌مانده پاک نشده‌اند، گزارشی از آسیب‌رسانی آن‌ها به محیط زیست وجود ندارد [۸۱].

آلودگی صوتی نیز از مشکلات زیست‌محیطی است که این سامانه‌ها به همراه دارند و البته با توجه به نوع فرآیند در سامانه‌های حرارتی به مراتب بیش‌تر است.

۳-۴-۳- مقایسه اثرات زیست‌محیطی ضایعات سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی و غشایی

سامانه‌های حرارتی نیاز کم‌تری به پیش‌تصفیه دارند در نتیجه میزان پسماند در آن‌ها کم‌تر است. در مقابل نیاز به جریان آب خنک‌کننده که در اکثر فرایندهای حرارتی وجود دارد، مشکلات دیگری ایجاد می‌نماید. راحت‌ترین روش برای اینکه تاثیرات زیست‌محیطی جریان تغلیظ شده را مورد توجه قرار دهد این است که ضریب تغلیظ در هر فرایند نمک‌زدایی محاسبه گردد. این ضریب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CF = \frac{1}{1-R}$$

برای مثال در یک واحد با درصد بازیابی (R) ۳۰ درصد، ضریب پساب (CF) برابر با ۱/۴۳ خواهد بود که بدین معنی است که غلظت جریان پساب ۴۳ درصد بیش‌تر از غلظت آب خام ورودی است [۸۱].

جدول (۳-۵) مشخصات چند فرایند نمک‌زدایی مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، غلظت نمک در پساب خروجی از فرایند اسمز معکوس از فرایندهای حرارتی بالاتر است و این به علت درصد بالای بازیابی در فرایندهای غشایی است. اگر چه فرایند اسمز معکوس برای آب‌های لب‌شور ضریب تغلیظ بالایی دارد (۲/۵ تا ۶/۷)، ولی باید در نظر داشت که مقدار نمک در خروجی به خواص آب ورودی بستگی دارد و حتی در بیش‌ترین درصد بازیابی این مقدار، کم‌تر از مقدار نمک موجود در آب دریاست. اسمز معکوس برای آب دریا بیش‌ترین مقدار نمک را در پساب خروجی در بین همه

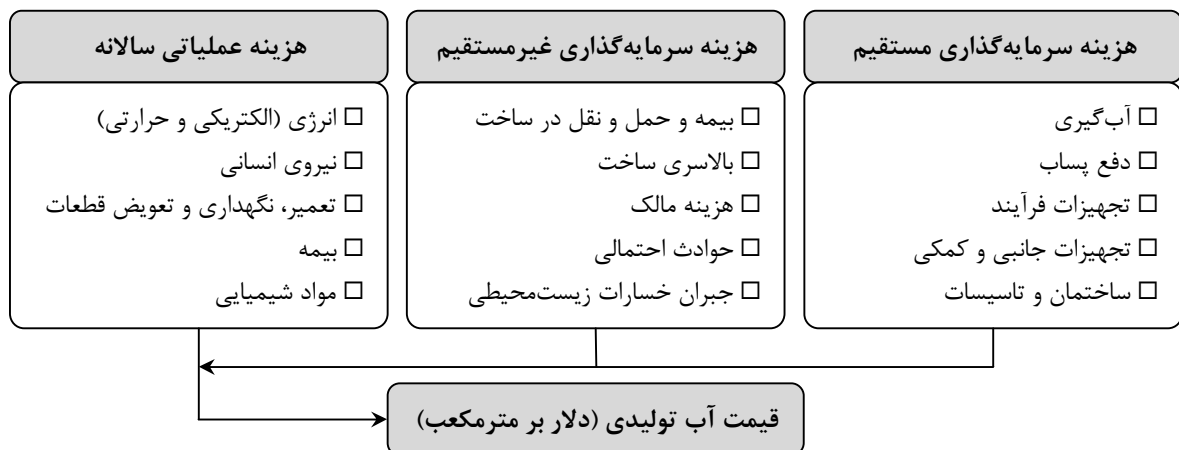
فرایندهای نمک زدایی دارد. غلظت پساب هایی که مقدار نمک بالایی دارند می تواند با مخلوط شدن با دیگر جریان هایی که درصد نمک کمتری دارند کاهش یابد.

جدول ۳-۵- مشخصات پساب فرایندهای نمک زدایی مختلف [۸۱]

نوع فرایند	اسمز معکوس آب لب شور (BWRO)	اسمز معکوس آب دریا (SWRO)	حرارتی (MSF و MED)
آب تغذیه	آب لب شور	آب دریا	آب دریا
درصد بازیابی	۸۵ تا ۶۰	۴۵ تا ۳۰	۳۵ تا ۲۰
دمای پساب خروجی	دمای محیط	دمای محیط	۵ تا ۲۵ بالاتر از دمای محیط
مخلوط سازی پساب ها	امکان پذیر است ولی متداول نیست	متداول نیست ولی در آینده متداول می شود	با جریان خروجی از کندانسور در فصل های گرم
ضریب تغلیظ نهایی	۶/۷ تا ۲/۵	۱/۴ تا ۱/۸	کمتر از ۱/۵

۳-۵- مقایسه اقتصادی سامانه های نمک زدایی

معمولاً هزینه ها به دو دسته هزینه های سرمایه گذاری شامل دو بخش مستقیم و غیرمستقیم و هزینه های عملیاتی سالانه تقسیم می شود. هر یک از این هزینه ها شامل پارامترهایی است که نیاز به محاسبه و برآوردی نسبی دارد. پس از محاسبه و برآورد پارامترهای مذکور در نهایت می توان قیمت آب تولید شده را محاسبه کرد. شکل (۳-۱۱) روش بررسی هزینه های فرایند نمک زدایی را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۱- روش بررسی هزینه های فناوری های نمک زدایی [۸۲]

تحلیل اقتصادی فناوری های نمک زدایی با مشخص کردن منبع آب خام و مشخصات آن، ظرفیت واحد، مشخصات محلی و سایر ملاک های اقتصادی آغاز می شود.

ملاک های اقتصادی، پارامترهای کلیدی را که در محاسبه هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی اثر دارند مشخص می کنند. استفاده از فرم های استاندارد در آماده سازی اطلاعات اقتصادی به مقایسه طرح های موجود و اطمینان از این که همه جوانب در نظر گرفته شده اند، کمک می کند.

در پیوست شماره (۳) تخمینی از هزینه‌ها ارائه شده است. این هزینه‌ها بر اساس مطالعات آماری در سال ۲۰۰۰ در کشور آمریکا بوده و صرفاً منعکس‌کننده سهم هزینه‌ها و میزان تاثیر هر یک است. بدیهی است اعداد و ارقام به‌صورت مطلق معنی‌دار نبوده اما اطلاعات بسیار مفیدی را به‌صورت نسبی در بر دارد. بالطبع به‌منظور تحلیل اقتصادی یک سامانه نمک‌زدایی هزینه‌های ذکر شده در شکل‌ها باید به روز محاسبه شده و بر همین اساس هزینه آب تولیدی محاسبه گردد.

۳-۵-۱- هزینه سرمایه‌گذاری

همان‌طور که گفته شد، هزینه‌های سرمایه‌گذاری به دو بخش عمده هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم و هزینه‌های سرمایه‌گذاری غیرمستقیم تقسیم می‌شوند.

۳-۵-۱-۱- هزینه سرمایه‌گذاری مستقیم

هزینه سرمایه‌گذاری مستقیم از جمع هزینه‌های ذیل حاصل می‌شود:

- واحد نمک‌زدایی (حرارتی یا غشایی)
- سامانه انتقال و محل دفع پساب
- سامانه پیش‌تصفیه
- آب‌گیر
- سامانه انتقال آب تغذیه به واحد نمک‌زدایی
- منبع تامین بخار در فرآیندهای حرارتی
- آماده‌سازی محل، محوطه‌سازی، کف‌سازی
- سامانه تصفیه تکمیلی
- ساختمان
- تجهیزات و لوازم کمکی
- تانک‌های ذخیره آب تولیدی
- ژنراتورهای اضطراری
- ترانسفورماتور و اتاق کنترل
- پمپ‌های توزیع آب تولیدی

نمونه‌ای از روش محاسبه سرمایه‌گذاری مستقیم در پیوست شماره (۳) آمده است.

۳-۵-۱-۲- هزینه سرمایه گذاری غیرمستقیم

- هزینه های غیرمستقیم به صورت درصدی از هزینه های سرمایه گذاری مستقیم محاسبه می شوند و شامل موارد ذیل هستند:
- کرایه حمل بار و بیمه: این هزینه متناسب با هر محل متفاوت خواهد بود. برای نمونه، در برخی واحدها این هزینه ها ۵ درصد هزینه ساخت پیشنهاد شده است [۸۲ و ۸۴ و ۸۵].
 - بهره در حین ساخت: بر اساس این که مالک پول مورد نیاز برای ساخت را وام گرفته و این که حین بازگرداندن آن مقداری سود به آن اضافه می کند، حساب می شود.
 - بالاسری ساخت: برای سامانه های غشایی حدود ۱۵ درصد هزینه سرمایه گذاری مستقیم است.
 - هزینه مالک: شامل هزینه های مدیریتی، مهندسی، قانونی، راه اندازی و مانند آن بسته به روش مالک متغیر است. معمولاً مقدار آن ۱۰ درصد هزینه سرمایه گذاری است، اما این مقدار بسته به نوع پروژه و ظرفیت متفاوت است.
 - حوادث احتمالی: در مراحل اولیه برنامه ریزی پروژه، موارد ناشناخته ای وجود دارد. حتی برای موارد مشخص هم همچنان که پروژه بیش تر پیش می رود هزینه های پیش بینی نشده ای به وجود می آیند. بنابراین لازم است، در بودجه بندی هزینه کلی پروژه، هزینه های احتمالی نیز در نظر گرفته شوند، که این هزینه ها در شروع پروژه زیاد هستند. همان طور که برنامه و طراحی پیش می رود، این هزینه ها ممکن است کاهش یابند. در مراحل اولیه برنامه ریزی، این هزینه معادل ۲۵ درصد هزینه ساخت و یا بیش تر تخمین زده می شوند. بعد از نهایی شدن طرح، هزینه های احتمالی حدود ۱۰ درصد می شوند [۸۲ و ۸۵].
- این هزینه ها با هزینه سرمایه گذاری مستقیم جهت به دست آوردن تخمینی از هزینه سرمایه گذاری کل جمع می شوند.

۳-۵-۱-۳- هزینه سرمایه گذاری استهلاک ناپذیر

- به هزینه هایی مانند زمین که از مقدار یا ارزش آن ها کاسته نمی شود سرمایه گذاری استهلاک ناپذیر گفته می شود.
- به موجودی مورد نیاز برای پرداخت های روزانه، سرمایه کاری گفته می شود که شامل دستمزدها و بالاسری آن، مواد شیمیایی، انرژی، نگهداری مواد و بیمه است. مقدار این موجودی باید به اندازه دو ماه کار و نگهداری باشد. این مقدار یک ششم کل هزینه سالانه است.
- هزینه سرمایه گذاری کلی از جمع هزینه سرمایه گذاری مستقیم، هزینه سرمایه گذاری غیرمستقیم و هزینه سرمایه گذاری استهلاک ناپذیر به دست می آید.

۳-۵-۲- هزینه سالانه

- هزینه های سالانه مشتمل بر هزینه های عملیاتی و نگهداری را می توان به دو دسته هزینه های ثابت و هزینه های متغیر تقسیم کرد.

هزینه‌های ثابت، هزینه‌های مستقل از مقدار آب تصفیه شده هستند، در حالی که هزینه‌های متغیر به مقدار آب بستگی دارند. هزینه نیروی انسانی جزء هزینه‌های همیشگی با مقدار مستقل از میزان تولید است، ولی هزینه مواد شیمیایی هزینه متغیر است. هزینه‌های عملیاتی و نگهداری شامل موارد ذیل است:

۳-۵-۲-۱- هزینه نیروی انسانی

تعداد نیروی انسانی مورد نیاز برای واحدهای کوچک، یک یا دو نفر است در حالی که واحدهای بزرگ ممکن است به نیروهای تمام وقت بیش‌تری برای انجام کارهای روزمره و ثبت داده‌ها نیاز داشته باشند. همچنین چنان‌چه فرآیند پیچیده باشد، به نیروهایی با مهارت‌های مختلف نیاز است. علاوه بر این، ممکن است بسته به سیاست‌های مالک تعداد نیروهای راهبری متفاوت باشد. اختلاف دستمزد در برخی مناطق به خصوص در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی نیز باید در نظر گرفته شود.

۳-۵-۲-۲- هزینه انرژی

تمامی انرژی مورد نیاز در پروژه نمک‌زدایی باید در تخمین هزینه پروژه منظور شود. انرژی مورد نیاز در مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه می‌تواند به دقت تعیین شود. تخمین دقیق هزینه‌های انرژی مهم است، چرا که انرژی، قسمت بزرگی از هزینه‌های عملیات و نگهداری و در نتیجه قیمت آب را به خود اختصاص می‌دهد. این موضوع خصوصاً برای نمک‌زدایی آب دریا از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

شکل‌های (پ.۳-۱۵) تا (پ.۳-۲۱) از پیوست شماره (۳) هزینه انرژی الکتریکی با قیمت برق ۶ سنت دلار برای هر کیلووات ساعت و بخار را برای برخی از واحدهای نمک‌زدایی نشان می‌دهد. [۸۴]

۳-۵-۲-۳- هزینه مواد شیمیایی

نوع و مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز در فرآیندهای نمک‌زدایی بسیار متغیر است. این مواد شامل مواد مورد نیاز در پیش‌تصفیه (کلر، منعقدکننده و سایر مواد مورد نیاز)، ضد رسوب، ضد کف، سدیم بی‌سولفیت (SBS) و مواد مورد نیاز در تصفیه تکمیلی هستند.

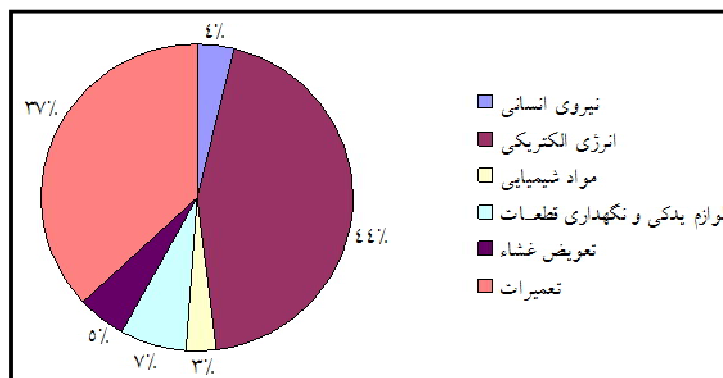
۳-۵-۲-۴- هزینه نگهداری قطعات

هزینه لوازم یدکی و نگهداری قطعات در واحدهای نمک‌زدایی یک درصد هزینه سرمایه‌گذاری کل پیشنهاد شده است [۷۷].

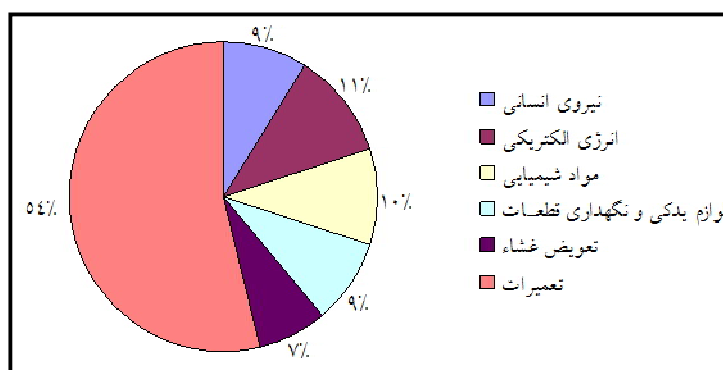
۳-۵-۲-۵- هزینه تعویض غشاها

شکل (پ.۳-۲۲) از پیوست شماره ۳ هزینه تعویض سالانه غشاها را برای فرآیند SWRO، BWRO و EDR در مطالعه انجام شده در مرجع [۷۷] نشان می‌دهد.

در مجموع می توان سهم هر یک از موارد فوق از کل هزینه های عملیاتی را در شکل های (۳-۱۲) و (۳-۱۳) مشاهده کرد [۸۴].



شکل ۳-۱۲- سهم هر هزینه از کل هزینه های عملیاتی در نمک زدایی آب دریا [۸۴]



شکل ۳-۱۳- سهم هر هزینه از کل هزینه های عملیاتی در نمک زدایی آب لب شور [۸۴]

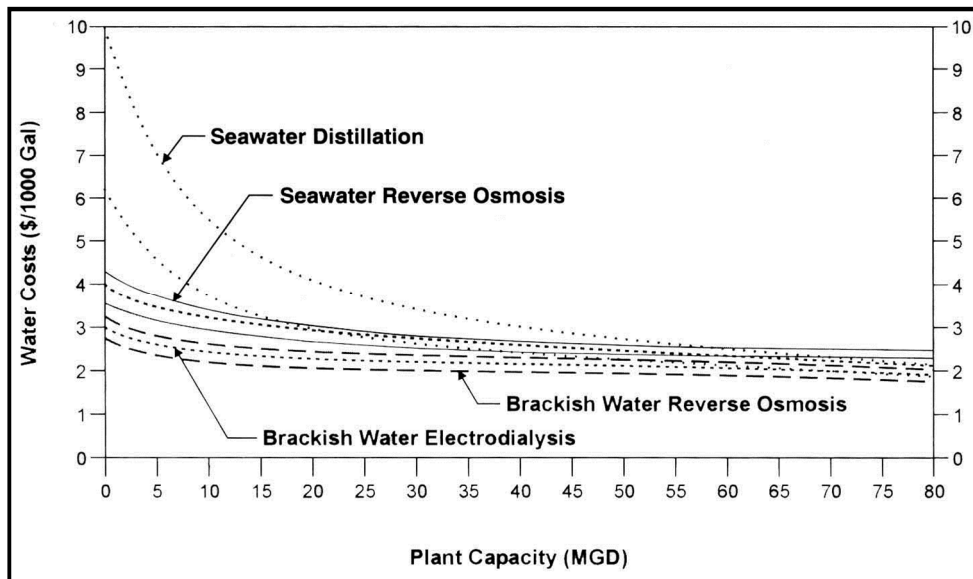
۳-۵-۲-۶- بیمه

هزینه بیمه ۵٪ درصد هزینه سرمایه گذاری در نظر گرفته می شود.

یکی از فاکتورهای مهم در محاسبه قیمت تمام شده آب، فاکتور واحد است. فاکتور واحد مدت زمانی است که واحد در طول یک سال در ظرفیت طراحی خود مشغول به کار است. در همه موارد فرض بر این است که واحد ۳۴۰ روز در سال با فاکتور واحد حدود ۹۳ درصد کار می کند. این امر زمان کافی برای تعمیرات پیش گیرانه و توقف های پیش بینی نشده را فراهم می سازد.

۳-۵-۳- قیمت آب

هزینه کلی تولید شامل هزینه های عملیات و نگهداری و هزینه استهلاک سرمایه است و بستگی به محل، فناوری نمک زدایی مورد استفاده، تجهیزات واحد، انرژی، نیروی انسانی، هزینه مواد شیمیایی، تولید آب سالیانه و فاکتورهای بسیار دیگری دارد. شکل (۳-۱۴) یک نمونه از تغییرات قیمت واحد تولید را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۴- هزینه آب تولیدی واحدهای نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور [۸۳]

۳-۶- روش‌های نوین و هیبرید در سامانه‌های نمک‌زدایی

انواع روش‌های نمک‌زدایی حرارتی و غشایی معمول در فصول گذشته معرفی شده‌اند. یکی از دغدغه‌های اصلی محققین در حوزه روش‌های نمک‌زدایی، کاهش قیمت تمام شده آب تولیدی و کاهش مصرف انرژی چنین سامانه‌هایی است؛ لذا روش‌های جدیدی برای نمک‌زدایی توسعه یافته و مورد بررسی قرار گرفته است. از این روش‌های جدید می‌توان به استفاده از ترکیبی از روش‌های معمول تجاری اشاره کرد که هیبرید نامیده می‌شود. اسمز معکوس- حرارتی و اسمز معکوس- اولترافیلتر از پرکاربردترین روش‌های هیبرید هستند. به علاوه روش‌های نوینی نظیر اسمز مستقیم، تبخیر نقطه شبنم، تقطیر غشایی و نمک‌زدایی مغناطیسی از این جمله هستند که در این فصل به اختصار معرفی می‌شوند.

۳-۶-۱- هیبرید فرایندهای نمک‌زدایی

فرآیند هیبرید، استفاده از ترکیب دو یا چند فرآیند جهت رسیدن به محصولی با کیفیت مطلوب و یا با قیمت مناسب‌تری نسبت به آنچه که از یک فرآیند به تنهایی به دست می‌آید، است.

از جمله طرح‌های هیبرید متداول می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد [۸۶ تا ۹۲]:

— هیبرید NF-SWRO: به کارگیری واحد NF به عنوان پیش تصفیه واحد SWRO جهت حذف بهتر سختی، سولفات و قلیائیت.

— هیبرید نانوفیلتر- اسمز معکوس- تقطیر غشایی: در این حالت از تقطیر غشایی برای بازیابی جریان تغلیظ شده NF و RO استفاده می‌شود.

— هیبرید UF-NF/RO: به کارگیری واحد UF به عنوان پیش تصفیه واحد NF یا RO جهت رفع مشکل گرفتگی

بیولوژیکی

- هیبرید MSF/MED-NF: به کارگیری واحد NF به عنوان پیش تصفیه واحدهای حرارتی جهت حذف سختی، سولفات و قلیائیت و امکان افزایش حداکثر دمای آب شور واحد نمک زدایی حرارتی و در نتیجه بالا رفتن محصول فرآیند و نسبت عملکرد آن.
- هیبرید MSF/MED-NF/RO: به کارگیری واحد NF به عنوان پیش تصفیه فرآیند اسمز معکوس - حرارتی به منظور نمک زدایی از آب دریا.
- هیبرید MSF/MED-RO: در این روش آب تغلیظ شده خروجی واحد RO به عنوان خوراک واحد حرارتی مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش آب کمتری از دریا برداشت می شود. با افزایش درصد بازیافت کلی، هزینه ها کاهش می یابد.

استفاده از هیبریدهای غشایی - حرارتی در شرایط استفاده از ارزش حرارتی گازهای اگزوز نیروگاه های حرارتی از جمله موارد متداول امروزی است و تحت عنوان تولید همزمان گرما و انرژی (CHP) شناخته می شود.

۳-۶-۲- روش های نوین نمک زدایی

۳-۶-۲-۱- اسمز مستقیم یا پیش رونده (FO)

اسمز پدیده طبیعی است که در آن حلال از ناحیه ای با فشار اسمزی پایین تر با عبور از یک غشای تراوای گزینش پذیر به ناحیه ای با فشار اسمزی بالاتر حرکت می کند. در نمک زدایی آب دریا به روش اسمز مستقیم از محلولی با فشار اسمزی بیش از آب دریا به عنوان محلول کشنده استفاده می شود که به طور مصنوعی و از انحلال یک نمک با قابلیت جداسازی آسان با آب به دست می آید. مصرف انرژی در این فرآیند عموماً مربوط به جداسازی ماده کشنده از محصول و بازچرخانی آن می شود. از مزایای این روش می توان به کاهش چشم گیر گرفتگی غشا اشاره کرد. از کاربردهای دیگر فرآیند اسمز مستقیم، تولید انرژی است. انرژی تولیدی از اختلاف فشار اسمزی منبع آب با محلول کشنده به دست می آید. تخمین زده شده است که میزان ۱۶۰۰ تریلیون کیلووات ساعت برق در سال از تمامی ظرفیت موجود در روی زمین از این روش قابل استحصال است [۹۳ تا ۹۵].

۳-۶-۲-۲- فرآیند رطوبت زنی / رطوبت زدایی^۱

اساس فرآیند رطوبت زنی، هوایی است که می تواند با حجم قابل توجهی از رطوبت مخلوط شود. میزان رطوبتی که می تواند با هوا مخلوط شود با افزایش دما افزایش می یابد. در حقیقت ۱ کیلوگرم هوای خشک می تواند ۵/۰ کیلوگرم رطوبت را در صورت افزایش دما از ۳۰ به ۸۰ درجه سانتی گراد با خود حمل کند. زمانی که جریان هوای گرم در مجاورت آب شور قرار دارد، در اثر فرآیند تبخیر مقادیر معینی از بخار آب وارد هوا می شود. در طرف دیگر در اثر مجاور کردن

هوای همراه با بخار آب با سطحی با دمای پایین‌تر بخار در اثر فرآیند میعان به آب تبدیل شده و آب مقطر تولید می‌شود. در روش رطوبت‌زنی پدیده میعان در مبدلی رخ می‌دهد که آب ورودی در آن با گرمای نهان تبخیر، پیش‌گرم می‌شود. به دلیل این که در این فرآیند امکان به کار بردن منابع گرمایی با دمای پایین وجود دارد، استفاده از انرژی گرمایی خورشیدی به عنوان منبع تامین گرما برای آن مورد توجه قرار گرفته است [۹۶ و ۹۷].

۳-۲-۶-۳- تبخیر نقطه شبنم

در فرایندهای رطوبت‌زنی/ رطوبت‌زدایی دو ستون انتقال حرارت به منظور انتقال حرارت از جریان آب مورد نیاز است. جریان آب به عنوان منبع داخلی تامین و مصرف حرارت کاربرد دارد. حضور دو ستون سبب کاهش بازدهی فرآیند می‌شود. فرآیند تبخیر نقطه شبنم یکی از روش‌های رطوبت‌زنی است که تنها به یک ستون نیاز دارد. این امر سبب افزایش بازدهی انرژی در این فرآیند می‌شود. ثبت اختراع این فناوری برای نمک‌زدایی و بازیابی آب دریا، آب‌های سطحی، آب‌های موجود در حوضچه‌های تبخیر، آب تغلیظ شده خروجی از واحدهای اسمز معکوس، پساب واحدهای صنایع نیمه‌هادی، خالص‌سازی آب‌های حاوی مواد آلی فرار مانند متیل ترشیری بوتیل اتر (MTBE)^۱ و تری‌کلرواتیلن است. هدف این فناوری تصفیه حجم‌های کم بوده و برای حجم‌های زیاد در حال توسعه است. منبع گرمایی خروجی این فرایند می‌تواند از منابع گرمایی با دمای کم (۵۵ درجه سانتی‌گراد) مانند نور خورشید، حرارت بازیافتی و یا منابع گرمایی با دمای بالا (۹۹ درجه سانتی‌گراد) مانند سوخت‌های فسیلی تامین شود [۹۸].

۳-۲-۶-۴- تقطیر غشایی (MD)^۲

تقطیر غشایی، همان فرایند جداسازی با غشا است که در فاز گاز انجام می‌شود. در مورد محلول‌های حاوی مواد غیرفرار تنها بخار آب از غشا عبور می‌کند. بنابراین فرآیند تقطیر غشایی این قابلیت را دارد که در نمک‌زدایی از آب شور و پساب مورد استفاده قرار گیرد. همچنین چگونگی این فرآیند باعث می‌شود که آب ورودی نیاز به پیش‌تصفیه کم‌تری داشته و فرآیند حساسیت کم‌تری نسبت به کیفیت آب ورودی دارد. در نتیجه از تقطیر غشایی می‌توان در تصفیه آب‌هایی که فرآیند اسمز معکوس قادر به خالص‌سازی آن‌ها نیست بهره جست. اما در مجموع ته‌نشینی ناخالصی‌ها در تقطیر غشایی نیز سبب گرفتگی غشا و توقف فرآیند تولید آب خالص می‌شود. علی‌رغم مزایایی چون جداسازی ۱۰۰ درصد یون‌ها، مولکول‌ها، مواد کلوییدی، باکتری‌ها و ویروس‌ها، فشار عملیاتی کم، فضای مورد نیاز کم‌تر در مقایسه با روش‌های سنتی نمک‌زدایی، هنوز مشکلات زیادی برای تجاری شدن این روش وجود دارد [۹۹].

1- Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE)

2- Membrane Distillation (MD)

۳-۶-۲-۵- نمک‌زدایی با میدان مغناطیسی

این فرآیند نوین نمک‌زدایی شامل کاربرد مفهوم الکترودیالیز و استفاده از غشاهای گزینش‌پذیر یون‌های باردار به منظور به وجود آوردن سل‌های مختلف جریان تغلیظ شده و رقیق شده در حضور میدان مغناطیسی است. در روش استفاده از میدان مغناطیسی مشکلات روش الکترودیالیز بر طرف می‌شود. این مشکلات شامل وجود حداقل دو سل در ابتدا و انتهای مدول است که از لحاظ بار الکتریکی در حالت تعادل نیست. این عدم تعادل سبب ایجاد واکنش‌های اکسیداسیون و احیا شده و در نهایت منجر به افزایش مصرف جریان الکتریکی می‌شود. البته این امر به دلیل خطی بودن سل‌ها و خطی منتقل شدن جریان الکتریسیته است. در نمک‌زدایی با استفاده از میدان مغناطیسی این خطی بودن با طراحی کروی شکل مدول و نوع میدان مغناطیسی از بین می‌رود [۱۰۰].

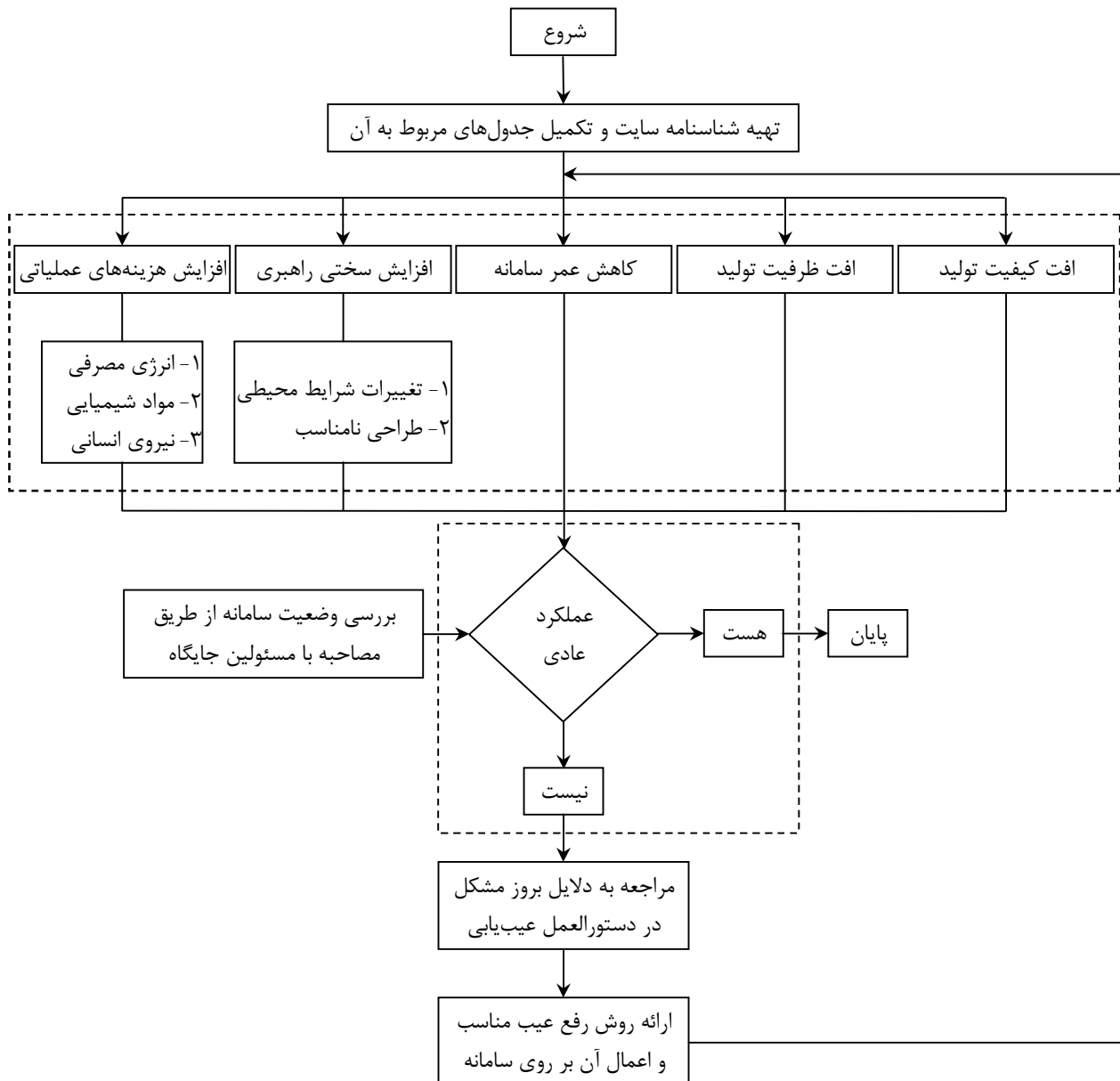
۳-۷- راهنمایی‌های کلیدی در راهبری و نگهداری از سامانه‌های نمک‌زدایی

به‌طور کلی سه روش برای تعمیر و نگهداری سامانه‌های نمک‌زدایی وجود دارد که عبارتند از:

- **تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه:** هدف از تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه جلوگیری از خرابی‌های غیرمنتظره است. این برنامه‌ریزی باید بر اساس دستورالعمل سازنده باشد. تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه شامل بازرسی روزانه تجهیزات، بازرسی ماهانه جهت روغن کاری قطعات، بازرسی ماهانه جهت بررسی ایجاد شکست و خستگی در قطعات و بررسی موتورهای مورد استفاده از لحاظ تامین گشتاور مورد نیاز، تمیز کردن پمپ و بررسی سالانه یاتاقان‌ها برای تعویض است.
- **تعمیر و نگهداری محافظتی:** بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از سامانه پایش، تجهیزات باید بررسی شوند و تفاوت آن با تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه در عدم وجود یک برنامه برای بررسی مداوم است. عواملی مانند بالاتر رفتن دما از حد مجاز در تجهیزات، نشت آب از تجهیزات، ایجاد سر و صدای بیش از حد و ارتعاش بیش از حد، نشان‌دهنده عملکرد بد و خرابی بوده و باید تعمیرات مورد لزوم انجام شود.
- **تعمیر و نگهداری اصلاحی:** با انجام تعمیرات پیش‌گیرانه و محافظتی، نیاز به تعمیر و نگهداری اصلاحی کم‌تر می‌شود.

در صورتی که خروجی سامانه به هر دلیلی مناسب و مطابق شرایط عملکردی تعیین شده از سوی سازنده نباشد، ممکن است در اثر وجود نقص بوده و باید با بررسی قسمت‌های مختلف، بر اساس دستورالعمل عیب‌یابی ارائه شده از سوی سازنده مشکل را برطرف نمود. این دستورالعمل‌ها در رفع عیب‌ها نقش کلیدی دارند. در شکل (۳-۱۳) مدلی جهت راهبری، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های نمک‌زدایی نشان داده شده است. بر اساس دستورالعمل سازنده یک سامانه نمک‌زدایی، شناسنامه عملکرد که منعکس‌کننده شرایط عملکرد عادی سامانه است تکمیل می‌شود.

همچنین جدولی با عنوان برگه ثبت داده‌ها تهیه شده و جهت ثبت کردن اطلاعات عملکردی سامانه با توجه به نمایش گرهای موضوعی سامانه در اختیار بهره‌بردار قرار داده می‌شود. وجود هرگونه اختلاف بین اطلاعات ثبت شده و یا نمایش داده شده از طریق سامانه پایش و شناسنامه عملکرد دستگاه، حاکی از وجود نقص در سامانه بوده که از طریق مدل نشان داده شده در شکل (۳-۱۵) قابل کشف و اصلاح خواهد بود.



شکل ۳-۱۵- مدل راهبری، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های نمک‌زدایی [۲]

بررسی‌های میدانی در کشور نشان می‌دهد که مشکلات پیش‌آمده برای سامانه‌های نمک‌زدایی در هر سه بخش طراحی، راهبری و نگهداری وجود دارد. نحوه راهبری و نگهداری در راهنماهای عیب‌یابی ارائه شده توسط سازندگان به تفصیل ارائه می‌گردد.

۳-۷-۱- کلیدهای طلایی پیشگیرانه

به حداقل رساندن امکان بروز مشکلات برای سامانه‌های نمک‌زدایی نیازمند دقت از ابتدای انتخاب محل و طراحی واحد است. به عبارتی راه پیشگیری از بروز مشکلات آینده، در نظر گرفتن تمهیدات مناسب و کارساز در مرحله طراحی است. در فاز طراحی می‌توان به ۸ بخش مختلف پرداخت که تاثیر جدی بر عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی دارند [۲ و ۱۰۱ و ۱۰۲].

۳-۷-۱-۱- مکان‌یابی مناسب برای محل آب‌گیر

انتخاب محل مناسب برای آب‌گیر از موارد بسیار مهم است که نه تنها در عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی موثر است بلکه بر کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی نیز به‌طور چشم‌گیری اثرگذار است.

در گام اول می‌توان این توصیه کلی را مد نظر قرار داد که تا حد امکان از آب‌گیری غیرمستقیم استفاده شود. گام بعدی، انتخاب محل آب‌گیر است که باید تا حد امکان عمیق بوده و از محل تخلیه پساب شور، کانال‌های فاضلاب، لاگون‌ها، واحدهای صنعتی یا شیمیایی دور باشد. در این مرحله توجه به مولفه‌های منطقه‌ای و موثر اقیانوس‌شناسی توصیه می‌شود.

انتخاب درست محل آب‌گیر حداقل دارای مزایایی چون کاهش مشکلات بیولوژیکی، حمله ماهی‌های ژله‌ای و دما، کاهش پیش‌تصفیه مورد نیاز و هزینه‌های مترتب بر آن و کاهش شستشوی شیمیایی و افزایش عمر دستگاه‌ها و تجهیزات است.

۳-۷-۱-۲- انجام مطالعات پایلوت قبل از طراحی واحدهای با ظرفیت‌های بالا

عدم بررسی تغییرات پارامترهای لازم برای طراحی و اکتفا به داده‌های محدود در ساخت واحدهای کوچک کاملاً قابل لمس است ولی در واحدهای بزرگ (به‌ویژه سامانه‌های غشایی) ساخت پایلوت و بررسی تغییرات کیفی، دمایی و سایر پارامترهای موثر بر طراحی بر روی آن اجتناب ناپذیر است. با توجه به حساسیت پایین سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی نسبت به تغییر پارامترها، اغلب با در نظر گرفتن ضریب اطمینان معقول در طراحی نیاز به پایلوت را مرتفع می‌سازند.

۳-۷-۱-۳- طراحی انعطاف‌پذیر و دقیق

علاوه بر نیاز به مطالعات پایلوت در واحدهای بزرگ، در طراحی تمام واحدها باید تغییرات سالانه و فصلی کیفیت آب، دما و پارامترهای موثر بر طراحی مورد توجه قرار گیرد. با این کار طراحی واحد بر اساس ملاحظات اقتصادی و بدترین شرایط انجام می‌گیرد و دستگاه به واسطه انعطاف‌پذیری در طراحی، با شرایط مختلف احتمالی سازگاری خواهد داشت و تغییرات غیرقابل پیش‌بینی، هزینه‌های سنگین عملیاتی را به همراه نخواهد داشت.

۳-۷-۱-۴- استفاده از سامانه‌های جدید پیش‌تصفیه

اطلاعات تجربی کارشناسان حل مشکلات سامانه‌های نمک‌زدایی نشان می‌دهد که به‌جز برای حذف روغن و چربی و هیدروکربن‌ها نباید از فیلترهای کربن فعال استفاده کرد چرا که این فیلترها خود منشأ رشد بیولوژیکی هستند. همچنین

به هیچ عنوان نباید از آماده به کار^۱ برای فیلترها در پیش تصفیه سنتی استفاده کرد و باید طراحی فیلترها به گونه‌ای باشد که در هنگام شستشوی معکوس یا موارد مشابه، سایر فیلترها توان فیلتراسیون کل آب ورودی را داشته باشند. پایین نگه داشتن SDI تا کم‌تر از ۳ به عنوان یکی از ملزومات سامانه‌های اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون است. این مهم در پیش تصفیه‌های سنتی، در بهترین شرایط، به سختی قابل استحصال است. در حالی که در پیش تصفیه‌های جدید مانند UF این پارامتر تا کم‌تر از ۱ نیز خواهد رسید.

علاوه بر این، با استفاده از روش‌های پیش تصفیه جدید، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی کاهش می‌یابد. کاهش فضا و زمان پیش تصفیه و کاهش آب مصرفی جهت شستشو نیز از دیگر مزایای این روش‌هاست.

۳-۷-۱-۵- استفاده از تجهیزات مناسب

اکتفا به پایین بودن هزینه ساخت بدون در نظر گرفتن کیفیت و استانداردها مشکلات جبران ناپذیری را به همراه خواهد داشت. علاوه بر این، عدم استفاده از تجهیزات مناسب می‌تواند راهبری را سخت و دشوار نماید. درحالی‌که به کارگیری تجهیزات مناسب، با کاهش زمان تعمیر و نگهداری و افزایش زمان تولید، از هزینه‌های عملیاتی می‌کاهد. همچنین این امر می‌تواند تعداد و زمان شستشوی شیمیایی را به حداقل برساند.

۳-۷-۱-۶- شستشوی شیمیایی به موقع

یکی از موارد کلیدی در نگهداری سامانه‌های نمک‌زدایی، شستشوی شیمیایی به موقع است. طراحی نامناسب بخش شستشوی شیمیایی و راهبری سخت آن و ناآگاهی از چگونگی یا زمان شستشوی شیمیایی از جمله علل اصلی کاهش عمر مفید سامانه است.

۳-۷-۱-۷- تزریق شوک مواد گندزدا

در فصول گرم سال رشد میکروارگانیسم‌ها، جلبک‌ها و مانند آن، افزایش می‌یابد. به همین دلیل، در بسیاری موارد از کارایی ماده گندزدای تزریقی کاسته می‌شود. در این شرایط برای جلوگیری از گرفتگی بیولوژیکی سامانه‌های غشایی بهتر است تمهیدات تزریق شوک با غلظت بالای گندزدا را از پیش در نظر گرفته باشند. علاوه بر این، در سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی به منظور جلوگیری از تبدیل کارتریج فیلترها به محل رشد بیولوژیکی توصیه می‌شود با طراحی صحیح محل تزریق ماده کلرزدا را به بعد از کارتریج فیلترها منتقل کنند.

۳-۷-۱-۸- لوله ها، اتصالات و مخازن

با وجود توان سامانه های نمک زدایی در حذف میکروارگانسیم ها و گندزدایی در ابتدای مسیر ورود آب به آن ها، مشکلات متعدد و گوناگونی در قسمت های بعد از کلرزدایی این سامانه ها اتفاق می افتد. بدین منظور باید به گونه ای طراحی انجام گیرد که این مشکلات بروز نکند یا به حداقل برسد.

اولین اقدام این است که نباید بین نقطه کلرزدایی تا واحد نمک زدایی فاصله زیادی باشد. خطوط لوله در این فاصله باید کوتاه ترین مسیر و البته کم ترین انحنای را داشته باشند.

تا حد امکان از تعبیه مخازن اضافه پرهیز شود. همچنین باید ظرفیت مخازن را با بالا بردن سطح اتوماسیون به حداقل رساند. بروز مشکل رشد بیولوژیکی حتی در مخزن تزریق کلر به عنوان ماده گندزدا نیز دیده شده است. علاوه بر این، باید حتما برای تمام مخازن سرریز، شیر تخلیه و امکان شستشو در نظر گرفته شود. در نظر گرفتن شیرهای تخلیه، کلیه تجهیزات و خطوط را شامل می شود.

در این بین باید طراحی به گونه ای صورت گیرد که تا حد امکان وابستگی بخش های مختلف به هم کم تر باشد تا از توقف واحد در زمان تعمیرات جلوگیری شود. یکی از این موارد در نظر گرفتن خط کنار گذر برای تجهیزات اصلی است.

۳-۷-۲- کلیدهای طلایی در فاز راهبری

در فاز راهبری می توان به ۴ بخش راه اندازی، راهبری، آموزش و پایش پرداخت که تضمینی برای سلامت سامانه های نمک زدایی خواهند بود [۲ و ۱۰۱ و ۱۰۲].

۳-۷-۲-۱- راه اندازی

اگرچه راه اندازی این سامانه ها بر اساس دستورالعمل های دقیق به راحتی امکان پذیر است ولی برخی سهل انگاری ها در این مسیر به وفور دیده می شود. یکی از این موارد که باید در سامانه های نمک زدایی غشایی توجه ویژه ای به آن شود، اطمینان از باز بودن مسیر آب محصول هنگام ورود آب خام به واحد است. بی توجهی به این مهم علاوه بر آسیب رساندن به غشاها، ترکیدگی خطوط لوله و حتی خراب شدن پمپ ها را هم به دنبال دارد.

نکته قابل توجه دیگر، هواگیری کامل دستگاه به عنوان گام های اولیه راه اندازی است. کوتاهی از این کار علاوه بر ایجاد مشکلاتی برای پمپ ها احتمال بروز ضربه قوچ را بالا می برد.

۳-۷-۲-۲- راهبری

اپراتورها باید دما، فشار، دبی ها، بازیافت، افت فشار و سایر پارامترها را در محدوده های تعیین شده و مجاز نگاه دارند و با تنظیم شرایط عملیاتی و بررسی های دقیق از عدم امکان رسوب نمک ها، کلوئیدها و تشکیل فیلم بیولوژیکی در داخل سامانه اطمینان حاصل کنند.

همچنین در صورت استفاده از فیلترهای کربنی یا شنی، باید به‌طور منظم و با روشی مناسب آن‌ها را شستشوی معکوس و احیا نمایند. در شستشوی معکوس باید از آب تمیز فیلترها به همراه تزریق شوک ماده گندزدا به جریان آب شستشو استفاده شود تا امکان تجمع میکروارگانیسم‌ها در این فیلترها به حداقل برسد. این موارد در فیلترهای کربنی به‌دلیل توان حذف ماده گندزدا در آن‌ها سخت‌گیرانه‌تر است.

علاوه بر این باید از شستن کارتریج فیلترها و استفاده مجدد از آن‌ها جدا خودداری کرد.

۳-۲-۷-۳- آموزش صحیح

تشخیص درست و اقدام مناسب در قبال مشکلات به وجود آمده و جلوگیری از بروز مشکلات بیش‌تر، از اجزای جدایی‌ناپذیر راهبری است. موارد ذکر شده در مورد راه‌اندازی و به‌ویژه راهبری بدون داشتن آگاهی کافی امکان‌پذیر نیست.

۳-۲-۷-۳- پایش

استفاده از برنامه پایش کامل، جامع و قابل اطمینان، علاوه بر حفظ تجهیزات در برابر مشکلات، در آگاه‌سازی بهره‌بردار نسبت به مشکلات، جهت تشخیص علت و انجام اقدامات لازم، کمک می‌کند. ترکیب پایش مناسب و آموزش صحیح و کافی اپراتورها تضمینی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و بالا رفتن طول عمر دستگاه است. برای توضیحات بیش‌تر در مورد تجهیزات اندازه‌گیری و پایش پارامترهای مورد نیاز در سیستم‌های نمک‌زدایی به پیوست (۶) مراجعه شود.

۳-۲-۷-۳- کلیدهای طلایی در فاز نگهداری

فاز نگهداری نیز در ۳ بخش به راهکارهایی برای جلوگیری از بروز مشکلات می‌پردازد چرا که همیشه پیش‌گیری بهتر از درمان است [۲ و ۱۰۱ و ۱۰۲].

۳-۲-۷-۳-۱- بازرسی‌ها

در بازرسی‌ها باید کلیه مخازن مواد شیمیایی و حتی مخازن مواد گندزدا و تمام مواد شیمیایی و خطوط تزریق آن‌ها مورد توجه قرار گیرد تا از عدم وجود آلودگی یا فعالیت بیولوژیکی غیرطبیعی اطمینان حاصل شود.

همچنین هنگام باز کردن دریچه فیلتر شنی یا کارتریج فیلترها باید نشانه‌های گل یا لعاب چسبناک، ذرات جلبک، بوی نامطبوع، رنگ‌های غیرطبیعی، نواحی مسدود شده و مشابه آن مورد بررسی قرار گیرد.

موارد مندرج در جدول (۳-۶) باید به صورت دوره‌ای مورد بازرسی قرار گیرد.

جدول ۳-۶- موارد بازرسی دوره‌ای

وضعیت			پارامتر
بالا	عادی	پایین	
			فشار ورودی
			فشار عملیاتی
			شدت جریان آب ورودی

ادامه جدول ۳-۶- موارد بازرسی دوره ای

وضعیت			پارامتر
بالا	عادی	پایین	
			شدت جریان پساب
			شدت جریان تولید
			دمای آب ورودی
			دمای پساب
			pH آب ورودی
			pH محصول
			ORP آب ورودی
			کیفیت آب ورودی
			کیفیت محصول

۳-۷-۳- توقف ها

توقف در واحدهای حرارتی مشکل چندانی ایجاد نمی کند ولی در واحدهای غشایی به معنی ایجاد شرایط مناسب برای رشد میکروارگانیسم ها و رسوب گذاری است. به همین دلیل باید از ماده ضد زیست^۱ مناسب برای حفاظت از غشاها در توقف طولانی تر از ۲۴ ساعت استفاده شود. گندزدایی مناسب بخش پیش تصفیه در توقف های طولانی تر از چند ساعت نیز ضروری است. همچنین باید قبل از برگرداندن فیلترها به سرویس آن ها را کاملاً گندزدایی کرده و شست. همچنین برای جلوگیری از تشکیل رسوب باید سامانه را با آب تمیز و بدون املاح یا با املاح کم شست.

۳-۷-۳- نگهداری

حساسیت سامانه های حرارتی نسبت به سامانه های غشایی کم تر است و بیش تر در مورد حفظ و نگهداری از آن در برابر خوردگی است؛ در سامانه های غشایی، در طول عمر دستگاه، چه در هنگام کار و چه در زمان های توقف، باید همیشه غشاها را خیس نگه داشت. در غیر این صورت غشاها خراب می شوند.

علاوه بر این، در طول مسیر، از ورود آب تا ذخیره آن، باید از تابش نور آفتاب به آب ممانعت کرد تا رشد بیولوژیک تسریع نشود. سرپوشیده نگه داشتن مخازن و حوضچه آب خام و حتی بستن دریچه آدمرو مخازن به ویژه در زمان خارج از سرویس بودن سامانه جهت جلوگیری از تشکیل موضعی جلبک نیز از ملاحظات نگهداری است.

۳-۸- مقایسه تطبیقی و انتخاب فناوری نمک زدایی مناسب

بررسی و مقایسه معیارهای موثر در انتخاب فناوری نمک زدایی مناسب بر پایه پارامترهای متعددی صورت می پذیرد. مهم ترین معیارهای مقایسه ای در جدول (۳-۷) نشان داده شده است.

جدول ۳-۷- مهم‌ترین معیارها در مقایسه و انتخاب فناوری نمک‌زدایی مناسب

۱- کیفیت آب تغذیه		
۲- ظرفیت تولید		
۳- کیفیت آب تولیدی		
۴- در دسترس بودن فناوری		
۵- هزینه‌ها	۱-۵- هزینه سرمایه‌گذاری	۱-۱-۵- آب‌گیر
		۲-۱-۵- پیش‌تصفیه
		۳-۱-۵- واحد نمک‌زدایی
	۲-۵- هزینه تعمیر و نگهداری	۱-۲-۵- انرژی
		۲-۲-۵- نیروی انسانی
		۳-۲-۵- مواد شیمیایی
		۴-۲-۵- تعمیرات و تعویض قطعات
	۶- شرایط عملیاتی	۱-۶- درصد باز یافت
۲-۶- ضریب بار واحد		
۳-۶- فشار عملیاتی		
۴-۶- دمای عملیاتی		
۷- موقعیت	۱-۷- تأثیرات زیست‌محیطی	
	۲-۷- دوری و نزدیکی	
	۳-۷- فضای مورد نیاز	
۸- خصوصیات فناوری	۱-۸- سادگی راهبری	
	۲-۸- توان حذف آلودگی‌ها	
	۳-۸- افزایش ظرفیت	
	۴-۸- قابلیت حمل	

سه پارامتر اول در قالب مرحله اول از فرایند تصمیم‌گیری می‌توانند محدوده فناوری‌ها و پارامترهای مرتبط با آن‌ها را محدود سازند. اما رسیدن به بهترین فناوری متناسب با بیش از ۲۰ پارامتر نیاز به استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره دارد و تنها از این مسیر می‌توان بدون چشم‌پوشی غیرمنطقی از پارامترهای موثر بر انتخاب، به فناوری بهینه واحد دست یافت.

از بین پارامترهای متعدد ذکر شده، پارامتر هزینه‌ها در فصل (۳) گزارش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. جدول‌های (۳-۸) تا (۳-۱۷) نیز دربردارنده اطلاعات تکمیلی مورد نیاز جهت انتخاب سامانه نمک‌زدایی مناسب است.

جدول ۳-۸- کاربرد فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی و حرارتی بر اساس منابع آب [۱۰۲]

منابع آب خام	فناوری‌های غشایی	فناوری‌های حرارتی
آب دریا	در مقیاس‌های بزرگ، واحد SWRO با وجود یک منبع الکتریکی ارزان با فرآیندهای حرارتی رقابت می‌کند. فقط چند واحد EDR در خاورمیانه برای نمک‌زدایی آب دریا وجود دارد. در کل واحدهای EDR برای نمک‌زدایی آب دریا اقتصادی نیستند.	فرآیندهای حرارتی معمول‌ترین روش نمک‌زدایی هستند که برای ظرفیت‌های زیاد و یا جایی که انرژی مازاد حرارتی وجود دارد استفاده می‌شوند.
آب لب‌شور	واحدهای BWRO، اغلب در این موارد توصیه می‌شوند. واحدهای EDR برای منابع با TDS کم‌تر از ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و رسوب‌دهی بالا بسیار موثر هستند.	فرآیندهای حرارتی فقط زمانی که به ظرفیت تولید بالا نیاز داشته و یا مواردی که انرژی مازاد حرارتی موجود باشد، استفاده می‌شود.
آب شور چاه‌ها	اغلب اسمز معکوس استفاده می‌شود. واحدهای EDR برای منابع با TDS کم‌تر از ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و رسوب‌دهی بالا بسیار موثر هستند.	

جدول ۳-۹- کاربرد فناوری های نمک زدایی غشایی و حرارتی بر اساس پارامترهای کیفی آب [۱۰۲]

کیفیت آب تغذیه	فناوری های غشایی	فناوری های حرارتی
شوری	هزینه سرمایه گذاری، تعمیرات و نگهداری نسبت مستقیم با TDS آب تغذیه دارد.	هزینه سرمایه گذاری، تعمیرات و نگهداری مستقل از TDS آب تغذیه است.
کدورت	در صورت وجود سطح بالای کدورت در آب خام ورودی، پیش تصفیه مورد نیاز است.	معمولا مهم نیست.
دما	دمای بالاتر شار آب عبوری را افزایش داده و میزان TDS در آب تولیدی نیز افزایش می یابد.	آب با دمای بالا برای فرایندهای MED مورد توجه است.
میزان مواد آلی	در صورت وجود سطح بالای مواد آلی در آب خام ورودی پیش تصفیه مورد نیاز است.	معمولا مهم نیست.
pH	کنترل ضعیف pH معمولا عمر غشا را کاهش می دهد.	کنترل ضعیف pH منجر به خوردگی تجهیزات می شود.
کلر آزاد	کلرزدایی به عنوان یک مرحله از پیش تصفیه مورد نیاز است.	معمولا تاثیری بر فرایند ندارد، ولی غلظت بالای کلر آزاد موجب خوردگی می شود.
نوسان بالای کیفیت آب تغذیه	به راحتی توسط سامانه های اسمز معکوس قابل تحمل نیست. غشاها برای نوع آب خاصی طراحی می شوند و اگر میزان شوری آب از حد طراحی بیش تر شود بر عمر غشا تاثیر می گذارد. تغییرات در میزان سیلیس، آهن و منگنز، شدت گرفتگی ها و هزینه های عملیاتی را افزایش می دهد.	نوسان بالای کیفیت آب تغذیه به خوبی تحمل می شود.

جدول ۳-۱۰- محدوده کاربرد فرایندهای نمک زدایی غشایی و حرارتی بر اساس شوری آب تغذیه [۸۲]

TDS آب تغذیه	RO	ED/EDR	MSF	MED	VC
۵۰۰-۱۰۰۰ ppm	+	+	-	-	-
۱۰۰۰-۳۰۰۰ ppm	+	+	-	-	-
۳۰۰۰-۸۰۰۰ ppm	+	+	-	-	-
۸۰۰۰-۵۰۰۰۰ ppm	+	-	+	+	+

+ : عموما به کار برده می شود، - : مناسب نیست.

جدول ۳-۱۱- محدوده ظرفیت تولید فرایندهای مختلف نمک زدایی [۸۲]

ظرفیت تولیدی (مترمکعب بر روز)	RO	ED/EDR	MSF	MED	VC
۱-۱۰۰	+	+	-	-	+
۱۰۰-۲۵۰	+	+	-	-	+
۲۵۰-۲۵۰۰	+	+	-	-	O
بیش تر از ۲۵۰۰	+	+	+	+	-

+ : عموما به کار برده می شود، O : توانایی دارد، - : توانایی تولید ندارد.

جدول ۳-۱۲- حداقل دبی آب تولیدی توصیه شده برای فرایندهای مختلف نمک زدایی [۱۰۳]

نوع فرآیند	SWRO	BWRO	MVC	MED	MSF	EDR
حداقل دبی تولیدی (مترمکعب بر روز)	۰/۵	<۰/۵	۲۰	۱۲۰	۵۰۰۰	۹۰

جدول ۳-۱۳- کیفیت آب تولیدی در فرآیندهای مختلف نمک‌زدایی [۴۹]

نوع فرآیند	SWRO	BWRO	MVC ,MSF ,MED	EDR
کیفیت آب تولیدی (ppm)	<۵۰۰	<۲۰۰	<۱۰	۵۰۰ تا ۱۰۰

جدول ۳-۱۴- میزان مصرف انرژی به تفکیک نوع آن در فرآیندهای نمک‌زدایی [۱۰۲]

انرژی مصرفی (کیلووات ساعت بر مترمکعب)	فرآیندهای غشایی	فرآیندهای حرارتی
انرژی الکتریکی	۱ تا ۲/۵، BWRO ۴ تا ۷، SWRO ۱، EDR با TDS ورودی ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر	۱/۵ تا ۳ (فرآیندهای حرارتی) ۸ تا ۱۴ (MVC)
انرژی حرارتی	کاربردی ندارد	۶ تا ۲۱ (فرآیندهای حرارتی) کاربردی ندارد (MVC)
کل انرژی مصرفی	۱ تا ۲/۵، BWRO ۴ تا ۷، SWRO ۱، EDR با TDS ورودی ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر	۷/۵ تا ۲۴ (فرآیندهای حرارتی) ۸ تا ۱۴ (MVC)

جدول ۳-۱۵- درصد بازیافت فرآیندهای مختلف نمک‌زدایی آب دریا [۸۴]

فرآیند	درصد بازیافت
MSF	۱۰ تا ۳۰
MED	۲۰ تا ۳۵
MVC	۴۵
SWRO	۴۵ تا ۵۰
EDR	-

جدول ۳-۱۶- درصد بازیافت فرآیندهای مختلف نمک‌زدایی آب لب‌شور [۸۴]

فرآیند	درصد بازیافت
BWRO	۶۵ تا ۸۵
EDR	۶۵ تا ۹۰

جدول ۳-۱۷- میزان حذف آلودگی‌ها در فرآیندهای مختلف نمک‌زدایی [۸۲]

آلودگی‌ها	فرآیندهای حرارتی (%)	اسمز معکوس (%)	الکترودیالیز (%)
مواد معدنی	>۹۹.۹	۹۹-۹۰ ^a	۹۰-۵۰ ^b
حشره‌کش‌ها و ترکیبات مواد آلی	۹۰-۵۰ ^c	۹۹-۹۰	<۵
مواد آلی فرار	۹۰-۵۰ ^c	۵۰-۵ ^{c,d}	<۵
مواد آلی کلردار	۹۰-۵۰ ^c	۵۰-۵ ^d	<۵
ذرات میکروبیولوژیکی	>۹۹	>۹۹	<۵
ذرات رادیولوژیکی	>۹۹	۹۹-۹۰	۹۰-۵۰

a= غشای اسمز معکوس برای آب دریا، توانایی حذف بیش‌تر از ۹۹ درصد نمک‌ها مثل کلرید سدیم را دارد.

b= الکترودیالیز توانایی حذف ذرات بدون بار مثل سیلیس را ندارد.

c= حذف کامل به سامانه‌های پیش‌تصفیه و تصفیه تکمیلی نیاز دارد.

d= حذف به نوع غشا و ماده‌ی آلی بستگی دارد.

۳-۹- جمع بندی

- همان طور که ذکر شد، سه پارامتر کیفیت آب تغذیه، ظرفیت تولید و کیفیت آب تولیدی، پارامترهای تاثیرگذار در مرحله اول از فرایند تصمیم گیری هستند و می توانند محدوده فناوری ها و پارامترهای مرتبط با آن ها را محدود سازند. به عنوان مثال، استفاده از سامانه های نمک زدایی آب لب شور برای آب دریا ممکن نیست لذا بررسی سامانه نانوفیلتر یا الکترو دیالیز معکوس شونده به عنوان سامانه نمک زدایی آب دریا منتفی خواهد بود و از چرخه فناوری های مورد بررسی حذف می گردد. مثال دیگر خارج شدن سامانه های حرارتی MED و MSF در ظرفیت های کوچک از گردونه رقابت است. جدول های (۳-۸) و (۳-۱۰) تا (۳-۱۳) به گزینش فناوری های متناسب با این سه پارامتر کمک می کند. در نهایت این سه پارامتر برخی از فناوری ها را حذف می کنند تا تصمیم گیری از بین سایر فناوری های باقی مانده صورت پذیرد.
- بررسی سایر پارامترها با توجه به شرایط منطقه ای، نیازها و محدودیت های کارفرما و مواردی از این دست بستگی دارد. در فرایند تصمیم گیری صنعتی، معمولاً پارامتر اقتصادی بودن، سهم قابل توجهی را دارد و سایر پارامترها را تحت تاثیر خود قرار می دهد. این مساله منجر به بی توجهی به سایر پارامترها و گاه بروز مشکلات اساسی می شود. برای مقایسه پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب، بدون حذف غیرمنطقی یا فراموش کردن و در نظر نگرفتن آن ها نیاز به استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره می باشد.
- در روش های تصمیم گیری چند معیاره ابتدا خود پارامترها نسبت به هم وزن دهی می شوند تا اهمیت هر یک نسبت به سایر پارامترها مشخص گردد. به عنوان مثال در این مرحله سهم هزینه ها از کل مشخص می گردد و به وضوح دیده می شود که در بسیاری از موارد نه تنها سهم ۱۰۰ درصدی ندارد بلکه پرداختن مطلق به آن به منزله، در نظر نگرفتن سهم زیادی از عوامل تاثیرگذار است.
- در مرحله بعد امتیاز هر فناوری در هر پارامتر مشخص می گردد. این وزن دهی و امتیازبندی باید توسط متخصصین صورت پذیرد تا سلیقه ای و یا ناشی از ناآگاهی و ناآشنایی با فناوری ها یا شرایط محیطی و پروژه نباشد. نتیجه این اقدامات دستیابی به یک فناوری به عنوان فناوری بهینه نمک زدایی متناسب با تمام شرایط و پیش فرض های حاکم بر منطقه و پروژه است. قاعدتاً روش مورد استفاده در تصمیم گیری نیز شرایطی را در حل مساله حاکم می سازد که باید مورد توجه قرار گیرد.
- در این روش هیچ یک از پارامترها به طور ناخواسته یا تحت تاثیر سایر پارامترها از قلم نمی افتد و نتیجه آن منحصر به یک فرآیند، مستدل و قابل اثبات خواهد بود. جدول های (۳-۹) و (۳-۱۴) تا (۳-۱۷) به امتیازدهی پارامترها کمک می کند.

فصل ۴

مدیریت پساب

۴-۱- پساب سامانه‌های نمک‌زدایی

پساب ناشی از سامانه‌های نمک‌زدایی به علت حجم و غلظت بالا به مشکل عمده‌ای برای این فناوری‌ها تبدیل شده است. این مشکل تا حدی است که قبل از راه‌اندازی این سامانه‌ها، حتماً باید برای نحوه دفع پساب آن‌ها تدابیری اندیشیده شود. در بهترین حالت عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی، حدود ۱۵ درصد از آب ورودی به صورت پساب دفع می‌شود. این پساب‌ها غالباً TDS بالا ولی بار میکروبی به مراتب کمی دارند. در این حالت نیز انتخاب روش صحیح و اقتصادی برای دفع پساب هر سامانه به مشخصات آب ورودی، درصد بازیافت و کاربرد پساب تصفیه شده بستگی دارد [۱۰۴ و ۱۰۵].

به دلیل حجم و غلظت بالای پساب سامانه‌های نمک‌زدایی و وجود افزودنی‌های مختلف، دفع بدون مطالعه آن عواقب زیان‌بار زیست‌محیطی را به همراه دارد و در کنار مقررات سخت‌گیرانه زیست‌محیطی سازمان‌های مختلف داخلی و بین‌المللی که با جریمه‌های سنگین همراه است، گاهی جبران خسارت وارد شده نیز حتی با صرف هزینه‌های بالا امکان‌پذیر نیست. بنابراین لزوم مطالعه کمی و کیفی پساب و رساندن آن به معیارهای استاندارد امری اجتناب‌ناپذیر است.

مشخصات پساب دفع شده از سامانه‌های نمک‌زدایی به نوع منبع آب و فرایند تصفیه به کار رفته و بازدهی آن بستگی دارد. این پساب‌ها دارای مشخصه‌هایی از جمله pH، دانسیته و سمی بودن هستند که انتخاب روش مناسب برای دفع را محدود می‌نمایند. در حال حاضر روش‌های زیادی برای دفع این پساب‌ها معرفی شده و استفاده می‌شوند. استفاده برای آبیاری، شستشو یا منبع آب آتش‌نشانی بهترین انتخاب‌ها برای روش‌های دفع پساب سامانه‌های نمک‌زدایی است. از دفع مستقیم یا غیرمستقیم به آب‌های سطحی و آزاد، تزریق به چاه‌های عمیق و تصفیه به کمک روش‌های مختلف تصفیه آب و فاضلاب نیز برای این کار استفاده می‌شود. البته وقتی از روش دفع در چاه‌های عمیق استفاده می‌شود نیاز کم‌تری به حل مشکلات این پساب است.

پساب‌های سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی، دارای آلودگی حرارتی نیز هستند. دمای بالای آب دفعی علاوه بر اتلاف حرارتی، مخاطرات زیست‌محیطی نیز به همراه دارد [۳۷].

بازده و طول عمر سامانه‌های نمک‌زدایی به‌ویژه سامانه‌های غشایی به پیش‌تصفیه آب خام بستگی دارد. با توجه به این که هدف اصلی در فرایندهای نمک‌زدایی بهینه‌سازی تولید، دفع نمک، بازیافت محصول و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری است؛ یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های پساب دفعی متأثر از پیش‌تصفیه، وجود ترکیباتی همچون ضد رسوب است [۱۰۶].

غلظت پساب سامانه‌های نمک‌زدایی معمولاً ۲ تا ۱۰ برابر (بسته به میزان بازیافت سامانه نمک‌زدایی) بیش‌تر از آب خام می‌باشد. اگر پیش‌تصفیه شیمیایی مانند مواد منعقدکننده، لخته‌ساز، پلیمرها و مواد گندزدا استفاده شود، مقدار زیادی از این مواد نیز در پساب سامانه‌های نمک‌زدایی موجود می‌باشد.

پساب سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا معمولاً دارای TDS در حدود ۶۵۰۰۰ تا ۸۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است درحالی‌که برای آب لب‌شور بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است.

میزان ذرات جامد معلق و BOD در پساب به دلیل حذف در سیستم های پیش تصفیه، معمولاً پایین تر از ۵ میلی گرم بر لیتر است. با این حال اگر پساب ناشی از پیش تصفیه نیز به پساب نهایی اضافه و تخلیه گردد، میزان این پارامترها و کدورت افزایش پیدا می کند [۳۷].

در جدول (پ. ۲-۷) از پیوست شماره (۲) استاندارد زیست محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب آورده شده است.

۲-۴- مدیریت پساب ها

مدیریت پساب به دو بخش عمده دفع و بازیافت تقسیم می شود. یکی از فاکتورهای تعیین کننده برای ساخت سامانه های نمک زدایی، وجود مکان با شرایط مناسب برای تخلیه یا بازیافت پساب حاصل از این تجهیزات در آن است.

۲-۴-۱- دفع پساب

روش های متداول دفع پساب بدون تصفیه ثانویه را می توان در چند روش زیر خلاصه کرد [۳۷]:

- تخلیه به آب های سطحی
- تخلیه به فاضلاب بهداشتی
- تخلیه به چاه های جذبی
- تخلیه به حوضچه های تبخیری
- استفاده برای آبیاری
- دفن در زمین

۲-۴-۱-۱- تخلیه به آب های سطحی و آزاد

در صورتی که مقررات حفاظت از محیط زیست و مدیریت جامع منابع آب اجازه دهد، یکی از متداول ترین روش های دفع پساب سامانه های نمک زدایی، تخلیه به آب های سطحی اعم از آب های فصلی یا دائمی، دریاچه های طبیعی یا مصنوعی، تالاب ها، دریاها و اقیانوس ها، رودخانه ها و مانند آن است. دفع به آب های سطحی می تواند به طور مستقیم یا غیرمستقیم صورت گیرد. کیفیت پساب دفعی، آب سطحی که پساب به آن دفع می شود و مهم تر از آن ها محدودیت های زیست محیطی و برآوردهای اقتصادی، نوع و محل دفع را تعیین می کنند.

عواملی چون حجم، غلظت و کیفیت پساب، در دسترس بودن آب های سطحی و تحمل تغییرات دبی و غلظت در آن، خصوصیات فیزیکی و زمین شناسی محل تخلیه نسبت به محل تولید پساب، هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی، محدودیت های زیست محیطی و مقبولیت عمومی در تخلیه پساب به آب های سطحی دخیل هستند.

یکی از اقداماتی که باید مورد توجه قرار گیرد، بررسی نحوه پخش پساب در محیط پذیرنده است. هدف اصلی از بررسی پخش پساب، تعیین اندازه منطقه اولیه رقیق سازی (ZID) مورد نیاز برای پخش جریان شوری پساب جهت رساندن TDS به سطح TDS آب سطحی و تعیین غلظت TDS در سطح، سطح میانگین و در کف در منطقه اولیه رقیق سازی است. سپس این سه مقدار به دست آمده با آستانه تحمل شوری ارگانسیم‌هایی که در سطح (اکثر پلانکتون‌ها)، ستون و کف آب (کفزی) زندگی می‌کنند مقایسه می‌شود تا اثر غلظت شوری پساب بر روی این ارگانسیم‌ها مشخص شود. ZID و مناطق مرزی آن با استفاده از مدل سازی‌های هیدرولیکی تعیین می‌شود. مدل انتخابی برای تعیین مرزهای تخلیه پساب سامانه نمک‌زدایی باید از جریان پخش پساب تحت شرایط مختلف بهره‌برداری و ترکیب‌های متفاوت دیفیوزرها استفاده کند.

برای حفظ اکوسیستم منطقه باید به آستانه تحمل شوری آب‌زیان توجه کرد. این تغییرات به صورت فصلی و بیش‌تر بر اثر تبخیر سطحی، بارندگی‌ها، سیلاب‌ها و تخلیه‌های سطحی پساب ایجاد می‌شود. محدوده طبیعی تغییرات شوری آب سطحی بر اساس اطلاعاتی که از ایستگاه‌های نمونه‌گیری که در مجاورت منطقه تخلیه قرار گرفته‌اند، به دست می‌آید. معمولاً محدوده طبیعی نوسان شوری برای آب‌زیان دریایی به میزان $\pm 10\%$ از میانگین غلظت شوری سالیانه می‌باشد. این میزان ۱۰ درصد بیش‌تر از غلظت شوری سالیانه، یک مقدار محافظه‌کارانه برای آستانه تحمل آب‌زیان دریایی است. عملاً حد تحمل اکثر ارگانسیم‌های دریایی بیش‌تر از این مقدار می‌باشد [۳۷].

نکات کلیدی در رابطه با انتخاب مناسب‌ترین مکان برای خروجی سامانه‌های نمک‌زدایی به دریا عبارتند از:

- یافتن منطقه‌ای که زندگی نمونه‌های جاندار را به مخاطره نیندازد.
- شناسایی منطقه‌ای که جریان به اندازه‌ای باشد که اجازه پخش سریع پساب‌ها را بدهد.
- پرهیز از انتخاب مناطقی که محل عبور و مرور کشتی‌ها باشد.
- یافتن یک مکان تخلیه در آب‌های سطحی به‌طوری‌که به خط ساحلی نزدیک باشد، تا هزینه‌های ساخت خروجی کم‌تر شود.

نکات مهم و ملاحظات محیط زیستی مربوط به خروجی آب‌های سطحی عبارتند از:

- شوری کم‌تر از آستانه تحمل ارگانسیم‌های منطقه تخلیه
- غلظت یون‌های فلزات سنگین و رادیواکتیو کم‌تر از سطوح خطرناک
- تخلیه مواد مغذی برای افزایش غلظت آن‌ها و در نتیجه تغییر در گیاهان و جانوران آبی در منطقه تخلیه
- سازگاری میان ترکیبات پساب سامانه‌های نمک‌زدایی و آب‌های منطقه تخلیه
- دمای بالا رفته به دلیل فرآیندهای حرارتی نمک‌زدایی
- اختلال در زندگی گیاهان و جانوران دریایی کف به علت تاسیس تجهیزات خروجی

نکات مربوط به امکان‌پذیری تخلیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی به آب‌های سطحی تحت هر کدام از روش‌های

توضیح داده شده در بالا شامل موارد ذیل می‌شود:

- بررسی پخش و بازگردش جریان به آب گیر تصفیه خانه
- تعیین آستانه تحمل ارگانسیم های منطقه تخلیه در برابر شوری
- بررسی امکان سمی بودن پساب تخلیه شده
- بررسی اینکه آیا کیفیت آب تخلیه شده، استانداردهای کیفی آب را در محل تخلیه برآورده می کند یا نه [۳۷]
- در تخلیه غیرمستقیم، از فرایندهای پیشرفته و یا ساده تصفیه همچون تانک های ته نشینی، کربن فعال یا فیلترهای مختلف استفاده می شود تا کیفیت آب برای دفع به آب های سطحی بهبود یابد و به حد مجاز تعریف شده برسد. همچنین می توان از همین پساب برای شستشوی معکوس و تمیز کردن تجهیزات پیش تصفیه استفاده نمود. البته در این حالت نیز بر میزان ناخالصی های نهایی افزوده می شود ولی از تولید پساب مضاعف پیش گیری می گردد [۱۰۷].
- در تخلیه پساب به اقیانوس معمولاً از یکی از روش های زیر استفاده می کنند:
- تخلیه مستقیم به دریا از طریق خروجی جدید
- تخلیه از خروجی یک تصفیه خانه فاضلاب موجود
- تخلیه از دهانه خروجی یک نیروگاه برق

۴-۲-۱-۱-۱- تخلیه مستقیم به دریا از طریق خروجی جدید

- دو راه عملی برای شتاب بخشیدن به عمل اختلاط پساب با آب دریا عبارتند از:
- تکیه به ظرفیت اختلاط طبیعی حاصل از منطقه جزر و مد
 - تخلیه پساب در منطقه جزر و مد و نصب دیفیوزرهایی در انتهای خروجی برای بهبود اختلاط
- اگرچه منطقه جزر و مد مقدار زیادی انرژی تلاطم داشته و عمل اختلاط را بسیار بهتر از دیفیوزرهای خروجی پساب انجام می دهد، با این حال این منطقه ظرفیت محدودی برای انتقال پساب تخلیه شده به دریای باز دارد. اگر مقدار شوری پساب تخلیه شده بیش تر از ظرفیت انتقال شوری منطقه جزر و مد باشد، شوری اضافه در منطقه جزر و مدی، انباشته شده و نهایتاً منجر به افزایش شوری فراتر از آستانه تحمل آبزیان منطقه می شود.
- برای سامانه های نمک زدایی کوچک (به طور مثال ظرفیت نمک زدایی با ۴۰۰ مترمکعب بر روز یا کم تر)، خروجی پساب معمولاً به صورت لوله هایی که بیش تر از ۱۰۰ متر در ناحیه جزر و مدی دریا پیشرفته است، ساخته می شود. این تخلیه ها بر ظرفیت تلاطم منطقه که موجب اختلاط و پخش سریع پساب و در نتیجه تبدیل شوری پساب به شرایط محیط می شود، استوار است.

برای خروجی پساب سامانه های نمک زدایی با ظرفیت بالا معمولاً لوله هایی تعبیه می شود که بسیار فراتر از منطقه جزر و مدی در دریا پیش رفته و معمولاً انتهای آن ها با دیفیوزرهایی تجهیز می گردد. این کار به منظور ایجاد اختلاط لازم برای جلوگیری از انباشته شدن مواد موجود در پساب در مجاورت محل تخلیه صورت می گیرد. طول، اندازه و ترکیب

خروجی پساب و دیفیوزرها برای سامانه‌های نمک‌زدایی با ظرفیت‌های بالا بر اساس مدل‌سازی‌های هیدرودینامیکی برای شرایط خاص محل تخلیه تعیین می‌شود [۳۷].

۴-۲-۱-۱-۲-۴- تخلیه از طریق خروجی موجود یک تصفیه‌خانه فاضلاب

ویژگی کلیدی این روش تخلیه ترکیبی، شتاب بخشیدن به عمل اختلاط می‌باشد. به‌طوری‌که پساب با شوری بالا با پساب با شوری پایین حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب، مخلوط شده و سپس پساب رقیق‌تر به دریا تخلیه می‌شود. وجود تصفیه‌خانه فاضلاب در مجاورت سامانه‌های نمک‌زدایی، ظرفیت خروجی پساب آن، هزینه‌های استفاده مشترک از خروجی پساب تصفیه‌خانه و پتانسیل سمی بودن پساب ترکیبی که ممکن است ناشی از عدم تعامل یونی حاصل از دو پساب باشد، از نکات کلیدی است که در استفاده از این خروجی‌های ترکیبی باید مدنظر قرار گیرد. آزمایش‌هایی که بر روی ارگانسیم‌های دریایی در منطقه تخلیه پساب ترکیبی انجام گرفته نشان می‌دهد که این پساب ترکیبی می‌تواند اثرات سمی بر روی تخم‌های خارپوست‌های دریایی داشته باشد. این یافته‌ها به وضوح مشخص می‌کند که ترکیب حاصل از این دو پساب ممکن است اثرات منفی بر روی تعدادی از نمونه‌های دریایی داشته باشد که در هنگام بررسی مزیت‌ها و معایب استفاده از خروجی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، باید در نظر گرفته شود. ارگانسیم‌های آبی که پیشنهاد می‌شود برای تایید تخلیه پساب ترکیبی، مورد آزمایش قرار گیرند خارپوستان می‌باشند که شامل نمونه‌هایی از ستاره‌های دریایی می‌شوند [۳۷].

۴-۲-۱-۱-۳-۴- تخلیه از خروجی پساب موجود در یک نیروگاه حرارتی (هم محل)

ویژگی کلیدی تخلیه هم محل، اتصال مستقیم آب‌گیر سامانه‌های نمک‌زدایی و تجهیزات تخلیه پساب به خروجی پساب یک نیروگاه حرارتی در مجاورت ناحیه ساحلی است. این رویکرد باعث می‌شود که از آب خنک‌کننده نیروگاه هم به‌عنوان منبع آبی برای سامانه‌های نمک‌زدایی و هم به‌عنوان آب ترکیبی برای کاهش دادن شوری پساب سامانه‌های نمک‌زدایی که به دریا تخلیه می‌شود استفاده کرد. ترکیب پساب حاصل از سامانه نمک‌زدایی با آب خنک‌کننده خروجی از نیروگاه‌ها که شوری کمی دارند منجر به کاهش غلظت کل شوری حاصل از ترکیب این دو پساب به دریا می‌شود؛ به‌طوری‌که این غلظت در حد غلظت مجاز دفع پساب به دریا خواهد بود و نیاز به تاسیسات گران‌قیمت و پیچیده دیفیوزرها را کاهش می‌دهد.

باید به کیفیت آب خنک‌کننده خروجی نیروگاه نظارت داشت زیرا این آب برای منبع آب سامانه‌های نمک‌زدایی استفاده می‌شود.

در این ترکیب هم محل، خروجی از نیروگاه، هم به‌عنوان آب‌گیر و هم به‌عنوان خروجی سامانه نمک‌زدایی عمل می‌کند. این ترکیب ۴ مزیت کلیدی دارد:

- از ساخت جداگانه آب گیر برای سامانه نمک زدایی و خروجی آن پرهیز شده بنابراین هزینه کل نمک زدایی کاهش می یابد.
- شوری پساب حاصل از نمک زداها به خاطر اختلاط و رقیق شدن با آب خروجی از نیروگاه کاهش می یابد.
- دمای آب خروجی از نیروگاه به علت ترکیب با پساب حاصل از تاسیسات نمک زداها کاهش می یابد که این تا حدود زیادی از اثرات نامطلوب آلودگی حرارتی این پساب ها بر دریا می کاهد.
- ترکیب پساب خروجی از سامانه نمک زدایی با آب خروجی از نیروگاه باعث پخش سریع تر و بهتر شوری و دمای آب ترکیبی می شود [۳۷].

۴-۲-۱- تخلیه پساب به فاضلاب بهداشتی

تخلیه به سامانه جمع آوری فاضلاب مجاور، در صورتی که پساب مورد نظر قابلیت استفاده ی مجدد را نداشته باشد، یکی از روش های متداول در تخلیه پساب سامانه های نمک زدایی از آب های لب شور است. با این حال این روش دفع پساب فقط برای سامانه های نمک زدایی با ظرفیت بسیار پایین در تصفیه خانه های فاضلاب با ظرفیت بالا به کار می رود؛ زیرا این پساب ها با TDS بالا بر روی عملکرد تصفیه خانه تاثیر منفی می گذارند.

۴-۲-۱-۳- تخلیه به چاه های جذبی

این روش دفع شامل تزریق پساب حاصل از نمک زدایی به درون یک چاه عمیق در زیر لایه آب های زیرزمینی است. در این روش چاه های عمیق برای دفع پساب شامل یک مجموعه چاه مشاهده ای می باشند که برای اطمینان از عدم نشت پساب ها به سفره های آبی مجاور حفر می شوند.

چاه های عمیق جذبی برای پساب معمولا برای تمام ظرفیت های نمک زدا های آب لب شور استفاده می شود در حالیکه چاه های تخلیه ساحلی فقط برای سامانه های نمک زدایی آب دریا با ظرفیت متوسط استفاده می شود.

استفاده از روش تزریق به اعماق زمین به موقعیت زیست محیطی منطقه، میزان ناخالصی پساب و امکانات موجود بستگی دارد. البته محلی که تزریق انجام می شود باید دارای ساختار مناسب زمین شناسی از لحاظ تخلخل و قابلیت پذیرش پساب و نیز ظرفیت مناسب تزریق تا مدت زمان مورد انتظار باشد. همچنین بین محل تزریق و سفره های زیرزمینی آب یک لایه ناتراوا وجود داشته باشد تا این پساب ها به سادگی به آب های زیرزمینی نفوذ نکرده و موجب آلودگی آن نشود.

این روش برای مناطقی که دارای فعالیت زمین لرزه بالا هستند و یا در کنار گسل های زمین شناسی که امکان دارد از لحاظ هیدرولیکی باعث ارتباط پساب با سفره آب زیرزمینی شود، مناسب نیست. همچنین باید توجه ویژه ای به شکاف های لایه های زیرزمینی شود. با افزایش حجم تزریق، سطح ایستایی آب در محل تزریق بیش تر می شود و ممکن است راهی برای رسیدن به سفره آب های زیرزمینی و سطح زمین پیدا کند.

عمق این چاه‌ها در عمل کم‌تر از ۲۵۰۰ متر است؛ البته باید عمق تزریق بیش از عمق سفره‌های زیرزمینی آب باشد و امکان نفوذ به آن لایه‌ها را نداشته باشند [۱۰۵ و ۱۰۸ و ۱۰۹].

۴-۱-۲-۴- حوضچه‌های تبخیر

این روش براساس تبخیر طبیعی پساب تخلیه شده در حوضچه‌های خطی و یا دیگر انواع حوضچه‌ها توسط تابش خورشید است. در استفاده از حوضچه‌های تبخیر باید نکات و ملاحظات زیر را در نظر گرفت. در این روش نمک‌های باقی‌مانده در زمین دفن یا جمع‌آوری شده و بازیافت می‌گردند.

به‌طور کلی برتری‌های این سامانه، استفاده از انرژی طبیعی خورشید و امکان تصفیه طبیعی پساب است. البته باید توجه داشت که این سامانه باید در آب و هوای مساعد به کار برده شود. محل‌هایی برای اجرای این سامانه مناسب است که دارای زمین کافی و ارزان باشد. نشست مواد زاید مایع از این حوضچه‌ها مهم‌ترین تهدید برای آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود.

همچنین انتشار ترکیبات فرار از سطح این حوضچه‌ها به‌ویژه هنگام استفاده از افشاندن پساب به‌وسیله تبخیرکننده‌ها در اتمسفر برای کاهش سطح مورد نیاز، می‌تواند باعث آلودگی هوای منطقه شود. برای جلوگیری از آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی و سطحی توسط این حوضچه‌ها استفاده از پوشش غیرقابل نفوذ در کف و جداره مخزن و همچنین استفاده از سامانه کشف، جمع‌آوری و حذف شیرابه در زیر لایه و پوشش غیرقابل نفوذ، ضروری است. دقت نظر در اندازه حوضچه‌ها امکان ذخیره‌سازی پساب ورودی و نوسانات شدید سطح پساب را در سال‌های پر باران فراهم می‌کند [۱۰۸ تا ۱۱۰].

۴-۱-۲-۵- استفاده برای کشاورزی

در شرایط کمبود آب، یکی از راهکارهای مفید دفع پساب سامانه‌های نمک‌زدایی آب لب‌شور، که کیفیت قابل قبولی (کم‌تر از ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) داشته باشند، استفاده از پساب برای مقاصد کشاورزی و کشت گیاهان با تحمل شوری زیاد است. در این روش احتمال ایجاد اثرات منفی بر خاک و آب‌های زیرزمینی وجود دارد و در صورت استفاده باید کاملاً کنترل شده صورت گیرد.

استفاده از این پساب‌ها در کشاورزی مزایای مختلفی به دنبال دارد. از جمله جایگزین مناسبی برای آب‌های با کیفیت خوب است که برای مقاصد کشاورزی استفاده می‌شوند؛ همچنین مواد غذایی موجود در پساب نیاز گیاهان به کود را کاهش خواهد داد؛ علاوه بر این، در بیش‌تر شهرهای بزرگ و صنعتی، پساب‌های شهری و صنعتی به‌عنوان یک منبع ارزان قیمت و مطمئن (امکان دسترسی دائم) شناخته شده‌اند. لیکن در استفاده از این پساب‌ها در کشاورزی باید به وجود برخی آلاینده‌ها (مخصوصاً عناصر سنگین) و تبعات مخرب آن‌ها بر محیط زیست توجه کرد و تمهیدات و تدابیر مدیریتی مناسب اندیشید [۱۱۱].

۴-۲-۱-۵-۱- آبپاری مستقیم

این روش نیز یکی از روش های قابل استفاده در شرایط اضطرار است. در این روش از پساب سامانه نمک زدایی آب لب شور برای آبپاری محصولاتی استفاده می شود که نسبت به شوری تحمل بالایی دارند. این روش محدودیت های زیادی مانند عدم نیاز دائمی گیاهان به آبپاری، محدودیت گونه های گیاهی شورزی و احتمال اثرات منفی بر خاک و آب های زیرزمینی داشته و فقط برای نمک زدهای با ظرفیت پایین کاربرد دارد. استفاده از این روش به ویژه اگر پساب حاوی آرسنیک، نیتрат و یا فلزات سنگین باشد، احتیاج به توجه ویژه دارد [۱۱۱].

۴-۲-۱-۵-۲- آبپاری بارانی

پساب سامانه های نمک زدایی آب لب شور را می توان برای آبپاری بارانی فضای سبز استفاده نمود. برای این کار کفپست پساب به محل مورد نظر پمپاژ شود و مورد استفاده قرار گیرد. بدین ترتیب آب جذب گیاهان شده و از امکان نفوذ مستقیم آن به لایه های زیرزمینی جلوگیری می شود و ناخالصی های موجود در پساب جذب لایه های سطحی خاک شده و راهی برای نفوذ به آب های زیرزمینی یا ورود به آب های سطحی و آزاد پیدا نمی کنند. مخاطرات زیست محیطی برای میزان ناخالصی و آلودگی آب مورد استفاده برای آبپاری بارانی کم تر از محدودیت های زیست محیطی اعمال شده برای ورود آن به آب های سطحی و آزاد است. استفاده از این روش به شرایط زیست محیطی منطقه و امکانات موجود بستگی دارد [۱۰۷].

۴-۲-۱-۶- دفن در زمین

یکی از متداول ترین روش ها برای دفع دوغاب ها و پسماندها، دفن در زمین است. انتخاب محل دفن نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. چگونگی و نحوه دفن به روش تصفیه تکمیلی پساب بستگی دارد. معمولاً به مایعات رقیق اجازه دفن داده نمی شود. در اکثر موارد به دوغابی اجازه دفن داده می شود که حداقل ۵۰ درصد وزنی آن را جامدات تشکیل داده باشند. همچنین برای دفن معمولاً باید مکان های خاص دفن طراحی شوند که هزینه های دفن را افزایش می دهد. دفن باید در محلی انجام گیرد که احتمال انتشار ناخالصی ها تحت تاثیر باران و آب های سطحی قرار نگیرد و به آب های زیرزمینی نفوذ نکند.

از دفن برای پساب های غلیظ نهایی سامانه های نمک زدایی حرارتی و غشایی استفاده می شود که معمولاً گزینه قابل رقابت در مقابل کریستال سازی است. البته اکثر اوقات پسماند نهایی کریستال سازی نیز از روش دفن در زمین دفع می شود [۱۰۵ و ۱۰۸].

۴-۲-۲- تصفیه پساب

روش های تصفیه پساب را می توان به ۴ دسته عمده روش های شیمیایی، نمک زدایی مجدد، روش های بدون پساب و روش های نوین تقسیم کرد.

۴-۲-۲-۱- روش‌های شیمیایی

۴-۲-۲-۱-۱- لخته‌سازی و فیلتراسیون

بازيافت پساب‌های با غلظت بالای سامانه‌های نمک‌زدایی از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست ولی دفع مستقیم آن‌ها به محیط زیست نیز مشکل‌ساز است. یکی از روش‌های متداول کاهش این ناخالصی‌ها، استفاده از منعقدکننده‌ها و عملیات فیلتراسیون است.

انعقادسازی به کمک تزریق منعقدکننده‌های مختلف به پساب انجام می‌شود. متداول‌ترین منعقدکننده‌ها برای پساب سامانه‌های نمک‌زدایی می‌تواند آلوم‌ها یا ترکیبات آهن‌دار باشد. البته وجود ضدرسوب‌ها در جریان پساب، ممکن است کارایی منعقدکننده را نیز تحت تاثیر قرار دهد. کارایی و بازدهی انعقاد بستگی به نوع و غلظت ناخالصی‌ها و منعقدکننده دارد.

برای عملیات فیلتراسیون می‌توان از فیلتر شنی یا میکروفیلترها استفاده کرد. حتی می‌توان از فرایند اولترافیلتراسیون استفاده کرد و پسابی به مراتب کم‌تر و غلیظ‌تر از پساب سامانه‌های نمک‌زدایی تولید نمود. در این صورت پساب باقی‌مانده معمولاً به واحد کریستال‌سازی ارسال می‌شود یا به فاضلاب شهری ریخته می‌شود. آب تولیدی نیز می‌تواند به آب‌های سطحی دفع یا برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار گیرد [۱۰۵ و ۱۰۸].

۴-۲-۲-۱-۲- اکسیداسیون و رسوب‌دهی

ساده‌ترین روش حذف و جداسازی ذرات محلول و یون‌ها رسوب‌دهی است. اما معمولاً در پساب سامانه‌های نمک‌زدایی ضدرسوب وجود دارد که امکان کشش رسوب را کاهش می‌دهد. برای غلبه بر اثر این مواد می‌توان از روش‌های اکسیداسیون نظیر ازناسیون استفاده کرد. ازناسیون یک روش متداول در تصفیه آب و گندزدایی است و روشی در دسترس و صنعتی محسوب می‌شود. به کمک ازناسیون علاوه بر حذف اثر ضدرسوب‌ها، ساختار موادی که برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها اضافه شده‌اند نیز شکسته می‌شود تا از مشکلات زیست‌محیطی انتشار این ترکیبات در آب‌های آزاد نیز جلوگیری شود [۱۱۲].

با توجه به این که پساب سامانه‌های نمک‌زدایی در بسیاری از موارد شامل یون کلر است، پتانسیل تولید هیپوکلریت را نیز دارد؛ لذا می‌توان به جای تزریق سایر اکسیدکننده‌ها مانند ازن از الکتروکلریناسیون نیز استفاده کرد [۱۱۳]. پس از این که پساب تحت ازناسیون قرار گرفت و اثر ضدرسوب‌ها و ضدزیست‌ها از بین رفت، جریان تحت عملیات رسوب‌دهی قرار می‌گیرد. در این مرحله به کمک افزودن عوامل رسوب‌گذاری مانند آهک و تغییرات pH، ناخالصی‌ها و مواد محلول سختی‌زا را می‌توان از آب جدا نمود. در مرحله نهایی نیز به کمک میکروفیلتراسیون و یا اولترافیلتراسیون، جریان نهایی از رسوب‌ها زدوده می‌شود و برای کاربردهای دیگر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [۱۱۲].

در صورتی که میزان فلزات سنگین در پساب دفعی سامانه نمک‌زدایی قابل توجه باشد، می‌توان از فرایند فنتون استفاده نمود. در این فرایند یون‌های فلزات سنگین ابتدا جذب می‌شود و سپس به کمک تغییرات pH یا استفاده از لخته‌سازها قابل رسوب و جداسازی است. فرایند فنتون از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته محسوب می‌شود و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که آلاینده‌های موجود در پساب به کمک روش‌های معمولی تصفیه قادر به حذف نباشند. البته با توجه به ظهور برخی فناوری‌های جدید و این که هزینه هیدروژن پراکسید نسبت به ازن کم‌تر است، این فرایند در شرایط مشابه از نظر فنی و اقتصادی با فرایندهای مختلف پیشرفته اکسیداسیون قابل رقابت است [۱۱۳ و ۱۱۴].

۴-۲-۲-۱- تالاب‌های تصفیه

سامانه‌های طبیعی تصفیه (NTSS)^۱ از جمله تالاب‌ها و نی‌زارها می‌تواند یک انتخاب مناسب برای تصفیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی باشد. نی‌زارها زمین‌هایی مرطوب در بخشی از سال یا کل سال هستند.

این سامانه‌ها که به‌طور طبیعی قابلیت تصفیه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پساب‌ها را دارند، ممکن است به‌طور طبیعی وجود داشته باشند یا مصنوعی ایجاد شوند. عمر این نوع سامانه‌ها کم‌تر از ۳۰ سال است و به‌عنوان یک راهکار برای تصفیه پساب‌ها اعم از پساب سامانه‌های نمک‌زدایی شناخته شده است. البته پساب‌های مختلفی برای تخلیه به این نوع مکان‌ها انتقال داده می‌شود. از مزایای استفاده از سامانه‌های طبیعی تصفیه برای تصفیه پساب می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد [۱۰۸]:

- تصفیه انواع پساب‌های سامانه‌های نمک‌زدایی به‌دلیل فعالیت زیستی بالاتر نسبت به سایر اکوسیستم‌ها
- توان تبدیل بسیاری از آلاینده‌های مرسوم و فاضلاب متعارف به محصولات بی‌ضرر یا مواد مغذی حیاتی مورد نیاز برای فعالیت‌های زیستی
- استفاده از انرژی‌های طبیعی محیطی مانند نورخورشید، باد، خاک، گیاهان و حیوانات در تصفیه عدم نیاز به مواد شیمیایی
- به حداقل رسیدن مقدار انرژی مورد نیاز حاصل از سوخت‌های فسیلی
- کم‌هزینه بودن سامانه‌های طبیعی تصفیه
- حذف ۲۰ تا ۱۰۰ درصد فلزات (سرب، آلومینیم، کادمیوم و روی) بسته به نوع فلز و نوع نی‌زار
- عملکردی مشابه با سفره‌های آب‌گیری و کمک به تغذیه آب‌های زیرزمینی
- کمک به محافظت از زمین‌های پایین دست و مجاور در برابر آسیب‌های سیل

- نگه داشتن خاک، جذب انرژی موج و کاهش سرعت جریان‌ها یا رودخانه‌ها و محافظت از خطوط ساحلی در برابر موج‌های ناشی از تندبادهای دریایی و جریان‌های استوایی
- وابستگی گونه‌های متنوعی از گیاهان، حشرات، دوزیستان، خزندگان، پرندگان، ماهیان و پستانداران برای به‌دست آوردن غذا، زیست‌گاه یا پناه‌گاه موقت به این تالاب‌ها
- نقش حیاتی در تنظیم حرکت آب در آب‌گیرها و چرخه جهانی آب با نگه داشتن آب بارش و آب سطحی و آزاد کردن تدریجی آن به منابع آب سطحی، زیرزمینی و جو
- منبع محصولات تجاری متنوع شامل ماهی، سخت‌پوست، چوب، برنج غیراهلی و پوست بسیاری از پستانداران و خزندگان
- استفاده‌های پزشکی از گیاهان و خاک‌ها
- نقش مهم در چرخه‌های جهانی کربن، نیتروژن و گوگرد مانند ذخیره کربن به‌وسیله خاک و خاک آلی
- حذف کامل BOD

۴-۲-۲-۲-۲-۴ سامانه‌های نمک‌زدایی خورشیدی

یکی از منابع پایان‌ناپذیر و سالم انرژی، انرژی خورشیدی است. در ساده‌ترین سامانه‌های نمک‌زدایی که با انرژی خورشید کار می‌کنند همانند حوضچه‌های تبخیری، آب در معرض حرارت خورشید قرار می‌گیرد تا با جذب حرارت تبخیر شود. بخار آب در تله تعبیه شده در بالاسر جریان پساب به دام می‌افتد و مجدداً میعان می‌یابد و در مسیر جدیدی جمع‌آوری می‌گردد.

از سامانه‌های نمک‌زدایی خورشیدی علاوه بر نمک‌زدایی آب خام، برای استحصال آب از پساب سامانه‌های نمک‌زدایی متداول نیز استفاده می‌شود. مهم‌ترین دغدغه استفاده از این سامانه‌ها سرعت کم تولید آب است. البته پایین بودن هزینه‌های جاری آن‌ها می‌تواند آن‌ها را به گزینه مناسب برای تصفیه و بازیافت مقداری از پساب دفعی تبدیل کند. استفاده از این سامانه‌ها همچون حوضچه‌های تبخیری وابستگی زیادی به شرایط جوی دارد [۱۱۵ و ۱۱۶].

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده که تا حدی مشابه تالاب‌های تصفیه است، استحصال بخار آب تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد و استفاده از آن در سامانه‌های نمک‌زدایی خاص مورد استفاده برای تصفیه پساب‌های با شوری بسیار بالا است.

۴-۲-۲-۲-۳ فرایند اسمز معکوس با بازدهی بالا (HERO)^۱

در این فرایند در مقایسه با اسمز معکوس متداول از ترکیب چند روش پیش‌تصفیه مختلف در pH‌های بالا استفاده می‌شود. این فرایند از سه مرحله اصلی حذف سختی و ذرات معلق، حذف دی‌اکسید کربن و اسمز معکوس با pH بالا تشکیل شده است.

1- High Efficiency Reverse Osmosis (HERO)

مراحل پیش تصفیه HERO بستگی به خصوصیات شیمیایی آب خام ورودی، شرایط محیطی منطقه و امکانات موجود دارد اما همواره از اسمز معکوس در pH بالا استفاده می شود. کارکرد در pH های بالا این مزیت را دارد که احتمال رسوب سیلیکا بر سطح غشا را به حداقل ممکن می رساند. برای از بین بردن سختی آب از روش متداول سختی گیری آهک سودا و تبادل یونی کاتیونی اسید ضعیف استفاده می شود.

فناوری HERO نسل جدیدی از سامانه های اسمز معکوس محسوب می شود که هزینه های مربوط به غشا و گرفتگی را تا حد بسیار بالایی کاهش می دهد ولی هزینه عملیاتی و مواد مصرفی شیمیایی بالاتری دارد [۱۰۵ و ۱۰۸].

۴-۲-۲-۲-۴- فرایند اسمز معکوس هیبریدی (SPARRO)^۱

فرایند SPARRO همان فرایند اسمز معکوس است با این تفاوت که پساب خروجی از اسمز معکوس مجدداً به جریان ورودی به آن اضافه می شود تا غلظت بالایی از ناخالصی ها را فراهم نماید. در این روش افزودن ترکیباتی همچون انیدروس کلسیم دی سولفات به منظور تولید دانه های کریستال و جذب ترکیبات مستعد گرفتگی، ضروری است. در سامانه چرخشی پساب خروجی از اسمز معکوس، جداساز سیکلونی هم تعبیه شده تا دانه های تشکیل شده بزرگ را از سامانه جدا نماید. این فناوری اولین بار در سال ۲۰۰۶ در مقیاس نیمه صنعتی به کار گرفته شده است ولی هنوز برای استفاده در مقیاس بزرگ صنعتی دغدغه هایی دارد [۹۵].

۴-۲-۲-۲-۵- بسترهای تبادل یونی

تبادل یون، یک واکنش برگشت پذیر است که در آن یون های یک محلول با یون های دارای بار الکتریکی مشابه موجود روی رزین تعویض می شوند. مهم ترین ترکیباتی که در پساب سامانه های نمک زدایی موجود است، همین یون های با حلالیت بالا در آب هستند. وقتی که رزین یون های قابل تبادل خود را از دست داد، نیاز به احیا دارد. یون های دو و سه ظرفیتی بیش از یون یک ظرفیتی توسط رزین جذب می شوند. ضریب گزینش یون های با ظرفیت یکسان نیز با وزن مولکولی و معکوس اندازه یون متناسب است. استفاده از بسترهای تعویض یونی برای پساب اسمز معکوس که دارای ترکیبات مغذی از جمله فسفات ها باشد توصیه شده است [۱۱۳].

۴-۲-۲-۲-۶- الکترو دیالیز

یکی از راه های نمک زدایی مجدد پساب ها الکترو دیالیز است. مبنای تصفیه فرایند در الکترو دیالیز بر حسب بار یونی ترکیبات محلول در آب است.

فرایند الکترودیالیز می‌تواند جریان آب شوری را که میزان ذرات جامد آن تا ۳۰ هزار میلی‌گرم بر لیتر باشد، تصفیه نماید. همچنین از الکترودیالیز می‌توان برای حذف باقی‌مانده ناخالصی عبوری از نانوفیلتراسیون استفاده نمود. ترکیباتی مثل نیترات و فلوراید که می‌توانند از نانوفیلترها عبور کنند، توان عبور از الکترودیالیز را ندارند [۱۱۳ و ۱۱۷]. این روش معمولاً در تصفیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی آب لب‌شور یا پساب‌های با شوری کمتر از آب دریا به کار می‌رود [۱۰۲].

۴-۲-۳- روش‌های بدون پساب (ZLD)^۱

روش‌های بدون پساب روش‌هایی را شامل می‌شوند که در آن آب ورودی کامل تصفیه شده و پسماند نهایی خشک است و به روش‌های مختلف می‌توان آن را دفع نمود یا مورد بازیافت قرار داد. روش بدون پساب تصفیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی می‌تواند فرایندی غشایی یا حرارتی یا ترکیبی از این دو باشد. البته باید اشاره کرد که برخی از این روش‌ها هزینه زیادی دارند و تنها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که روش عملی دیگری برای تولید آب نباشد و یا ارزش پسماند نهایی از لحاظ اقتصادی فرایند را توجیه کند [۳۷].

یک روش مناسب برای بازیافت آب از پساب سامانه‌های نمک‌زدایی، استفاده از تبخیرکننده‌ها است. متداول‌ترین تبخیرکننده که برای پساب استفاده می‌شود تبخیرکننده ترکیبی لوله عمودی با سامانه تراکم بخار است که معمولاً یک واحد کریستال‌سازی نیز به همراه دارد. این روش در نهایت پسابی نخواهد داشت و تنها پسماندی از نمک‌ها بر جا می‌ماند. برای دستیابی به روش‌های نمک‌زدایی بدون پساب در تصفیه پساب، باید روش نمک‌زدایی مورد استفاده حداکثر بازدهی ممکن را داشته باشد تا حجم پساب تولیدی حداقل ممکن شود. روش‌های ترکیبی برای بازدهی بالاتر و صرفه‌های اقتصادی ترجیح داده می‌شوند [۱۱۸].

۴-۲-۳-۱- تغلیظ‌کننده‌ها^۲

تغلیظ‌کننده‌ها در واقع نوعی از تبخیرکننده‌های حرارتی تک یا چند مرحله‌ای هستند. تغلیظ‌کننده‌ها با هدف تولید و بازیافت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حدود ۹۰ تا ۹۸ درصد آب خام ورودی، تولید آب خالص دارند. بدین ترتیب پسماند نهایی حجم بسیار کمی خواهد داشت و با روش‌های متداول دفع پسماند قابل دفع خواهد بود. البته در بسیاری موارد از پسماند تولیدی می‌توان برای بازیافت و استخراج ترکیبات مختلف استفاده نمود [۳۷].

1- Zero-Liquid Discharge (ZLD)

2- Brine Concentrator and Recovery System

۴-۲-۲-۲-۲-۲ سامانه تغلیظ و بازیافت پساب (BCRS)^۱

سامانه BCRS بر پایه رطوبت زنی و رطوبت زدایی کار می کند. منبع تامین حرارت در این فرایند می تواند خورشید باشد. تنها انرژی مصرفی این سامانه، انرژی الکتریکی مورد نیاز برای جریان هوا بر سر حوضچه است. این طرح در مقیاس نیمه صنعتی استفاده شده و نتایج نویدبخش بوده است؛ اما هنوز برای صنعتی شدن نیاز به کار و طراحی های بیش تری دارد. از این طرح برای هر میزان غلظتی از ناخالصی پساب سامانه های نمک زدایی می توان استفاده نمود و حساسیت به pH ندارد. این فرایند یک سامانه مصنوعی تبخیر است که به آب و هوای منطقه وابسته نیست. با این حال سرعت تولید آب پایینی دارد و هزینه اولیه تاسیسات آن نیز بالاست و فضای زیادی اشغال می کند [۱۱۹].

۴-۳-۲-۲-۲-۳ کریستال سازها

کریستال سازها برای استخراج نمک های با خلالت بالا از آب مورد استفاده قرار می گیرند. در این روش پساب سامانه نمک زدایی در ستون های عمودی جریان می یابد و آب آن به صورت بخار جدا می شود. کیفیت آب تولیدی از این روش بسیار بالاست. معمولاً باقی مانده نهایی در کریستال سازها، فیلم نمکی است که تنها ۱۵ درصد آب دارد. این روش بیش تر برای زمانی که محدودیت شدید در دفع پساب یا آب خام موجود وجود دارد یا زمانی که پساب حاوی مواد با ارزش افزوده بالا هستند به کار می رود.

این روش از روش های پرهزینه محسوب می شود؛ به ویژه هزینه مصرف انرژی در آن چند برابر هزینه سرمایه گذاری اولیه و تجهیزات مورد نیاز است [۳۷].

۴-۳-۲-۲-۲-۴ فرایند SAL-PROC

فرایند SAL-PROC متشکل از چند فرایند متوالی تبخیر و تقطیر فیزیکی و شیمیایی است که برای پساب های سامانه های نمک زدایی و دوغاب های مختلف می تواند مورد استفاده قرار گیرد و توسط موسسه Geo-Processors ایالات متحده طراحی شده است. در یک طرح ساده از این سامانه حرارتی - مکانیکی، در نهایت هم آب خالص تولید می شود و هم ناخالصی های موجود در پساب که غالباً نمک های معدنی ارزشمند هستند به صورت دوغاب غلیظ به دست می آیند. طراحی می تواند به نحوی باشد که محصول تولیدی به شکل بلور باشد. هرچند گاهی این فرایند جزء روش های ZLD نام برده می شود ولی در واقع با توجه به تعریف ها می توان آن را جزء روش های نمک زدایی بدون پسماند برشمرد [۹۵].

۴-۲-۳-۵- روش‌های نمک‌زدایی بدون پسماند (ZDD)^۱

در روش ZDD دفع پساب سامانه‌های نمک‌زدایی شبیه روش ZLD است با این تفاوت که در ZDD هدف نهایی از نمک‌زدایی، جداسازی نمک از آب و تولید محصولات با ارزش اقتصادی است. مطرح‌ترین روش ZDD، ترکیب فرایند اسمز معکوس با الکترودیالیز است؛ بدین ترتیب که پساب فرایند اسمز معکوس وارد واحد الکترودیالیز می‌شود تا یون‌های تک‌ظرفیتی آن همچون سدیم کلراید و پتاسیم برماید از آن جدا شوند. ناخالصی آب تولیدی الکترودیالیز مشابه جریان ورودی به اسمز معکوس است و می‌تواند به آن برگشت داده شود. ممکن است بخشی از تولید فرایند الکترودیالیز برای استخراج ترکیباتی مانند منیزیم ارسال شود. پساب فرایند الکترودیالیز نیز که غنی از یون‌های تک‌ظرفیتی به‌ویژه سدیم کلراید با خلوص بالاست می‌تواند برای استحصال نمک به واحد خشک‌کن و یا کریستال‌سازی ارسال شود.

ZDD نسبت به ZLD برای تولید آب از آب دریا هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی کم‌تری دارد و از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر است. همچنین می‌توان بدون دغدغه‌های زیست‌محیطی در کنار دریا سامانه‌های نمک‌زدایی را راه‌اندازی نمود. ژاپن از حدود سال ۱۹۶۰ از این روش برای تولید آب و محصولات جانبی استفاده می‌کند [۱۲۰].

۴-۲-۳-۶- فرایند ارتعاش برشی پیشرفته (VSEP)^۲

در فرایند ارتعاش برشی پیشرفته از ایجاد امواج شدید بر سطح غشا استفاده می‌شود به‌طوری‌که غلظت یون‌ها در یک سمت غشا به‌شدت افزایش یافته و حجم پساب دفعی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. پساب این فرایند را می‌توان به واحد کریستال‌سازی فرستاد یا از روش دفن در زمین برای دفع پساب نهایی استفاده کرد.

در فرایند VSEP، با ایجاد تنش‌های شدید، سطح غشا تمیز نگه داشته شده و قابلیت فیلتراسیون غلظت بالای پساب فراهم می‌شود. البته پولاریزاسیون غلظتی^۳ علاوه بر این که باعث کاهش شار عبوری در طی فیلتراسیون می‌شود، یک لایه غلظتی بر سطح غشا ایجاد می‌کند که می‌تواند میزان فیلتراسیون را نیز کاهش دهد.

در این روش به کمک ایجاد ارتعاشات در نزدیکی غشا، از تجمع جرم و یون‌های مختلف بر سطح آن جلوگیری شده و ناخالصی‌هایی که به همراه آب به نزدیکی سطح غشا رسیده‌اند دوباره به محلول برگشت داده می‌شوند. در واقع امواج موجب جلوگیری از پدیده قطبش غلظتی و امکان افزایش غلظت در نزدیک غشا می‌شوند. پدیده ممانعت از بروز قطبش غلظتی، تراوایی بالای غشا را به همراه دارد و در مقایسه با روش‌های متداول فیلتراسیون متقاطع، قابلیت فیلتراسیون سه تا ده برابر افزایش می‌یابد.

هم‌اکنون از فناوری VSEP در مقیاس صنعتی در استرالیا استفاده می‌شود ولی هنوز برخلاف آنچه که تصور می‌شد، کاربرد در مقیاس‌های بزرگ عمومیت نیافته است [۱۰۸].

1- Zero Discharge Desalination (ZDD)

2- Vibratory Shear Enhanced Processing (VSEP)

3- Concentration Polarization

۴-۲-۲-۷- فرایند تبخیر نقطه شبنم

توضیحات این فرایند در بند ۳-۶-۲ تحت عنوان «روش های نوین نمک زدایی» آمده است. این روش از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و انرژی عملیاتی کمتری نسبت به تبخیرکننده ها نیاز دارد ولی هنوز هم برای استفاده در مقیاس های صنعتی بزرگ دغدغه هایی وجود دارد [۹۸ و ۱۱۸].

۴-۲-۲-۸- کریستال سازی با انجماد

زمانی که آب به همراه ناخالصی باشد و در دمای پایین قرار گیرد، یخ های ابتدایی تشکیل شده آب خالص هستند که به سطح آب می آیند و آب باقی مانده حاوی غلظت بیش تری از ناخالصی می شود. بدین ترتیب می توان آب خالص و دوغاب غلیظ تهیه نمود. از این روش در صنایع مختلف از جمله استخراج فلزات سنگین، صنایع داروسازی، شیمیایی و غذایی استفاده می شود. استفاده از این روش در صنایع بزرگ برای تصفیه پساب سامانه های نمک زدایی عملی نیست ولی در مقیاس های کوچک تر در مناطق سردسیر کاربرد دارد [۱۲۱].

۴-۲-۲-۹- مبدل حرارتی با بستر سیال سان (FBHX)^۱

مبدل حرارتی با بستر سیال سان توسط Watervap LLC طراحی شده است. در این روش تبخیر به کمک مبدل حرارتی انجام می گیرد و طراحی مبدل به نحوی است که رسوب نمک روی آن ایجاد نشده و سطح مبدل پاک می ماند. بدین ترتیب کارایی مبدل برای تبخیر آب های با ناخالصی بالا مهیا می شود. می توان این نوع مبدل ها را در تبخیرکننده های بازگشتی تلفیق کرد و تبخیرکننده ای با بازدهی بالا برای پساب های سامانه های نمک زدایی تهیه نمود [۱۱۸].

۴-۲-۲-۴- روش های نوین

۴-۲-۲-۱- اسمز مستقیم یا پیش رونده

توضیحات این فرایند در بخش روش های نوین نمک زدایی (بند ۳-۶-۲) آمده است. این فرایند هنوز به لحاظ اقتصادی کاربرد صنعتی برای تصفیه پساب سامانه های نمک زدایی پیدا نکرده است.

۴-۲-۲-۲- انعقاد سازی الکتریکی

در این روش از میدان الکتریکی برای به هم پیوستن یون ها استفاده می شود. نظر به این که یک میدان الکتریکی ضعیف توانایی به هم پیوستن یون ها را دارد، نسبت به انعقاد سازی شیمیایی، هم سرعت بالاتری دارد و هم هزینه کمتری نیاز دارد. از این روش برای پیش تصفیه سامانه های غشایی همچون اسمز معکوس استفاده شده است ولی برای تصفیه پساب سامانه های

1- Fluidized Bed Heat Exchanger (FBHX)

نمک‌زدایی تنها در حد مطالعات کار شده است. پیش‌بینی می‌شود به کمک این روش، سرعت تصفیه و جداسازی یون‌ها از پساب سامانه‌های نمک‌زدایی هزینه عملیاتی کمی داشته باشد و با فناوری‌های موجود قابل رقابت شود [۱۱۲].

۴-۲-۲-۴-۳- تقطیر غشایی^۱

توضیحات این فرایند در بخش روش‌های نوین نمک‌زدایی (بند ۳-۶-۲-۴) آمده است. این فرایند هنوز به لحاظ اقتصادی، کاربرد صنعتی برای تصفیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی پیدا نکرده است.

۴-۲-۲-۴-۴- یون‌زدایی خازنی

در روش یون‌زدایی خازنی جریان پساب از یک لایه جاذب کربنی عبور می‌کند و تحت ولتاژ ضعیفی قرار می‌گیرد. لایه‌های جاذب کربنی معمولاً از نوع آئروژل^۲ بوده و زمانی که میدان الکتریکی برقرار باشد، قادر به جذب یون‌های مختلف هستند. وقتی میدان الکتریکی برقرار باشد، نیروی الکترواستاتیکی وارد شده بر ذرات، آن‌ها را به سمت جاذب می‌راند. زمانی که ظرفیت جاذب اشباع شد، با قطع جریان، یون‌ها نیز آزاد شده و وارد فاز آب می‌شوند. بدین ترتیب از پساب سامانه نمک‌زدایی یک جریان آب خالص تولید می‌شود و هرچند وقت یک‌بار ناخالصی‌ها در یک جریان غلیظ آب بازیافت می‌شوند. با این که این روش هنوز در مراحل مطالعه و طراحی است ولی به نظر می‌رسد روش مناسبی برای تولید آب از پساب‌های سامانه‌های نمک‌زدایی باشد که غلظت ناخالصی بالایی ندارند [۱۱۸].

۴-۳- جمع‌بندی

- در مجموع می‌توان رویکرد جهانی را در بازچرخانی آب و استفاده از پساب به عنوان منبعی از آب خام دانست که با توجه به کاهش منابع آب و افت کیفیت آن‌ها رو به رشد است. بنابر این رویکرد کلی مدیریت پساب به سمت بازیافت است. بر این اساس باید مشابه روش انتخاب فناوری نمک‌زدایی مناسب، توانمندی‌ها و ضعف‌های روش‌های مختلف تصفیه پساب با هم مقایسه شده و از بین چند روش منتخب با در نظر گرفتن پارامترهای منطقه‌ای، اقتصادی و فرآیندی، روش بهینه اتخاذ گردد.
- علاوه بر این با توجه به اینکه حفظ محیط زیست به منابع آب ختم نمی‌شود و خاک و هوا را نیز در بر می‌گیرد، می‌توان برخی روش‌های تصفیه پساب را در تضاد با حفظ محیط زیست دانست. به عبارتی پارامتر محیط زیست نقش پررنگ‌تری در انتخاب روش تصفیه پساب دارد. به همین دلیل رویکردها به سمت روش‌های سازگار با محیط زیست است؛ اعم از روش‌هایی که انرژی کم‌تری مصرف می‌کنند یا بر پایه روش‌های طبیعی عمل می‌نمایند.

1- Membrane Distillation (MD)

2- Aerogel

– روش های متداول دفع پساب بدون تصفیه ثانویه را می توان در دو روش زیر خلاصه کرد [۳۷]:

- تخلیه به آب های سطحی
- تخلیه به فاضلاب بهداشتی

فصل ۵

کنترل کیفیت آب شرب تولیدی با

سامانه‌های نمک زدایی

۵-۱- کلیات

اگرچه خصوصیات ظاهری آب نظیر مزه، بو، کدورت و کل جامدات محلول (TDS) به‌طور مستقیم با سلامتی انسان رابطه ندارد، اما بر گوارایی و در نتیجه مقبولیت آب برای مصرف‌کننده و به‌طور غیرمستقیم بر سلامت فرد موثر است. ترکیبات موجود در آب می‌توانند منبع و مکمل رژیم غذایی (ریزمغذی‌ها و درشت‌مغذی‌ها) باشند یا به‌عنوان آلاینده‌های نامطلوب نقش ایفا کنند. گروه‌هایی چون نوجوانان، زنان باردار، سالمندان و کسانی که سیستم ایمنی بدنشان ضعیف است، نسبت به ترکیبات غذایی ضروری و خطرناک در مقایسه با سایر افراد حساسیت بیش‌تری دارند.

فرایندهای نمک‌زدایی به‌طور معمول مقدار همه یون‌ها را کاهش می‌دهند لذا افرادی که به‌طور مداوم از آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی استفاده می‌کنند در مقایسه با افرادی که از سایر منابع آب بهره می‌گیرند، مقدار کم‌تری از مواد مغذی را دریافت می‌کنند. به همین دلیل، مصرف دائمی آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی در صورت نداشتن تغذیه کافی، کمبودهایی را به همراه خواهد آورد.

به‌منظور جبران کمبود برخی از یون‌های ضروری، کنترل خوردگی، سختی، pH و افزایش مقبولیت و کاهش پتانسیل خوردگی آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی، از روش افزودن مواد شیمیایی یا اختلاط با حجم کمی از آب خام با مقادیر بالای مواد معدنی استفاده می‌شود. این فرآوری بر روی آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی به‌منظور هر چه نزدیک‌تر شدن مشخصات آب تولیدی به مشخصات استانداردهای آب شرب و جلوگیری از خوردگی و حفاظت از شبکه توزیع آب صورت می‌گیرد. افزودن مواد شیمیایی و اختلاط آب برای تنظیم این پارامترها، با نوع و طول عمر شبکه توزیع رابطه تنگاتنگی دارد که باید مورد توجه قرار گیرد.

در بعضی موارد افزودن مواد شیمیایی مناسب هر دو هدف حفاظت از شبکه توزیع و حفظ بهداشت و سلامت عمومی را تامین می‌کند. به‌عنوان مثال، افزودن نمک‌های کلسیم و منیزیم، هم مواد معدنی مورد نیاز در آب تولیدی را تامین می‌کند، هم pH آب را تثبیت کرده و از شبکه توزیع در برابر خوردگی محافظت می‌نماید.

معمولاً، میزان نهایی استفاده از هر ماده شیمیایی چندمنظوره با محاسبه حداقل میزان مورد نیاز برای دستیابی به تمامی اهداف تعیین می‌گردد. اگر استفاده از ماده شیمیایی یکسان برای تامین هر دو هدف مقرون به صرفه نباشد، ترکیبی از مواد شیمیایی که هزینه کم‌تری داشته باشد مورد استفاده قرار خواهد گرفت. به‌طور مثال، افزودن هیپوکلریت کلسیم برای گندزدایی، باعث از بین رفتن پاتوژن‌ها شده و هدف بهداشت عمومی را تامین می‌کند و همچنین سبب افزودن مقداری کلسیم به عنوان ماده معدنی به آب تولیدی می‌شود. بنابراین افزودن هیپوکلریت کلسیم علاوه بر تامین سلامت عمومی به نحوی بازدارنده خوردگی محسوب شده و موجب حفاظت شبکه توزیع از خوردگی خواهد شد.

هنگام استفاده از اختلاط آب خام برای اصلاح کیفیت آب تولیدی، باید توجه داشت که بالا بردن بخشی از یون‌های ضروری موجب خارج شدن سایر مشخصات فیزیکی و شیمیایی از محدوده مجاز نگردد. به همین دلیل، در اغلب موارد،

برای آب دریا تنها ۱ تا ۳ درصد امکان اختلاط وجود دارد. استفاده از آب های ساحلی به عنوان آب اختلاط، امکان افزایش آلودگی با هیدروکربن های نفتی و به تبع آن پایین آمدن کیفیت فیزیکی و گاه شیمیایی را موجب می شود. استانداردهای آب آشامیدنی در جدول های (پ. ۲-۱) تا (پ. ۲-۶) پیوست شماره ۲ آمده است.

۵-۲- تنظیم کیفیت آب خروجی

۵-۲-۱- کدورت زدایی

حذف کدورت پس از تولید آب، تنها در فرآیند EDR مورد نیاز است و سایر فرایندهای نمک زدایی آبی کاملاً شفاف تولید می کنند. زمانی که کنترل کدورت آب تولیدی فرایند EDR طی فرایند پیش تصفیه اقتصادی نباشد، حذف ذرات معلق به عنوان یک فرایند تصفیه تکمیلی مدنظر قرار می گیرد.

۵-۲-۲- گندزدایی

آب تولیدی سامانه های نمک زدایی باید بلافاصله مورد گندزدایی قرار گیرد. این گندزدایی در فرایندهای حرارتی به دلیل بالا بودن دما در حین تولید کم تر مورد نیاز است. در فرآیند EDR به دلیل حضور مواد مغذی و حذف کلر باقی مانده در طول فرایند، میزان باکتری ها در آب تولیدی بیش تر از آب ورودی خواهد بود. در صورت استفاده از آب اختلاط برای تنظیم کیفیت، زمان ماند بعد از کلر زنی باید حداقل به مدت ۳۰ دقیقه باشد. کلر زنی آب اختلاط روشی ایده آل برای کلر زنی آب تولیدی نهایی نیز هست. در برخی از سامانه ها، آب دریا برای تولید هیپوکلریت مورد استفاده در گندزدایی هیدرولیز می شود و سپس با میزان حدود ۱ درصد با آب تولیدی سامانه های نمک زدایی مخلوط می شود. این روش به دلیل تولید مقادیر زیادی برم و ارگانو هالوژن ها یا محصولات جانبی هالوژنه فرآیند گندزدایی حتی در مقادیر کم (۱ درصد) اختلاط، می تواند از حد مجاز استانداردهای آب شرب برای برم (بیشینه ۱۰ ppb) فراتر رود. کلر زنی آب مقطر باید بلافاصله قبل از ورود آب به شبکه توزیع صورت گیرد.

۵-۲-۳- گاز زدایی

هوادهی به منظور افزایش pH و حذف گازهای نامطلوب بدون افزودن مواد شیمیایی انجام می شود. آب تولیدی فرایند اسمز معکوس ممکن است حاوی گاز دی اکسید کربن و یا سولفید هیدروژن (H_2S) باشد. آب تولیدی فرایند EDR نیز ممکن است حاوی گاز دی اکسید کربن باشد. سولفید هیدروژن باید در پیش تصفیه فرایندهای EDR و نمک زدایی حرارتی حذف گردد و لذا در آب تولیدی آن ها نمی تواند حضور داشته باشد.

گاززدایی به دلیل حضور غلظت‌های بالای CO_2 که معمولاً با تولید اسید کربنیک سبب کاهش pH آب می‌شود ضروری است. حضور یون هیدروژن مازاد و کاهش pH رابطه مستقیم با افزایش خوردگی آب دارد. گاززدایی یا حذف اسید کربنیک مازاد در افزایش pH نهایی آب کمک خواهد کرد.

از آن جایی که کربنیک‌زدایی مقداری از اسید کربنیک‌ها را به بی‌کربنات‌قلیایی تبدیل می‌کند، استفاده ترکیبی از این فرآیند همراه با تنظیم pH مقرون به صرفه خواهد بود. چرا که این فرآیند به کنترل هزینه‌های مواد شیمیایی مورد استفاده برای افزایش pH کمک کرده و مقادیر pH، قلیائیت و CCPP مطلوب را تولید می‌کند.

تنظیم pH باید بلافاصله پس از هوادهی و قبل از ورود به شبکه توزیع انجام گیرد. خروج بیش از حد دی‌اکسیدکربن طی هوادهی همچنین می‌تواند pH آب را به بیش از pH_s رسانده و موجب رسوب‌گذاری در شبکه گردد؛ یا اینکه دی‌اکسید کربن موجود در هوا pH آب را تغییر ندهد. آب هوادهی شده باید بلافاصله گندزدایی گردد تا از آلودگی باکتریایی جلوگیری شود. انواع روش‌های مختلف هوادهی عبارتند از: هوادهی پاششی، هوادهی آبخاری، هوادهی با تزریق هوا و هوادهی فواره‌ای.

متداول‌ترین روش برای حذف گازهای محلول استفاده از گاززدا است که قادر به حذف هر دو گاز CO_2 و H_2S از آب است. برج‌های هوادهی فشرده و اخیراً استفاده از هوادهی با غشاء الیافی می‌تواند به‌عنوان روش‌هایی برای زدایش گاز CO_2 از آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی مورد استفاده قرارگیرد. میزان غلظت باقی‌مانده گاز نباید بیش‌تر از ۱/۰ میلی گرم بر لیتر باشد تا در ترکیب هوادهی و کلرزنی، سولفور کلوئیدی ایجاد نشود و کدورت آب را بالا نبرد.

۵-۲-۴- سختی‌دهی و تنظیم قلیائیت

آب خالص تولیدی دارای غلظت‌های کمی از کلسیم، منیزیم و دیگر مواد معدنی است. این در حالی است که لایه کربنات کلسیم ته‌نشین شده بر روی دیواره به‌عنوان مانع فیزیکی و برای محافظت از خوردگی به کار برده می‌شود. همچنین سختی‌دهی باعث بهبود طعم آب و ارتقای کیفیت بهداشتی آن می‌شود. البته میزان سختی‌دهی باید به‌گونه‌ای کنترل شود که موجب رسوب‌گذاری نشود. لزوم سختی‌دهی آب تولیدی در فرایند EDR به‌ندرت اتفاق می‌افتد.

تثبیت کیفیت آب با افزودن کلسیم و بی‌کربنات حاصل می‌شود. یکی از راه‌های مقرون به صرفه برای سختی‌دهی مجدد، اختلاط آن با جریان کوچکی از آب پیش‌تصفیه شده و شور ورودی به فرایند نمک‌زدایی است. وقتی آلودگی باکتریایی آب شور به قدر کافی کم و سختی آن به قدر کافی زیاد است، اختلاط بهترین روش برای سختی‌دهی است. اختلاط باید بر اساس رعایت محدودیت غلظت برخی اجزا از قبیل سدیم و مواد آلی در آب نهایی طراحی شود. معمولاً تثبیت بهینه کیفیت آب فقط با اختلاط امکان‌پذیر نیست و نیاز به تزریق مواد شیمیایی و تنظیم pH همچنان وجود دارد. کمبود کربنات‌قلیایی در آب تولیدی واحدهای نمک‌زدایی نیز سبب ناپایداری و تغییرات زیاد در pH آب تولیدی به سبب ظرفیت بافری پایین آن می‌شود. زمانی که غلظت‌های کافی از اسید کربنیک در واحدهای نمک‌زدایی به‌منظور تولید مقادیر مطلوب کربنات‌قلیایی و برای تنظیم pH در دسترس نیست، استفاده از مواد شیمیایی برای رسیدن به

قلیائیت مورد نظر ضروری است. در عین حال که افزودن هیدروکسید سبب افزایش pH و قلیائیت آب خواهد شد، کربنات و بی کربنات قلیایی برای تولید CCPP در محدوده مطلوب مورد نیاز است. همچنین به تامین ظرفیت بافری که در حقیقت از تغییرات pH در شبکه توزیع جلوگیری می کند کمک خواهد کرد.

همچنین کمبود کلسیم و کربنات قلیایی از آن جایی که لایه محافظ کربنات کلسیم نمی تواند بر روی دیواره لوله ها در شبکه توزیع تشکیل شود سبب افزایش خوردگی می شود. فلزات سنگینی که به دلیل خوردگی دیواره ها وارد آب تولیدی می شوند شامل سرب، مس، کادمیوم و مانند آن هستند که سبب کاهش کیفیت آب تولیدی شده و همچنین با توجه به استانداردهای آب آشامیدنی، برای سلامت انسان ها مضر خواهند بود.

روش های متعددی در فرآیند تصفیه ی تکمیلی برای افزودن سختی مورد استفاده قرار می گیرد. این روش ها شامل افزودن آهک، تماس از طریق عبور دادن آب از فیلترهای آهکی (مانند کلسیت یا دولومیت) و یا اختلاط است.

آهک آب دیده (هیدروکسید کلسیم) به منظور تامین کلسیم و قلیائیت و همچنین تنظیم pH به آب خالص افزوده می شود. زمانی که آهک به آب خالص اضافه می شود باید میزان حلالیت کربنات کلسیم که به pH، دما و قدرت یونی وابسته است در نظر گرفته شود. به طور کلی میزان حلالیت کربنات کلسیم در آب بسیار کم بوده و آهک به سادگی در آب حل نخواهد شد؛ در نتیجه ممکن است سبب بروز کدورت در آب گردد. وجود کدورت در مراحل تصفیه ی تکمیلی نامطلوب است. تعداد کمی راهکار برای افزایش حلالیت آهک آب دیده در آبی که دمای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی گراد دارد، موجود است.

فیلترهای آهکی که به طور گسترده در اروپا و خاورمیانه به کار برده شده اند، اغلب باعث افزودن اسید کربنیک شده و متعاقباً سبب تنظیم pH، قلیائیت و CCPP به منظور تامین سختی مورد نیاز و ایجاد شرایط پایدار در آب تولیدی می شود. تکه سنگ های آهکی (مانند سنگ های کلسیت و دولومیت) به طور گسترده در این روش استفاده می شوند. تکه سنگ های کلسیت تنها سختی کلسیمی را فراهم می کنند، در حالی که دولومیت، کلسیم و منیزیم را به آب اضافه می کند. یکی دیگر از روش های تنظیم سختی، مخلوط کردن آب تولیدی با آب خوراک است. این کار به طور معمول برای آب های لب شور و واحدهای نمک زدایی حرارتی انجام می شود و در صورتی پذیرفته است که آب ورودی از لحاظ پارامترهای میکروبی در محدوده قابل قبولی باشد. در فرآیند اختلاط باید میزان موازنه مواد شیمیایی و ملاحظات میکروبی را مد نظر قرار داد تا از حدود استاندارد برای آب آشامیدنی تجاوز نکند زمانی که آب خوراک آب دریا است میزان اختلاط به ۱ درصد محدود شده تا طعم آب تولیدی بد نشود.

افزودن یا بازیابی قلیائیت در آب تولیدی سامانه های نمک زدایی معمولاً با استفاده از یکی از روش های تصفیه ی تکمیلی زیر انجام می شود:

- افزودن سود سوزآور یا آهک به آب خالص حاوی اسید کربنیک
- افزودن اسید کربنیک به همراه افزودن سود سوزآور یا آهک
- افزودن کربنات سدیم یا سدیم بی کربنات

در صورت افزودن کربنات سدیم یا سدیم بی‌کربنات برای افزایش قلیائیت کربناتی، باید میزان تزریق پایش شود تا غلظت نهایی سدیم بر اساس توصیه سازمان جهانی بهداشت (WHO) کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نگه داشته شود. این امر به‌منظور جلوگیری از طعم بد و یا وجود سدیم کم‌تر از ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب شرب برای افرادی که در رژیم‌های غذایی با میزان سدیم محدود هستند؛ صورت می‌گیرد.

عموماً آب با کیفیت زیر پایداری مطلوبی دارد:

– سختی کل حداقل ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب CaCO_3

– قلیائیت کل حداقل ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب CaCO_3

– pH نهایی در محدوده بین ۸ تا ۹

یکی از اهداف تصفیه‌ی تکمیلی این است که آب قبل از این که وارد شبکه مصرف شود، به پایداری مطلوبی برسد. آب پایدار آبی است که غیر خورنده بوده و در آن کربنات کلسیم رسوب نمی‌کند. سختی‌دهی آب باعث کاهش خاصیت خورندگی آب می‌شود.

این مواد شیمیایی قبل از ارسال آب به شبکه توزیع و مصرف به آب تزریق و در آن حل می‌شوند. میزان تزریق مواد شیمیایی بر اساس موازنه واکنش‌های شیمیایی افزایش قلیائیت، کاهش دی‌اکسید کربن و افزایش سختی کل محاسبه می‌شود. این اطلاعات در مورد متداول‌ترین مواد شیمیایی که برای پایداری آب تولیدی استفاده می‌شوند در جدول (۵-۱) خلاصه شده است.

جدول ۵-۱- اثر تزریق مواد شیمیایی معدنی روی کیفیت آب

ماده شیمیایی (تزریق ۱ میلی‌گرم در لیتر)	افزایش قلیائیت (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر CaCO_3)	کاهش CO_2 (میلی‌گرم بر لیتر)	افزایش سختی (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر CaCO_3)
سود سوزآور (۹۸ درصد)	۱/۲۳	۱/۰۸	تأثیری ندارد
بی‌کربنات سدیم (۱۰۰ درصد)	۰/۶	تأثیری ندارد	تأثیری ندارد
بی‌کربنات سدیم یا نمک قلیا (۹۹ درصد)	۰/۹۴	۰/۴۱	تأثیری ندارد
آهک زنده (۹۰ درصد)	۱/۶۱	۰/۴۱	۱/۶۱
آهک هیدراته	۱/۲۶	۱/۱۱	۱/۲۶
کلرید کلسیم	تأثیری ندارد	تأثیری ندارد	۰/۹

این اطلاعات نشان می‌دهد که همه مواد شیمیایی قادر به افزایش توانمندی سختی و قلیائیت نیستند؛ لذا ماده شیمیایی مناسب باید متناسب با کیفیت آب تولیدی و مصارف آن انتخاب شود. به عبارت دیگر اگر سختی آب تولیدی در محدوده مناسب باشد، سود، بی‌کربنات سدیم یا نمک قلیا به تنهایی برای اصلاح خاصیت بافری یا پایداری آب کافی خواهد بود. برای افزایش سختی بدون ایجاد تغییر روی قلیائیت می‌توان از کلرید کلسیم استفاده کرد و برای افزایش هر دو مشخصه کیفی، می‌توان از تزریق چند ماده شیمیایی یا تزریق آهک بهره جست. در برخی موارد، آهک باید با ترکیبی از سود یا ماده شیمیایی دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۲-۵- حذف بور

بور عنصری است که علاوه بر آب دریا، در هوا و خاک نیز وجود دارد. انسان ها به طور روزانه مقدار متوسطی از بور را جذب و دفع می کنند. مطابق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (بازنگری سال ۱۹۹۸) میزان مجاز بور در آب آشامیدنی حداکثر ۵/۰ میلی گرم بر لیتر است.

در اغلب سامانه های نمک زدایی غشایی آب دریا، به دلیل حضور بور در آب ورودی و عبور نسبی آن از غشاهای اسمز معکوس، آب تولیدی نیز ممکن است حاوی این ماده باشد. معمولاً در صورتی که آب ورودی بیش از ۳ میلی گرم بر لیتر بور داشته باشد، نیاز به تصفیه ی تکمیلی بور خواهد بود. کارایی غشاها برای دفع بور در دماهای پایین تر افزایش می یابد و محاسبات باید در حداکثر دمای آب ورودی انجام گیرد.

برای حذف بور از آب شرب راهکارهای مختلفی وجود دارد از جمله رزین های تعویض یونی مخصوص بور، رزین آنیونی قوی و اسمز معکوس دوبار گذر با pH بالا. در مقیاس صنعتی، اسمز معکوس یکی از روش های جامع تصفیه آب است که می تواند میزان بور را نیز کاهش دهد [۴۹ و ۵۰].

اخیراً با توسعه دانش نمک زدایی، غشاهایی به بازار ارائه شده است که توانایی دفع بیش تر بور را دارند.

۵-۲-۶- حذف برومید

بیش تر ترکیبات شیمیایی به طور قابل توجهی به وسیله سامانه های نمک زدایی حذف می شوند؛ اگرچه مقداری از کلرید سدیم و برومید در آب تولیدی سامانه های اسمز معکوس و سامانه های تقطیری قدیمی باقی می ماندند. با توجه به اهمیت سلامت آب شرب، از مهم ترین مواد شیمیایی بور است؛ چرا که در فرآیند اسمز معکوس نسبت به سایر ترکیبات شیمیایی کم ترین جداسازی را دارد.

مقدار برومید در آب دریا تا حدی قابل توجه است (۷۰ تا ۸۰ میلی گرم بر لیتر) که حتی با جداسازی بیش تر از ۹۵ درصد نیز بخشی از آن (۱ میلی گرم بر لیتر یا بیش تر) در آب تولیدی باقی خواهد ماند. برومید غیرآلی در آب های سطحی در حد میلی گرم وجود دارد. در صورت وجود برومید باقی مانده کافی در آب و استفاده از روش ازن زنی برای گندزدایی، برومات تشکیل می شود که مقدار آن از استاندارد سازمان بهداشت جهانی یعنی ۱۰ میکروگرم بر لیتر بیش تر خواهد بود. این مشکل در تولید آب های بسته بندی از منابع آب حاوی برومید زیاد، به وفور دیده شده است. تولید کلر به روش الکترولیز آب دریا نیز مقدار زیادی برومات تولید می کند.

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی و فائو با فرض ۱ میلی گرم برومید به ازای هر کیلوگرم از بدن انسان و با در نظر گرفتن یک جوان ۶۰ کیلوگرمی که در روز ۲ لیتر آب می نوشد؛ مقدار مجاز برای برومید ۶ میلی گرم بر لیتر اعلام شده است. در هر حال، برومید غیرآلی موجود در آب تولیدی سامانه های نمک زدایی تهدیدی برای سلامت افراد نیست ولی بهتر آن است که مقادیر بیش از حد آن حذف شوند.

۵-۲-۷- تنظیم فلوئور

فلوئور یکی از عناصر مهمی است که به‌طور وسیع در پوسته زمین و در مواد معدنی به اشکال مختلفی وجود دارد. در بسیاری از آب‌های طبیعی، فلوریدها در مقادیر کم حضور دارند و در آب‌های زیرزمینی غلظت آن‌ها بیش‌تر است. در مناطقی که خاک آن غنی از مواد معدنی فلوئوردار است، آب چاه ممکن است تا میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و یا بیش‌تر حاوی فلوراید باشد.

فلوئور به هر شکلی که به آب تزریق و حل شود، نهایتاً یونیزه شده و به شکل فلوراید در می‌آید.

در استاندارد سازمان بهداشت جهانی، حداکثر مجاز و حداقل مطلوب فلوراید در آب شرب به ترتیب ۱/۵ و ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر ذکر شده است. مقادیر بیش از این حد، خطر بروز مسمومیت‌های دهانی و عوارض اسکلتی را در پی دارد. اما به دلیل امکان جذب فلوراید از طریق مواد غذایی دیگر، حداقلی در استاندارد مذکور ذکر نشده است و استانداردهای محلی با توجه به شرایط هر منطقه و الگوی مصرف مواد غذایی مردم باید نسبت به تعیین حداقل آن اقدام نمایند.

استاندارد ملی ایران، میزان مجاز فلوئور موجود در آب شرب را در محدوده غلظت ۰/۶ تا ۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر تعیین کرده است. شاید تزریق فلوئور به آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی در مناطق خشک و محروم لازم باشد، اما در اکثر موارد، میزان فلوئور جذب شده از مواد غذایی برای مصرف روزانه کافی به نظر می‌رسد.

افزودن فلوئور به آب تولیدی فرایندهای نمک‌زدایی معمولاً با تزریق سدیم فلوراید (NaF) انجام می‌گیرد.

۵-۲-۸- کنترل نیتريت و نترات

هنگام استفاده از آب اختلاط، یکی از مشکلات مهم، مقاوم شدن برخی از میکروارگانیسم‌ها به گندزدایی است که به تشکیل بایوفیلم منجر می‌شود یا به‌طور جزئی در اندازه‌گیری کیفیت میکروبی نظیر E-coli^۱ یا شمارش هتروتروفیک‌ها تغییر ایجاد می‌کند. نیتريت تولید شده ناشی از تشکیل بایوفیلم توسط ارگانیسم‌ها در حضور کلرآمین و آمونیاک باقی‌مانده می‌تواند مشکلات جدی ایجاد کرده و از محدوده مجاز استانداردهای آب شرب خارج شود. همچنین بالا بودن سطح آلایندگی نیترا ته آب خام به دلایل مختلف مانند نفوذ فاضلاب به سفره‌های زیرزمینی ممکن است منجر به بالاتر رفتن از حد استاندارد در آب تولیدی سامانه نمک‌زدایی شود.

۵-۲-۹- خوردگی

خوردگی، وجوه مختلفی از شبکه توزیع را از قبیل هزینه‌های پمپ کردن و مقبولیت عمومی آب تولیدی به دلیل نفوذ فلزات سنگین ناشی از خوردگی دیواره لوله‌ها به آب تولیدی، تحت تاثیر قرار می‌دهد.

1- Escherichia coli (E.coli)

در سامانه های نمک زدایی، واکنش های شیمیایی سبب تجزیه لوله های فلزی که در تماس مستقیم با آب هستند، می شود. این واکنش ها تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند pH، قلیائیت، کلسیم، سختی، کلراید، سیلیس، فسفات و دمای آب قرار دارند. اهمیت و نقش هر کدام از این پارامترها در جدول (۵-۲) نشان داده شده است. پارامترهای ذکر شده نسبت به سایر ویژگی های آب، مانند کل نمک محلول، نقش مهم تری در فرآیند خوردگی دارند، به همین دلیل در این مبحث فقط به آن ها پرداخته شده است.

جدول ۵-۲- پارامترهای تاثیرگذار بر خوردگی در آب نمک زدایی شده

پارامتر کیفیت آب	نقش
pH	pH پایین (کم تر از ۷) نرخ خوردگی را افزایش خواهد داد pH بالا (معمولا بالاتر از ۸ ولی نه بیش تر) نرخ خوردگی را کاهش خواهد داد
قلیائیت	سبب پایداری آب و کاهش تغییرات pH می گردد. سبب تشکیل لایه محافظ بر دیواره لوله های شبکه توزیع می گردد آب هایی با قلیائیت بالا سبب ایجاد خوردگی در لوله های سربی می گردد.
کلسیم	باعث ته نشینی لایه کلسیم کربنات بر دیواره لوله ها شده نقش حائل فیزیکی بین آب و دیواره فلزی را خواهد داشت. حضور بیش از حد کلسیم سبب کاهش ظرفیت انتقال آب در لوله های می شود.
سختی	آب سخت نسبت به آب نرم پتانسیل خوردگی کم تری داشته اگر غلظت کلسیم و کربنات قلیایی بالا باشد و مقدار pH برای ته نشینی کربنات کلسیم مساعد باشد. کربنات کلسیم در آب سرد، لوله های سرب، مس و یا فولادهای گالوانیزه تشکیل نمی شود، اما سختی ناشی از وجود کلسیم سبب به وجود آمدن شرایط pH بافری در سطح فلزی لوله ها شده و از خوردگی جلوگیری می کند.
کلراید	غلظت های بالا سبب افزایش نرخ خوردگی در لوله های آهنی، سربی، فولادی و گالوانیزه می شود.
سیلیس	زمانی که به صورت محلول در آب وجود دارد می تواند واکنش داده و به صورت لایه محافظ ظاهر می شود.
فسفات	می تواند واکنش داده و به صورت لایه محافظ ظاهر شود.
دما	تاثیر زیادی بر حلالیت لایه محافظ و سرعت خوردگی دارد.

۵-۲-۹-۱- شاخص های خوردگی

پایداری و پتانسیل خوردگی آب به وسیله شاخص هایی که نشان دهنده امکان تشکیل رسوب یا بروز خوردگی است تعیین می شوند. شاخص های خوردگی ناشی از کربنات و سولفات کلسیم (پایداری) همان شاخص های رسوب گذاری، مانند LSI و CCPP هستند که در بند (۱-۳-۶) از فصل (۱) همین گزارش مورد بررسی قرار گرفتند.

۵-۲-۹-۲- روش های کنترل خوردگی

رایج ترین روش کنترل خوردگی شامل قرار دادن مانع فیزیکی بین آب و سطح لوله های فلزی به منظور محافظت لوله از ویژگی های خوردگی آب است. مانع فیزیکی همان رسوب مواد شیمیایی موجود در آب مانند کربنات کلسیم، سیلیس و ارتوفسفات است. به طور معمول از رسوب کربنات کلسیم بر دیواره لوله ها به منظور کنترل خوردگی ناشی از آب آشامیدنی تولیدی از سامانه های نمک زدایی استفاده می شود. نکته مهم این است که میزان ته نشینی کربنات کلسیم باید

به دقت کنترل شود زیرا رسوب بیش از اندازه سبب کاهش ظرفیت انتقال آب از لوله‌ها می‌گردد. موارد ذیل می‌تواند به‌عنوان نمونه برای جلوگیری از خوردگی در تصفیه‌ی تکمیلی در نظر گرفته شود:

- قلیائیت بیش‌تر یا مساوی ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم
- CCPP برابر ۴ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم (بدون افزودن کمپلکس‌های کلسیم)
- نسبت لارسون کم‌تر از ۵ (فقط برای لوله‌های استیل)
- $LSI = 0.5$ تا ۱
- سختی کل بیش‌تر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم

قلیائیت کربنات کلسیم بیش‌تر یا مساوی ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر حداقل مقدار ممکن است زیرا تجربه نشان می‌دهد قلیائیت کم‌تر از این مقدار منجر به خاصیت بافری ضعیف و تغییرات pH در سامانه توزیع آب می‌شود. به‌طور کلی CCPP به‌عنوان شاخص کمی ته‌نشینی رسوب کربناتی به دیگر شاخص‌های کیفی در تعیین اهداف تصفیه‌ی تکمیلی ترجیح داده می‌شود.

علاوه بر مانع فیزیکی، بازدارنده‌های خوردگی به‌طور گسترده برای کاهش ویژگی خوردگی آب خالص تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بازدارنده‌های سیلیکاتی لایه‌های محافظی را بر روی دیواره لوله تشکیل می‌دهند که از خوردگی جلوگیری کرده و یا حلالیت فلزات را کاهش می‌دهند. در فرایند تزریق بازدارنده‌های خوردگی، لوله‌ها به‌طور مستقیم با یون‌های فلزی بازدارنده‌ها واکنش می‌دهند تا لایه‌ای از مواد خنثی و بی‌اثر برای جلوگیری از خوردگی ایجاد شود. بازدارنده‌های سیلیکاتی یک لایه شیشه مانند بر روی دیواره لوله‌ها تشکیل می‌دهند. اغلب این بازدارنده‌ها بعد از وقوع خوردگی افزوده می‌شوند. در این گونه موارد، راهکار معمول افزودن بازدارنده به میزان ۳ برابر غلظت نرمال برای چند هفته است.

استفاده از بازدارنده‌های خوردگی به جای افزایش قلیائیت اغلب زمانی مناسب است که سامانه توزیع از مواد غیر فلزی مانند HDPE، فایبرگلاس یا PVC ساخته شده است. افزایش کدورت آب ناشی از استفاده از بازدارنده‌های خوردگی از مشکلات بالقوه‌ی سامانه‌هایی است که از آهک یا مواد معدنی با پایه کلسیمی استفاده می‌کنند.

۵-۹-۳- تاثیر تصفیه تکمیلی بر خوردگی

۵-۹-۳-۱- گندزدایی

در نظر گرفتن تاثیر فرآیند گندزدایی به‌عنوان راهکاری که منجر به افزایش pH نهایی آب و در نتیجه مقدار CCPP می‌شود، بسیار مهم است. افزودن گاز کلر به‌عنوان گندزدا، pH و قلیائیت را به‌دلیل تشکیل اسید هیپوکلرو کاهش می‌دهد، در حالی که استفاده از هیپوکلریت سدیم و هیپوکلریت کلسیم، pH و قلیائیت آب تولیدی را افزایش می‌دهد.

۵-۲-۹-۲- کلرید آمونیوم

گندزدایی آب دریا با کلرین باعث می شود که کلر باقی مانده کافی برای جلوگیری از رشد پاتوژن ها و میکروب ها در شبکه توزیع باشد. به کار بردن ترکیبی از کلرین و آمونیاک در شرایطی که غلظت برمید بالاتر از 0.4 میلی گرم بر لیتر است سبب سرعت گرفتن تجزیه کلر باقی مانده در آب تولیدی می شود. تاثیر ناپایدار کننده برمید در فرآیند افزودن کلرید آمونیوم می تواند با استفاده از کلر زنی مجدد جبران شود.

انتقال طولانی آب نمک زدایی شده سبب ایجاد مشکلاتی از قبیل خوردگی و کلردار شدن به ویژه در نواحی گرمسیری می شود. از دست دادن مواد گندزدای باقی مانده یکی از بزرگ ترین چالش های چنین سامانه هایی است. این مشکل با استفاده از کلر زنی با مقادیر بالا یا تزریق مجدد کلرین در طول خطوط لوله (زمانی که مقدار کلر باقی مانده موجود کم تر از 0.5 میلی گرم بر لیتر باشد) حل می شود. راهکار دیگر استفاده از کلرید آمونیوم است که به دلیل نرخ تجزیه پایین می تواند میزان کلر باقی مانده قابل قبولی را در طول خطوط لوله تضمین کند.

از دست دادن قلیائیت کلسیم نیز ممکن است در طول خطوط لوله اتفاق بیفتد و در نتیجه موجب خوردگی شود. راهکارها برای حل این مشکل عبارتند از:

– تزریق دوباره مواد شیمیایی محتوی کلسیم یا مواد بازدارنده خوردگی در طول خطوط انتقال در جاهایی که LSI منفی شده است.

– استفاده از لوله های غیرفلزی مانند HDPE که نسبت به مقادیر پایین قلیائیت کلسیم در آب حساس نیستند. در نظر گرفتن شرایط شبکه توزیع موجود بسیار مهم است. در سامانه های موجود احتمالاً لوله ها با آب ورودی به شرایط تعادل رسیده اند. این شرایط می تواند با ورود آب نمک زدایی شده با ویژگی های متفاوت وارد مرحله جدیدی گردد. میزان باکتری های موجود در آب تولیدی و در شبکه توزیع سنجش و پایش می گردد.

۵-۲-۹-۴- تاثیر یون ها و نمک های محلول بر خوردگی

یون های محلول در آب که بر شبکه توزیع تاثیر گذار هستند عبارتند از آلومینیوم، کلسیم و منیزیم (سختی)، آهن، منگنز، کلراید، آمونیاک، مس، هیدروژن سولفید. در ادامه نقش هر یک از این محلول ها در شبکه توزیع تشریح شده است.

۵-۲-۹-۴-۱- آلومینیوم

یون آلومینیوم بر رسوب گذاری در شبکه توزیع و رنگ دهی آهن به آب تاثیر می گذارد. به طور کلی از نمک های آلومینیوم در فرآیند لخته سازی استفاده می شود. اخیراً با آگاهی از تاثیر این یون بر مغز، استفاده از آن در تصفیه آب شرب به طور غیررسمی ممنوع یا کنترل شده است. به همین دلیل و با توجه به تاثیرهای قابل توجه نمک های آلومینیوم بر لخته سازی در تصفیه آب، کنترل مقدار خروجی این نمک ها از فرآیند تصفیه باید مد نظر قرار گیرد.

۵-۲-۹-۴-۲- آمونیاک

حدود ۱/۵ میلی گرم بر لیتر آمونیاک در pH قلیایی، تولید بو و حدود ۳۵ میلی گرم بر لیتر آمونیاک تولید مزه می‌کند. منبع اصلی تولید آمونیاک گندزدایی با کلرآمین است. آمونیاک ممکن است در فرآیند گندزدایی وارد شده و در شبکه توزیع تولید نیترات کند.

۵-۲-۹-۴-۳- کلراید

منبع اصلی وجود کلراید در آب شرب، آب‌های طبیعی، پساب‌ها، فاضلاب‌ها و روان‌آب‌های آلوده شهری است. غلظت بیش از حد کلراید متناسب با قلیائیت آب، خوردگی فلزات را در شبکه توزیع افزایش می‌دهد. این مشکل، افزایش غلظت فلزات در آب را نیز به همراه دارد. اگرچه وجود کلراید در آب شرب محدودیتی از نظر سلامتی ندارد ولی مقدار بیش از ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر آن به آب مزه خواهد داد.

۵-۲-۹-۴-۴- مس

اگر چه مس عنصری ضروری برای بدن است ولی عاملی آلاینده در آب شرب نیز محسوب می‌شود. گاهی از سولفات مس برای از بین بردن و کنترل جلبک در آب‌های سطحی استفاده می‌شود. در کشورهای توسعه‌یافته، آب و غذا منبع اولیه ورود مس به بدن هستند. غلظت مس اغلب در شبکه توزیع افزایش می‌یابد، به‌ویژه وقتی آب اسیدی باشد یا در pH قلیایی غلظت کربنات بالا باشد. این افزایش به دلیل خوردگی لوله‌ها و اتصالات مسی است. با این که مقدار مس در منابع آب زیاد نیست، ولی با روش‌های تصفیه سنتی نمی‌توان آن را جدا کرد. وجود بیش از ۲/۵ میلی گرم بر لیتر مس در آب مزه نامطبوع به آب خواهد داد و مقادیر بیش‌تر آن رنگ آب را نیز خراب می‌کند. مصرف بیش از حد مس موجب بروز مشکلات گوارشی خواهد شد.

۵-۲-۹-۴-۵- سختی

سختی آب با حل شدن کلسیم و مقدار کم‌تری منیزیم در آب ایجاد می‌شود. متناسب با pH و قلیائیت، سختی بیش‌تر از ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، به‌ویژه با گرم کردن آب، رسوب‌گذاری را به همراه خواهد داشت. همچنین آب با سختی کم‌تر از ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، ظرفیت بافری کمی دارد و می‌تواند خوردگی زیادی برای لوله‌ها ایجاد کند. در واقع مقدار سختی آب با مزه مورد پسند مصرف‌کننده و امکان رسوب‌گذاری متناسب خواهد بود.

۵-۲-۹-۴-۶- آهن

مقدار آهن در آب‌های طبیعی بین ۰/۵ تا ۵۰ میلی گرم بر لیتر است. در آب شرب نیز می‌توان مقادیر کمی آهن را به دلیل استفاده از منعقدکننده‌های آهنی یا خوردگی لوله‌های استیل و چدن در شبکه توزیع مشاهده کرد.

۵-۲-۹-۴-۷- سولفید هیدروژن

میزان مجاز هیدروژن سولفید در آب بین ۰/۵٪ تا ۰/۱٪ گرم بر لیتر تخمین زده می شود. گوگرد در حضور اکسیژن و آب های کلردار به سرعت به سولفید تبدیل می شود. به طور معمول مقدار سولفید هیدروژن در آب بسیار کم است. در شبکه های توزیع که مقادیر اکسیژن محلول آن بسیار کم است بوی تخم مرغ فاسد شده به راحتی قابل تشخیص و بیانگر مقادیر بالای سولفید هیدروژن است.

۵-۲-۹-۴-۸- منگنز

مقادیر بالای منگنز در آب تولیدی، مشابه با آهن، ممکن است منجر به ایجاد رسوب در شبکه توزیع شود. همچنین مقادیر بالاتر از ۰/۱ گرم بر لیتر سبب ایجاد طعم نامطبوع شده و برای مصرف کننده قابل قبول نخواهد بود. حتی مقدار ۰/۲ گرم بر لیتر منگنز نیز باعث ایجاد پوششی بر دیواره لوله ها در شبکه توزیع می شود.

۵-۳- شبکه توزیع

در طول خطوط توزیع باید به مواردی مانند پایش سامانه و نشت لوله توجه شود.

۵-۳-۱- نشت

تمامی مواد مورد استفاده در شبکه توزیع متصل به سامانه های نمک زدایی شامل لوله ها، اتصالات، آب بندی و پوشش داخلی دیواره لوله ها باعث نشت موادی به داخل آب می شوند. فرایندهایی که باعث پدیده نشت می شوند شامل خوردگی، حل شدن دیواره لوله، نفوذ و جدا شدن ذرات دیواره است. مشکلات بو و طعم آب در بسیاری از موارد می تواند ناشی از پدیده نشت باشد. به این دلیل که اغلب موادی که درون آب نشت کرده و ایجاد طعم و بوی بد می کنند غیرسمی بوده و یا در مقادیر بسیار کم و یا به صورتی هستند که برای سلامتی مصرف کننده خطری ندارند. البته مواردی هم وجود دارد که نشت مواد مضر گزارش شده است. مهم ترین آن ها نشت سرب از لوله های سربی است. پایش سرب در آب شهر و جایگزینی خطوط لوله سربی از توصیه های مهم استانداردهای شبکه توزیع است.

از دیگر موادی که پتانسیل نشت در شبکه توزیع را دارد می توان لوله های PVC را نام برد که قبل از سال ۱۹۷۷ ساخته شده اند. همچنین لوله های ساخته شده از سیمان به صورت بسیار نادر ترکیبات آلومینیوم را به آب وارد کرده که باعث مرگ بیماران دیالیزی می شود. به همین دلیل FDA استاندارد تولید آب برای چنین بیمارانی را وضع کرده است.

۵-۳-۲- پایش

پایش شبکه توزیع، یکی از راهکارهای ثابت نگه داشتن کیفیت آب تولیدی است. با پایش پارامترهای فیزیکی - شیمیایی و بیولوژیکی آب می توان از تغییرات ایجاد شده در طول شبکه توزیع اطلاع حاصل کرد و در صورت وجود علایم

هشدار دهنده از بروز مشکلات بعدی جلوگیری نمود. با تغییرات کیفیت آب خام یا شرایط عملیاتی دستگاه و نیز خطاهای موجود، از جمله خطای انسانی کنترل کیفیت تولید را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. کنترل کیفیت آب در سامانه‌های نمک‌زدایی در دو سطح تجهیزات کنترلی و آزمایش‌های دوره‌ای قابل تعریف است.

۵-۳-۲-۱- تجهیزات کنترل کیفیت

سطح اول کنترل کیفیت به وسیله آنالایزرها انجام می‌پذیرد. در سامانه‌های نمک‌زدایی معمولاً pH، هدایت الکتریکی، شاخص ظرفیت کاهش اکسیداسیون (ORP)^۱ و دما به صورت دائمی و با استفاده از آنالایزرها اندازه‌گیری و پایش می‌شود. محدوده مجاز این پارامترها مطابق با استانداردهای موجود برای ورودی آب خام به سامانه‌ها و آب شرب بیان شده است. در مورد پساب‌ها، اندازه‌گیری پارامترها به روش دفع آن بستگی دارد.

در شبکه‌های توزیع، پایش پارامترها به صورت لحظه‌ای و با هزینه کم مورد نظر است. پارامترهایی که پایش می‌شود شامل فشار، کدورت، کلر باقی‌مانده، سرعت و دبی جریان، دما، pH و پارامترهای شیمیایی شامل کل کربن آلی محلول، فلزات، نیتريت و شمارش هتروتروف‌ها است. فشار و کدورت به عنوان پارامترهای فیزیکی در طول خطوط توزیع با استفاده از سنسورهای لحظه‌ای پایش می‌شود. در مورد کدورت باید این نکته مد نظر قرار گیرد که کدورت‌سنج‌ها در نقطه‌ای انتهایی خطوط توزیع باید توان اندازه‌گیری کدورت تا مقادیر بسیار پایین (کم‌تر از ۱ NTU) را داشته باشد. گندزداهایی که در طول خطوط توزیع پایش می‌شوند شامل اندازه‌گیری کلر، کلرآمین و ORP می‌باشند.

۵-۳-۲-۲- آزمایش‌های دوره‌ای

سطح دوم کنترل کیفیت آب در سامانه‌های نمک‌زدایی استفاده از آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت است. آزمایش‌های زیر باید به طور متناوب در آزمایشگاه‌های کنترل کیفی در واحدهای تصفیه آب انجام شوند:

- آزمایش جار به منظور تعیین مقدار ماده منعقدکننده در مرحله پیش تصفیه
- آزمایش‌های شیمی فیزیک
- آزمایش‌های میکروبیولوژی
- آزمایش‌های بیولوژیکی
- آزمایش‌های ریزآلاینده‌های آلی
- آزمایش‌های فلزات سنگین و سمی

لازم به ذکر است، در صورتی که واحدهای پیش تصفیه سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی با استفاده از فناوری‌های جدید طراحی شده باشد، تعدادی از این آزمایش‌ها ضروری نیست. برای انجام آزمایش‌های فوق باید از محل‌های ذیل نمونه‌برداری شود.

- آب خام ورودی به تاسیسات
- آب خروجی از واحد پیش تصفیه
- آب تصفیه شده خروجی

تناوب و آزمون های مورد نظر بر روی آب خام و تصفیه شده در جدول (۳-۵) آمده است.

جدول ۳-۵- تناوب و آزمون های مورد نظر بر روی آب تصفیه شده

عنوان	آب تولیدی
دبی	لحظه ای
درجه حرارت	لحظه ای
pH	سالانه
هدایت الکتریکی	سالانه
آمونیاک	ماهانه
نیتрат	ماهانه
COD	فصلی
TOC	فصلی
محصولات جانبی حاصل از گندزدایی	فصلی
آزمون بیولوژیکی	هفتگی
آزمون باکتری شناسی	روزانه
آنالیز کامل فیزیک-شیمیایی	ماهانه

۴-۵- جمع بندی

۴-۵-۱- تثبیت کیفیت آب برای حداقل کردن احتمال افت کیفی در طول مسیر، قبل از توزیع آب تولیدی

به عنوان مثال، استفاده مناسب از بازدارنده های فسفات، کنترل pH و قلیائیت می تواند خوردگی ناشی از لوله های سربی، مسی و آهنی که باعث به وجود آمدن آب رنگی می شود، را به حداقل برساند. به علاوه، اطمینان از وضعیت میکروبیولوژی آب با حذف تمامی کربن های آلی، تاثیر مثبتی بر کیفیت آب عبوری در لوله ها از محل تولید تا مصرف کننده خواهد داشت.

۴-۵-۲- حداقل کردن رشد میکروبی و ایجاد بیوفیلم در شبکه توزیع

در عین حال که شاید وجود هتروتروف ها در آب خطری برای بهداشت عمومی محسوب نشود ولی رشدشان در آب سبب ایجاد بوی و طعم بد می گردد. در نتیجه میزان نیاز به گندزداها افزایش یافته و در نهایت احتمال خوردگی افزایش می یابد. بیوفیلم ها همچنین محل مناسبی برای رشد پاتوژن ها هستند و این مورد در هنگام طراحی و ساخت شبکه لوله کشی به ویژه در جاهایی که زمان ماند زیاد است حایز اهمیت بوده زیرا زمان طولانی سبب تجزیه گندزداها و بی اثر

شدن آن‌ها می‌شود و متعاقبا احتمال رشد باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم افزایش می‌یابد. به علاوه، کلیفرم‌ها به جز E.Coli در بیوفیلم‌ها رشد کرده و تکثیر می‌شوند.

۵-۴-۳- انتخاب صحیح گندزداها جهت محافظت از سلامت عمومی

در مورد استفاده از کلر آزاد، پتانسیل کاهش باقی‌مانده گندزدا و تشکیل محصولات جانبی گندزدا باید در برابر مشکلات ناشی از کلرآمین بررسی و مقایسه شود. استفاده از کلرآمین پیامدهایی چون نیترا ته کردن، میزان گندزدایی کم‌تر در برابر ارگانیس‌م‌های موجود و افزایش پتانسیل خوردگی را به همراه دارد. علی‌رغم این که در بعضی از سامانه‌ها استفاده از کلرآمین نتایج خوبی نشان داده است، ولی این نتیجه کلی و قابل توسعه به تمامی موارد نیست.

۵-۴-۴- به‌روزرسانی استانداردهای مورد استفاده در خصوص جنس لوله‌ها در شبکه توزیع جهت بهبود

تأثیر آن بر کیفیت آب

به منظور ثابت نگه داشتن کیفیت آب باید از انجام شدن واکنش‌های خاص مانند رشد میکروب‌ها و خوردگی لوله‌های حامل آب جلوگیری کرد. نمونه‌های واضح رشد میکروبی شامل تولید بیوفیلم و چسبیدن باکتری‌ها به دیواره لوله‌ها و تکثیر ارگانیس‌م‌های تولیدکننده مواد نیتروژن‌دار است. واکنش‌های مهم شیمیایی شامل نشت ترکیبات سمی از مواد لوله‌ها، خوردگی دیواره داخل، تشکیل رسوب و تجزیه و بی‌اثر شدن گندزداها در طول شبکه توزیع است. تمام این واکنش‌ها می‌تواند با استفاده از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مانند دما، pH، دبی جریان، غلظت و نوع گندزدا، نوع و میزان فراوانی مواد آلی و جنس لوله کنترل شود.

پیوست ۱

واحدهای سختی و روش تبدیل آنها

جدول پ.۱-۱- واحدهای سختی و روش تبدیل آن‌ها

توضیحات	سختی کل	
یک میلی گرم کربنات کلسیم بر لیتر	۱	میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم (ppm as CaCO ₃)
یک گرین (۶۴/۸ میلی گرم) کربنات کلسیم در یک گالن آمریکا (۳/۷۹ لیتر)	۱۷/۱۱۸	گرین بر گالن (gpg)
ده میلی گرم اکسید کلسیم بر لیتر	۱۷/۸۴۸	درجه سختی عمومی ^۱
یک گرین (۶۴/۸ میلی گرم) کربنات کلسیم در یک گالن انگلیس (۴/۵۵ لیتر)	۱۴/۲۵۴	درجه کلارک یا درجه انگلیسی ^۲
۱۰ میلی گرم کربنات کلسیم بر لیتر	۱۰	درجه فرانسوی ^۳
۱۰ میلی گرم اکسید کلسیم بر لیتر	۱۷/۸۴۸	درجه آلمانی ^۴
یک میلی گرم کربنات کلسیم بر لیتر	۱	درجه آمریکایی ^۵

* درجه سختی عمومی با درجه آلمانی و درجه آمریکایی با ppm as CaCO₃ برابر است.

1- Degrees of General Hardness (dGH)

2- Clarke Degrees (°Clark)

3- French Degrees (°F)

4- German Degrees (°dH)

5- American Degrees

پیوست ۲

استانداردها

پ. ۱-۲- کلیات

جدول‌های (پ. ۱-۲) تا (پ. ۶-۲) استانداردهای مربوط به کیفیت آب آشامیدنی مطلوب را نشان می‌دهند.

جدول پ. ۱-۲- مقایسه‌ی استانداردهای معتبر برای پارامترهای فیزیکی آب شرب [۱۳۷ تا ۱۳۱]

استاندارد													
EC ^۶		FPTC ^۵		NHMRC ^۴		ISIRI ^۳		USEPA ^۲		WHO ^۱		واحد اندازه‌گیری	پارامتر
مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب		
---	≤ ۱	< ۳	≤ ۱	< ۵	≤ ۱	< ۵	≤ ۱	< ۵	---	< ۵	≤ ۱	NTU	کدورت
---	---	< ۱۵	---	< ۲۵ (ب)	< ۱۵ (الف)	< ۱۵	---	< ۱۵	---	< ۱۵	---	TCU	رنگ
---	---	(هـ) ---		(ج) ---		---	≤ ۳ (د)	≤ ۳	---	(ج) ---		TON	بو و مزه

الف - واحد رنگ در استاندارد آب شرب کانادا هازن می‌باشد.

ب- فقط در صورت پایین بودن کدورت قابل قبول است.

ج- باید برای مصرف‌کننده قابل قبول باشد. ضمناً برای مواد یا ترکیب‌های شیمیایی مختلف به‌طور جداگانه ذکر شده است.

د- حداکثر ۲ واحد در دمای ۱۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و حداکثر ۳ واحد در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد

هـ- باید برای مصرف‌کننده قابل قبول باشد.

جدول پ. ۲-۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی [۱۳۷ تا ۱۳۱]

EC		FPTC		NHMRC		ISIRI		USEPA		WHO		نوع ترکیب
حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	
۱۵۰۰	---	---	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	---	۵۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰	کل مواد جامد محلول
---	---	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	---	---	۵۰۰	۲۰۰	سختی کل برحسب CaCO ₃
---	۲۵۰	---	۲۵۰	---	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	---	۲۵۰	---	۲۵۰	کلرور
---	۲۵۰	---	۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	---	۲۵۰	---	۲۵۰	سولفات
---	---	---	۰/۰۵	---	۰/۰۵	---	۰/۰۵	---	---	۰/۱	۰/۰۵	سولفید هیدروژن
---	۰/۲	---	۰/۳	---	۰/۳	---	۰/۳	---	۰/۳	---	۰/۳	آهن
---	۰/۰۵	---	۰/۰۵	۰/۵	۰/۱	۰/۴	۰/۱	---	۰/۰۵	۰/۲	۰/۱	منگنز
---	۰/۲	۰/۱-۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱-۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۰۵	۰/۱-۰/۲	۰/۱	آلومینیوم
---	---	---	۵	---	۳	---	۳	---	۵	۵	۳	روی
۲	---	---	۱	۲	۱	۲	۱	---	۱	۲	۱	مس

1- World Health Organization (WHO)

2- United States Environmental Protection Agency (USEPA)

3- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI)

4- Australian National Health and Medical Research Council (NHMRC)

5- Canadian Federal-Provincial-Territorial Committee (FPTC)

6- European Communities (EC)

ادامه جدول پ.۲-۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی [۱۲۷ تا ۱۳۱]

EC		FPTC		NHMRC		ISIRI		USEPA		WHO		نوع ترکیب
حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	
۵۰	---	۴۵	---	۵۰	---	۵۰	---	---	۱۰	۵۰	---	نیترات
---	۰/۵	۳/۲	---	۳	---	۳	---	---	۱	۳	۰/۲	نیتريت
---	---	---	---	---	---	---	۳۰۰	---	---	---	۳۰۰	کلسیم
---	---	---	---	---	---	---	۳۰	---	---	---	---	منیزیم
---	۰/۵	---	---	---	۰/۵	---	۱/۵	---	---	---	۱/۵	آمونیاک
---	۲۰۰	---	۲۰۰	---	۱۸۰	۲۰۰	۲۰۰	---	---	۲۰۰	۲۰۰	سدیم

جدول پ.۲-۳- حداکثر مجاز مواد شیمیایی معدنی سمی موجود در آب آشامیدنی [۱۲۷ تا ۱۳۱]

EC	FPTC	NHMRC	ISIRI	USEPA	WHO	نوع ترکیب
حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	آرسنیک
---	---	---	۷	۷	---	آزبست*
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱	سرب
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۵	کروم
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	سلنیوم
۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	کادمیوم
۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۲	آنتیموان
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	جیوه (معدنی)
---	---	۰/۰۵	۰/۰۷	---	۰/۰۷	مولیبدن
۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲	۰/۰۷	سیانور
۱	۵	۴	۰/۵	---	۰/۵	بر
۰/۰۲	---	۰/۰۲	۰/۰۷	---	۰/۰۷	نیکل
---	۱	۰/۷	۰/۷	۲	۰/۷	باریم
---	---	---	۰/۱	---	---	وانادیوم

* واحد اندازه گیری آزبست میلیون فیبر بر لیتر (MFL) است.

جدول پ.۲-۴- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی آلی موجود در آب آشامیدنی [۱۲۷ تا ۱۳۱]

EC	FPTC	NHMRC	ISIRI	USEPA	WHO	نام ماده	گروه
حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)		
---	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۳	---	۰/۰۰۴	تتراکلرایدکربن	آلکان‌های کلرینه شده ^۱
---	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۴	---	۰/۰۰۲	دی‌کلرومتان	
۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۳	---	۰/۰۰۳	۱ و ۲- دی‌کلرواتان	
---	---	---	۰/۰۰۶	---	۰/۰۰۵	۱ و ۲- دی‌کلرواتن	اتن‌های کلرینه شده ^۲
۰/۰۰۱	---	---	---	---	۰/۰۰۲	تری‌کلرواتن	
---	---	---	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۴	تتراکلرواتن	
۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۱	---	۰/۰۰۱	بنزن	هیدروکربن‌های آروماتیک ^۳
---	---	۰/۰۲۴	۰/۸	۰/۰۲۵	۰/۷	تولوئن	
---	---	۰/۳	۰/۶	۰/۰۲	۰/۵	زایلین‌ها	
---	---	۰/۰۰۲۴	۰/۳	۰/۰۰۳	۰/۳	اتیلبنزن	
---	---	---	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۱	استیرن	
۰/۰۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۰۱	---	۰/۰۰۰۰۷	شاخص بنزوالاپیرن	بنزن‌های کلرینه شده ^۴
---	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	---	---	۰/۰۰۱	مونوکلروبنزن	
---	۰/۲	۰/۰۰۳	۱/۵	۰/۰۰۱	۱	۱ و ۲- دی‌کلروبنزن	
---	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷۵	۱ و ۴- دی‌کلروبنزن	
---	---	---	۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	---	۱ و ۲ و ۳- تری‌کلروبنزن	
---	---	---			۰/۰۰۲	۱ و ۲ و ۴- تری‌کلروبنزن	
---	---	---			۰/۰۰۵	۱ و ۳ و ۵- تری‌کلروبنزن	
---	---	---	۰/۰۰۱	---	۰/۰۰۸	دی (۲- اتیل هگزیل) فتالات	سایر
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۲	---	۰/۰۰۰۵	اکریل آمید	
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۵	---	۰/۰۰۰۴	اپی‌کلروهیدرین	
---	---	---	۰/۰۰۰۷	---	۰/۰۰۰۶	هگزاکلروبوئادین	
---	---	---	۰/۲۵	---	۰/۶	اتیلن دی‌آمین تترااستیک اسید	
---	۰/۴	---	۰/۲	---	۰/۲	نیتروتری‌استیک اسید	
---	۰/۰۲	---	---	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	دی‌متوات	
---	---	---	---	۰/۰۰۵	---	۱ و ۴- دیوکسان	
---	---	۰/۰۱۵	---	---	۰/۰۱۵	متیلترشربوتیل‌اتر	
---	۰/۰۰۱۵	---	۰/۰۰۱۳	---	۰/۰۰۱	میکروکیستین	
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲	---	۰/۰۰۰۳	---	۰/۰۰۲	وینیل‌کلراید	

* کل تری‌کلروبنزن

آب آشامیدنی باید عاری از هرگونه میکروارگانیسم بیماری‌زا مانند ویروس‌های انسانی، تک‌یاختگان بیماری‌زا، کرم‌ها و ارگانیسم‌های آزادزی باشد.

- 1- Chlorinated Alkanes
- 2- Chlorinated Ethenes
- 3- Aromatic hydrocarbons
- 4- Chlorinated Benzenes

جدول پ.۲-۵- استاندارد ویژگی های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان ملی استاندارد ایران (۱۴۱۱) [۴]

نوع آب	نوع باکتری	حد مجاز در ۱۰۰ میلی لیتر
کلیه آب های آشامیدنی	اشریشیاکلی یا کلی فرم های گرم پای ^۱	منفی
آب آشامیدنی برای استفاده در سیستم توزیع	اشریشیاکلی یا کلی فرم های گرم پای	منفی
آب تصفیه شده موجود در سیستم توزیع	اشریشیاکلی یا کلی فرم های گرم پای	منفی

جدول پ.۲-۶- استاندارد ویژگی های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی (WHO) [۱۲۷]

نوع آب	نوع باکتری	حد مجاز در ۱۰۰ میلی لیتر
کلیه آب های آشامیدنی	اشریشیاکلی	صفر
	انتروکوک ^۲	صفر
	سودوموناس آرجینوزا ^۳	صفر
	کلی فرم مدفوعی	صفر

استانداردهای ارائه شده از طرف آژانس بین المللی حفاظت از محیط زیست مشابه سازمان بهداشت جهانی و سازمان ملی استاندارد ایران بوده و حضور هیچ یک از گونه های کلی فرم های مدفوعی، انتروکوک و سودوموناس در آب شرب و سیستم های توزیع و آب های شرب بسته بندی را در هر ۱۰۰ میلی لیتر نمونه آب مجاز نمی داند. لازم به ذکر است که در این راستا استفاده از آزمایش های حضور/غیاب^۴ را برای تشخیص کیفیت میکروبی آب به دلیل هزینه کمتر توصیه می کند. در جدول های (پ.۲-۷) تا (پ.۲-۱۲) استاندارد زیست محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب آورده شده است.

جدول پ.۲-۷- استانداردهای زیست محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب [۱]

مواد آلوده کننده	تخلیه به آب های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی گرم بر لیتر)	مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)
نقره	۱	۰/۱	۰/۱
آلومینیوم	۵	۵	۵
آرسنیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱
بر	۲	۱	۱
باریم	۵	۱	۱
بریلیوم	۰/۱	۱	۰/۵
کلسیم	۷۵	-	-
کادمیم	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵
کلر آزاد	۱	۱	۰/۲
کلراید	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰
فرم آلدئید	۱	۱	۱
فنل	۱	ناچیز	۱
سیانور	۰/۵	۰/۱	۰/۱

1- Thermophiles
2- Enterococci
3- Aeruginosa
4-Present/Absent

ادامه جدول پ.۲-۷- استاندارد زیست‌محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب [۴]

مواد آلوده‌کننده	تخلیه به آب‌های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی گرم بر لیتر)	مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)
کبالت	۱	۱	۰/۰۵
کرم ۶ ظرفیتی	۰/۵	۱	۱
کرم ۳ ظرفیتی	۲	۲	۲
مس	۱	۱	۰/۲
فلوراید	۲/۵	۲	۲
آهن	۳	۳	۳
جیوه	ناچیز	ناچیز	ناچیز
لیتیوم	۲/۵	۲/۵	۲/۵
منیزیوم	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
منگنز	۱	۱	۱
مولیبدن	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
نیکل	۲	۲	۲
آمونیم	۲/۵	۱	-
نیتريت	۱۰	۱۰	-
نیترات	۵۰	۱۰	-
فسفات	۶	۶	-
سرب	۱	۱	۱
سلنیم	۱	۰/۱	۰/۱
سولفید	۳	۳	۳
سولفیت	۱	۱	۱
سولفات	۴۰۰ (تبصره ۱)	۴۰۰ (تبصره ۲)	۵۰۰
وانادیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۱
روی	۲	۲	۲
چربی و روغن	۱۰	۱۰	۱۰
دترجنت	۱/۵	۰/۵	۰/۵
BOD ₅ (تبصره ۳)	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۱۰۰
COD (تبصره ۳)	۶۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۶۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۲۰۰
اکسیژن محلول (حداقل)	۲	-	۲
مجموع مواد جامد محلول	(تبصره ۱)	(تبصره ۲)	-
مجموع مواد جامد معلق	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	-	۱۰۰
مواد قابل ته‌نشین	۰	-	-
pH (حدود)	۶/۵-۷/۵	۵-۹	۶-۸/۵
مواد رادیواکتیو	۰	۰	۰
کدورت (واحد کدورت)	۵۰	-	۵۰
رنگ (واحد رنگ)	۷۵	۷۵	۷۵
درجه حرارت	(تبصره ۴)	-	-

ادامه جدول پ.۲-۷- استاندارد زیست محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب [۴]

مواد آلوده کننده	تخلیه به آب های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی گرم بر لیتر)	مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)
کلی فرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
کل کلی فرم (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
تخم انگل	-	-	(تبصره ۵)

تبصره ۱- آن دسته از فاضلاب های صنعتی که آلودگی آن ها بیش از مقادیر فوق نباشد می تواند فاضلاب خود را با کسب موافقت سازمان ذیربط بدون تصفیه دفع نمایند.

تبصره ۲- تخلیه با غلظت بیش از میزان مشخص شده در جدول در صورتی مجاز خواهد بود که افزایش کلراید، سولفات و مواد محلول پساب خروجی نسبت به آب مصرفی بیش از ۱۰ درصد نباشد.

تبصره ۳- صنایع موجود مجاز خواهند بود BOD₅ و COD را حداقل تا ۹۰ درصد مقادیر فوق کاهش دهند.

تبصره ۴- درجه حرارت باید به میزانی باشد که بیش از ۳ درجه سانتی گراد در شعاع ۲۰۰ متری محل ورود آن، درجه حرارت منبع پذیرنده را افزایش یا کاهش ندهد.

تبصره ۵- تعداد تخم انگل در فاضلاب تصفیه شده شهری، در صورت استفاده از آن جهت آبیاری محصولات که به صورت خام مورد مصرف قرار می گیرند نباید بیش از یک عدد در لیتر باشد.

جدول پ.۲-۸- پیش نویس استاندارد ایزو (ISO-DIS-21348) در خصوص تابش های خورشیدی

علامت اختصاری	محدوده طول موج (نانومتر)	انرژی هر فوتون (eV)	
UVA	۳۱۵ تا ۴۰۰	۳ تا ۳/۹۴	فرابنفش نوع A، موج بلند، یا نور سیاه نزدیک (Near)
NUV	۳۰۰ تا ۴۰۰	۳/۱ تا ۴/۱۳	فرابنفش نوع B، یا موج متوسط میانه (Middle)
UVB	۲۸۰ تا ۳۱۵	۳/۹۴ تا ۴/۴۳	فرابنفش نوع C، موج کوتاه، یا میکرو بکش دور (Far)
MUV	۲۰۰ تا ۳۰۰	۴/۱۳ تا ۶/۲۰	
UVC	۱۰۰ تا ۲۸۰	۴/۴۳ تا ۱۲/۴	
FUV	۱۲۲ تا ۲۰۰	۶/۲ تا ۱۰/۲	
VUV	۱۰ تا ۲۰۰	۶/۲ تا ۱۲۴	خلأ (Vacuum)
EUV	۱۰ تا ۱۲۱	۱۰/۲ تا ۱۲۴	بی نهایت (Extreme)

جدول پ.۲-۹- حداکثر مجاز و مطلوب برخی از گندزداها در آب آشامیدنی [۵]

گندزدا	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)
مونوکلر آمین	۰/۳	۳
کلر	-	۵

جدول پ.۲-۱۰- حداکثر مجاز و مطلوب برخی محصولات جانبی گندزدایی در آب آشامیدنی [۵]

گندزدا	محصول جانبی	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)
ازن	برومات	---	۰/۰۱
	بروموفرم	---	۰/۱
دی اکسید کلر	کلرات	---	۰/۷
	کلریت	---	۰/۷

ادامه جدول پ.۲-۱۰- حداکثر مجاز و مطلوب برخی محصولات جانبی گندزدايي در آب آشاميدني [۵]

گندزدا	محصول جانبی	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)
کلر / اسید هیپوکلرو	کلروفلها	۰/۰۰۰۱	---
		۰/۰۰۰۳	---
		۰/۰۰۲	۰/۲
	تری‌هالومتانها*	بروموفرم	۰/۱
		دی‌بروموکلرومتان	۰/۱
		برومو دی‌کلرومتان	۰/۰۶
		کلروفرم	۰/۳
	کلرو استیک اسیدها	دی‌کلرو استیک اسید	۰/۰۵
		تری‌کلرو استیک اسید	۰/۲
	مونو کلرو استات		۰/۰۲
کلر یا کلرآمینها	کلرو استو نیتریلها	---	۰/۰۲
	دی‌برومو استو نیتریل	---	۰/۰۷
	سیانوژن کلراید	---	۰/۰۷
کلرآمینها	N- نیتروس دی‌متیل آمین	---	۰/۱
* مجموع نسبت غلظت بروموفرم به بروموفرم استاندارد، دی‌بروموکلرومتان به دی‌بروموکلرومتان استاندارد، برومو دی‌کلرومتان به برومو دی‌کلرومتان استاندارد و کلروفرم به کلروفرم استاندارد باید کمتر یا مساوی ۱ باشد.			

جدول پ.۲-۱۱- نسبت pH با حداقل مجاز کلر آزاد باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشاميدني [۵]

pH	حداقل مقدار مجاز کلر آزاد باقی‌مانده (ppm)
کمتر از ۸	۰/۵
۸ تا ۹	۰/۶

جدول پ.۲-۱۲- میزان مجاز کلر باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشاميدني

در سیستم‌های مختلف آبرسانی و محل برداشت [۵]

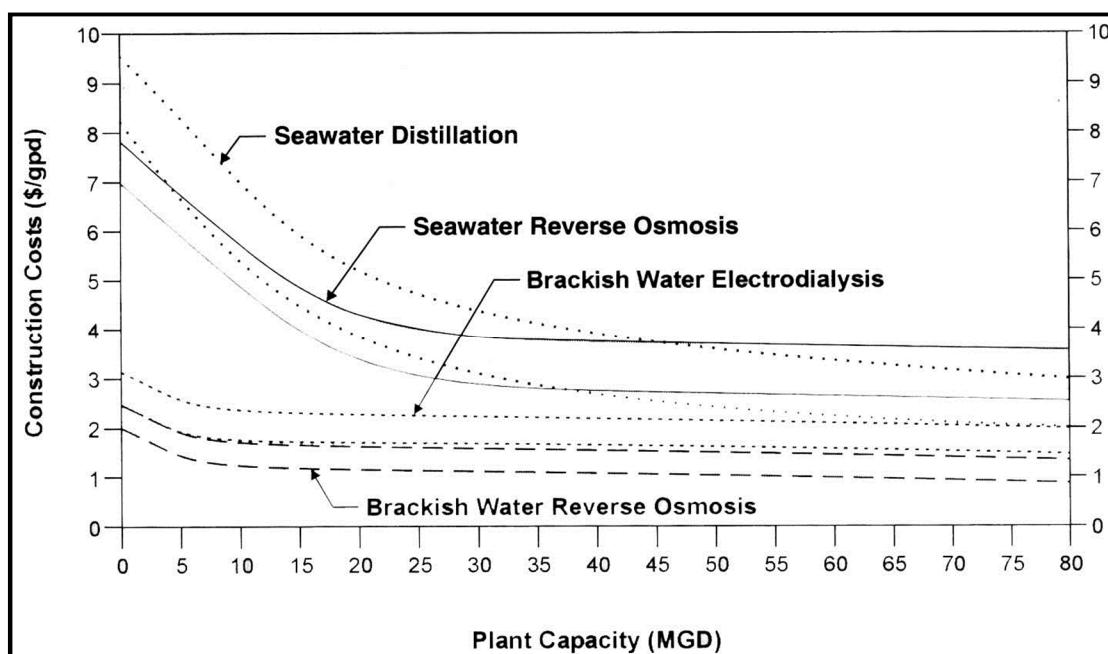
سیستم آبرسانی و محل برداشت	مقدار کلر آزاد باقی‌مانده (ppm)
شیر انشعاب عمومی	۰/۵ تا ۱
تانکرهای سیار توزیع آب آشاميدني در محل بارگیری	۱ تا ۲
تانکرهای سیار آب آشاميدني در محل توزیع	۰/۵ تا ۱

پیوست ۳

نمودارهای مبحث اقتصاد نمک زدایی

پ.۳-۱- کلیات

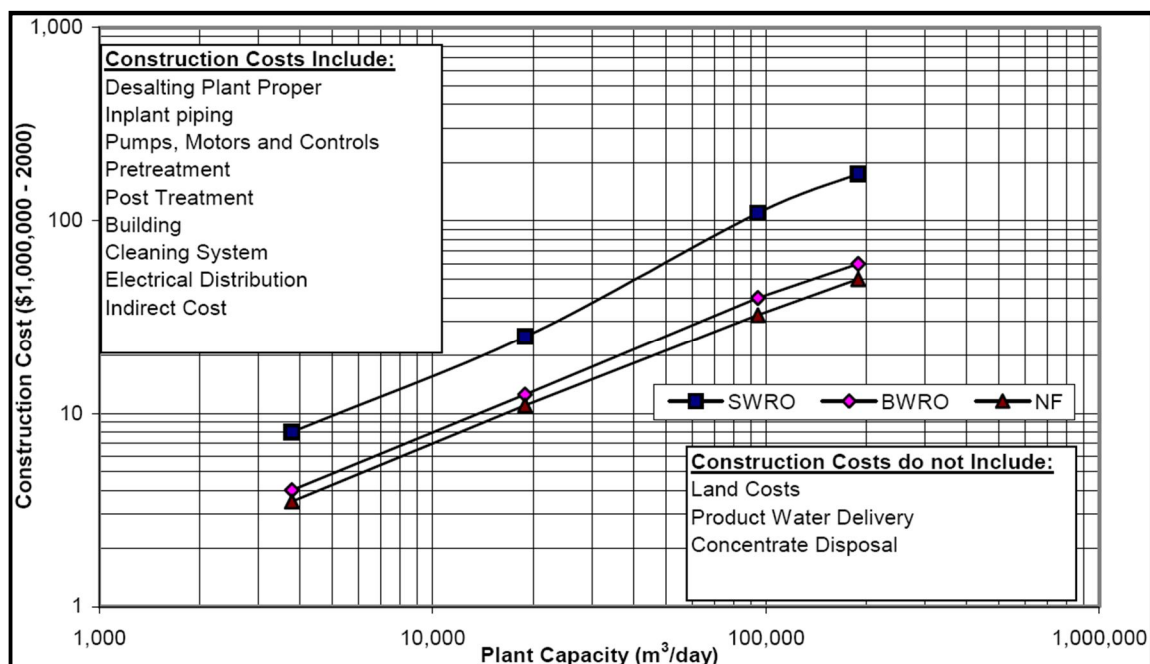
هزینه ساخت یا سرمایه‌گذاری، به تمامی هزینه‌هایی که مربوط به ساخت تجهیزات است اطلاق می‌شود. شکل (پ.۳-۱) میانگین جهانی هزینه ساخت واحدهای نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور را بر حسب دلار آمریکا بر گالن در روز تا سال ۲۰۰۴ برای ظرفیت‌های مختلف نشان می‌دهد. ساخت واحد نمک‌زدایی در کنار نیروگاه (واحد دومنظوره) باعث کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و ساخت و همچنین هزینه‌های عملیات و نگهداری می‌شود. علاوه بر این، بخار برای فرآیندهای حرارتی در دسترس است [۸۳ و ۸۴]. اگرچه در سال‌های اخیر تغییراتی در هزینه‌ها رخ داده است ولی نسبت بین فرایندها تقریباً ثابت مانده است.



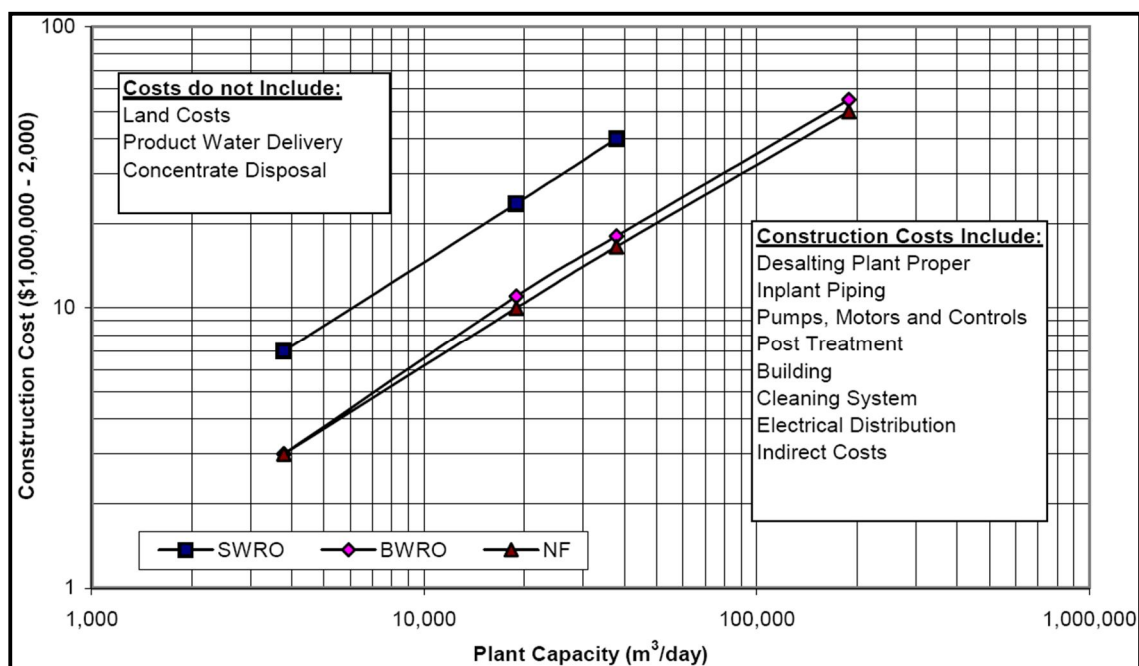
شکل پ.۳-۱- نمودار هزینه ساخت واحدهای نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور برای ظرفیت‌های مختلف [۸۳]

با توجه به شکل (پ.۳-۱)، برای نمک‌زدایی آب لب‌شور تنها فرآیندهای الکترودیالیز و اسمز معکوس مناسب هستند. هزینه‌های نمک‌زدایی آب لب‌شور برای آب تغذیه با TDS، ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. هزینه‌های نشان داده شده در شکل (پ.۳-۱) فقط هزینه‌های «ساخت در محل» هستند و شامل هزینه‌های مهندسی، قانونی، مالی، انتقال مواد اولیه، آب تولیدی، هزینه‌های احتمالی و هزینه زمین نیست [۸۳].

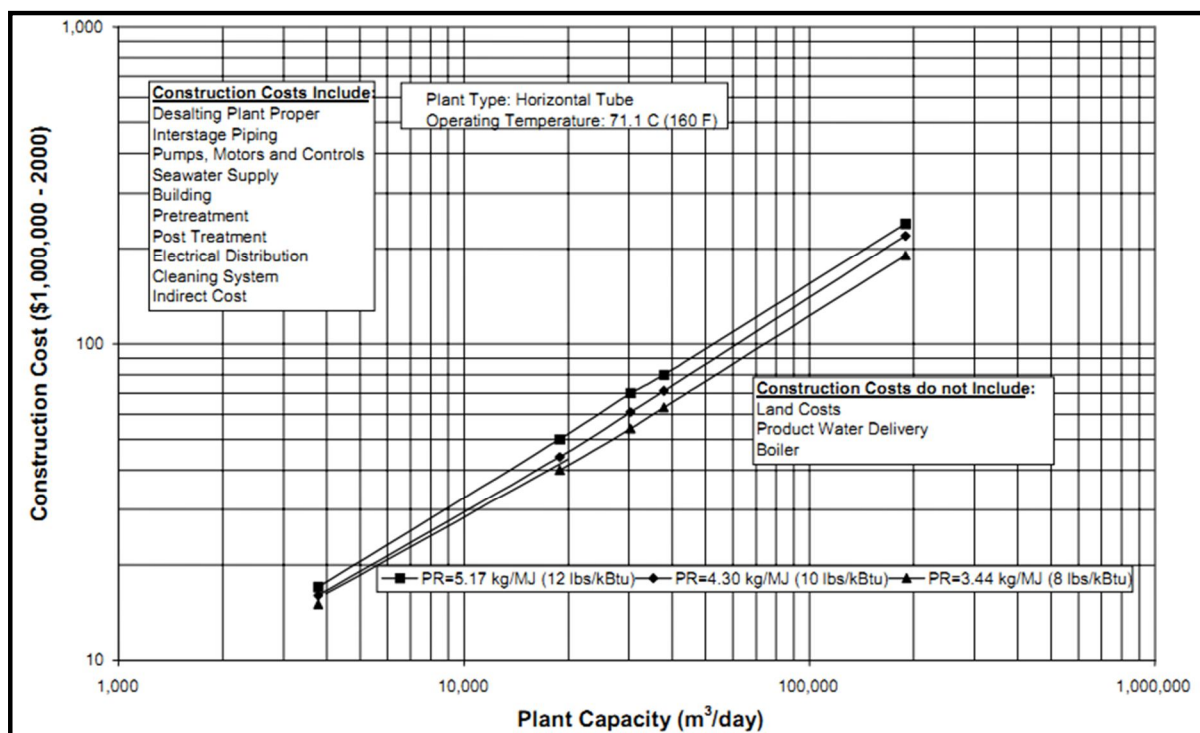
شکل‌های (پ.۳-۲) تا (پ.۳-۲۲) نمودار هزینه ساخت و تجهیزات را برای فرایندهای مختلف نمک‌زدایی نشان می‌دهند. [۸۴]



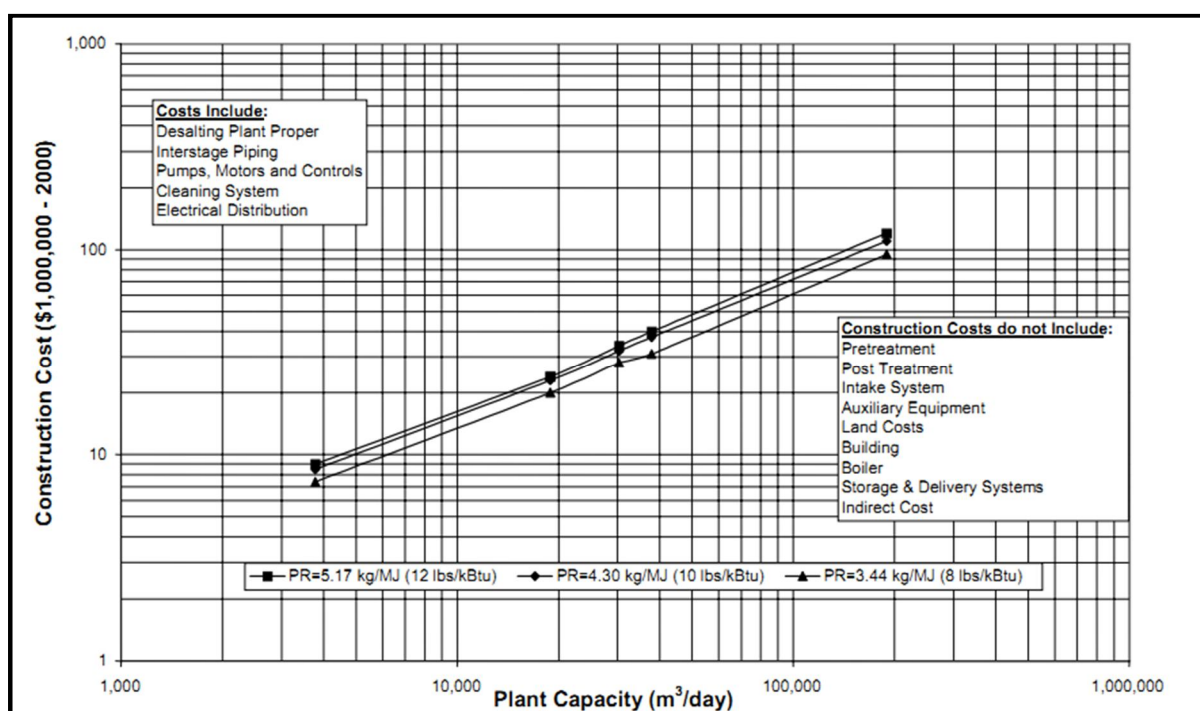
شکل پ.۲-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



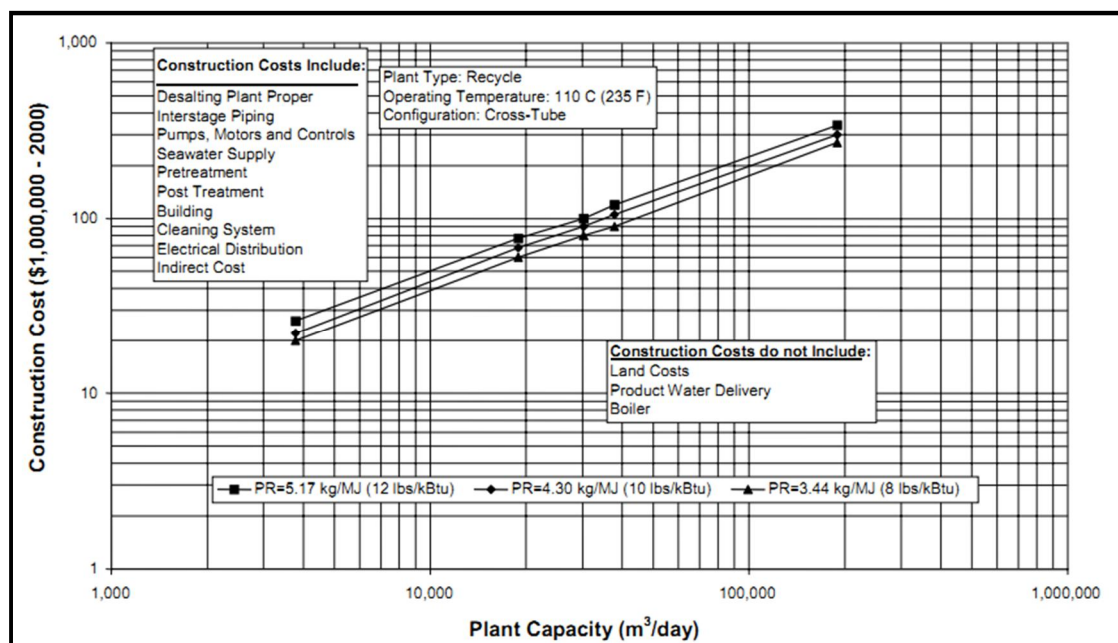
شکل پ.۳-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



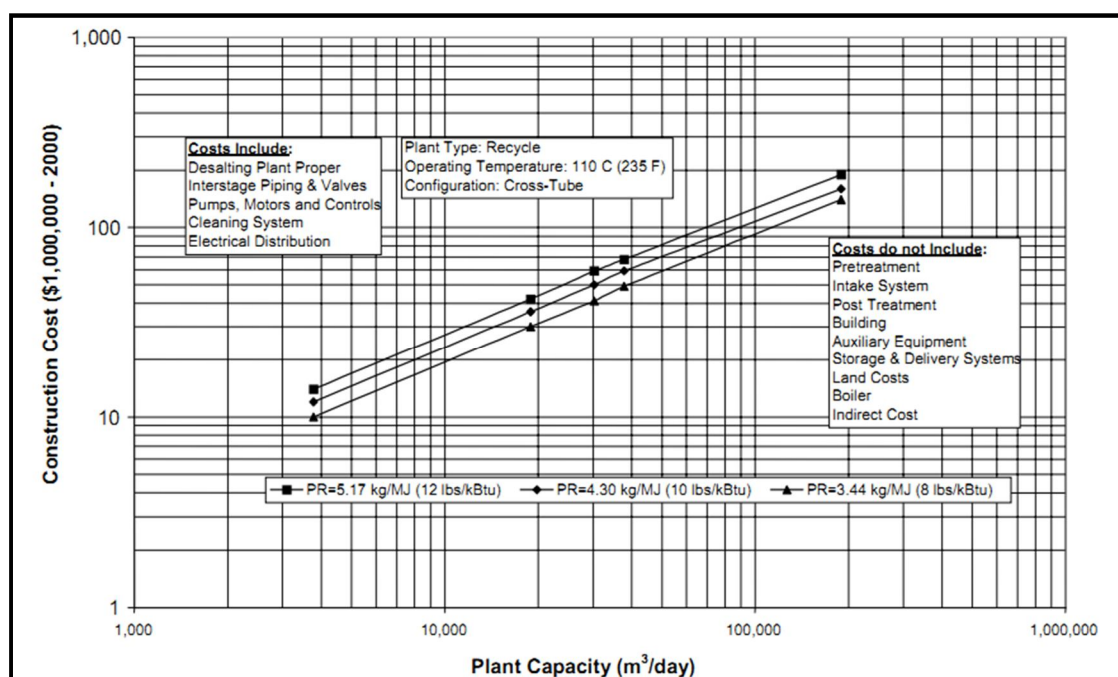
شکل پ.۳-۴ - هزینه ساخت فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



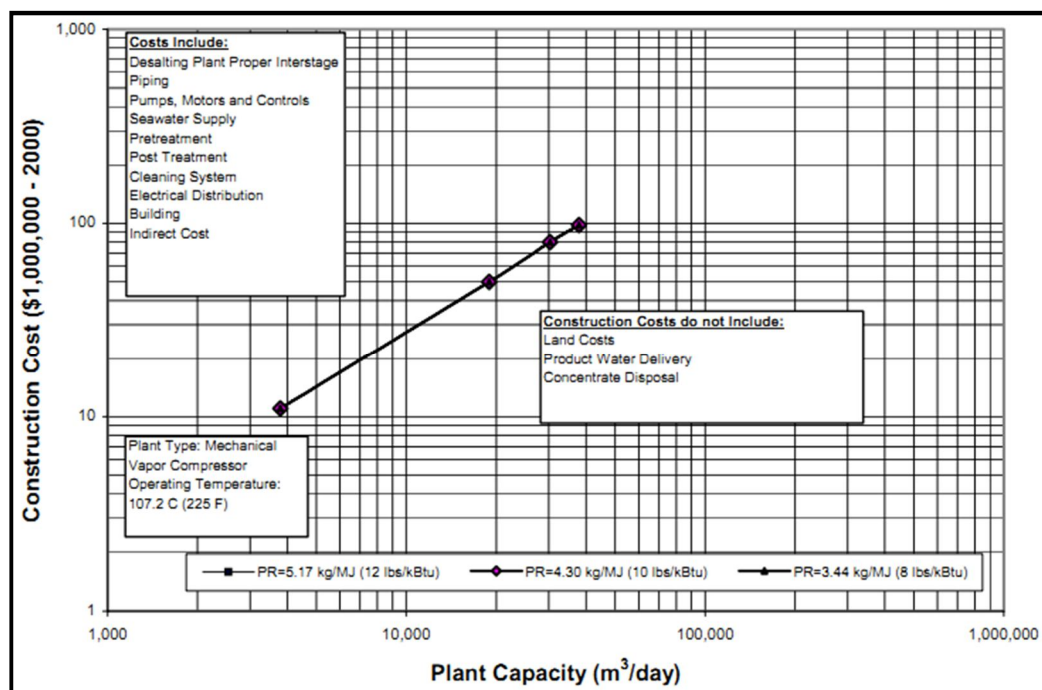
شکل پ.۳-۵ - هزینه تجهیزات فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



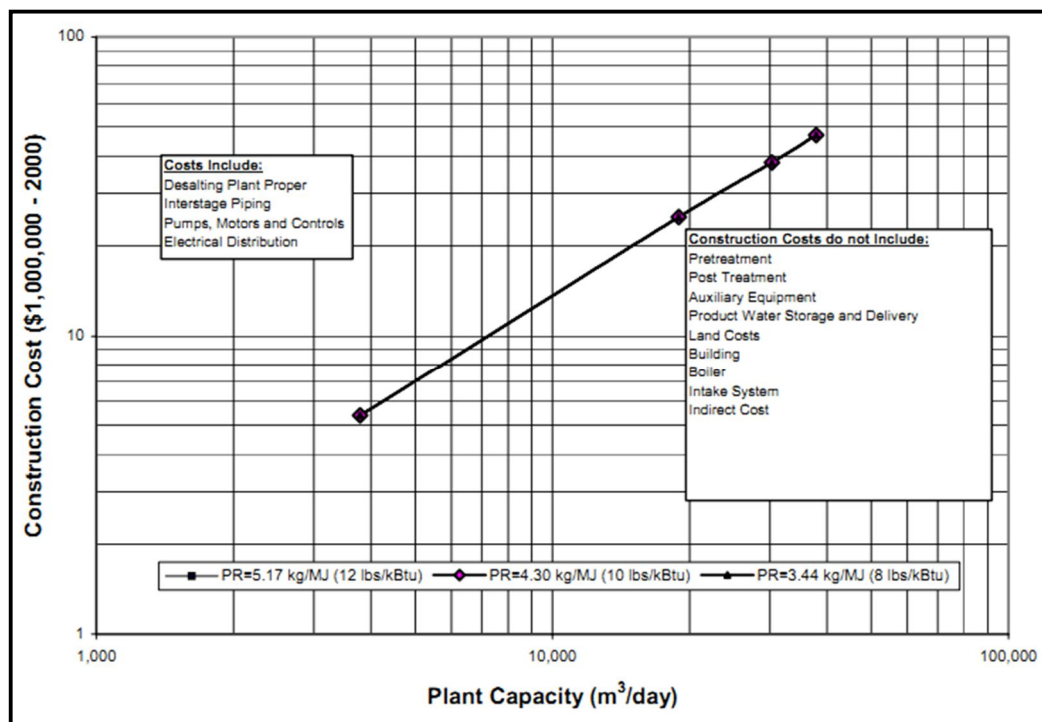
شکل پ.۳-۶- هزینه ساخت فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



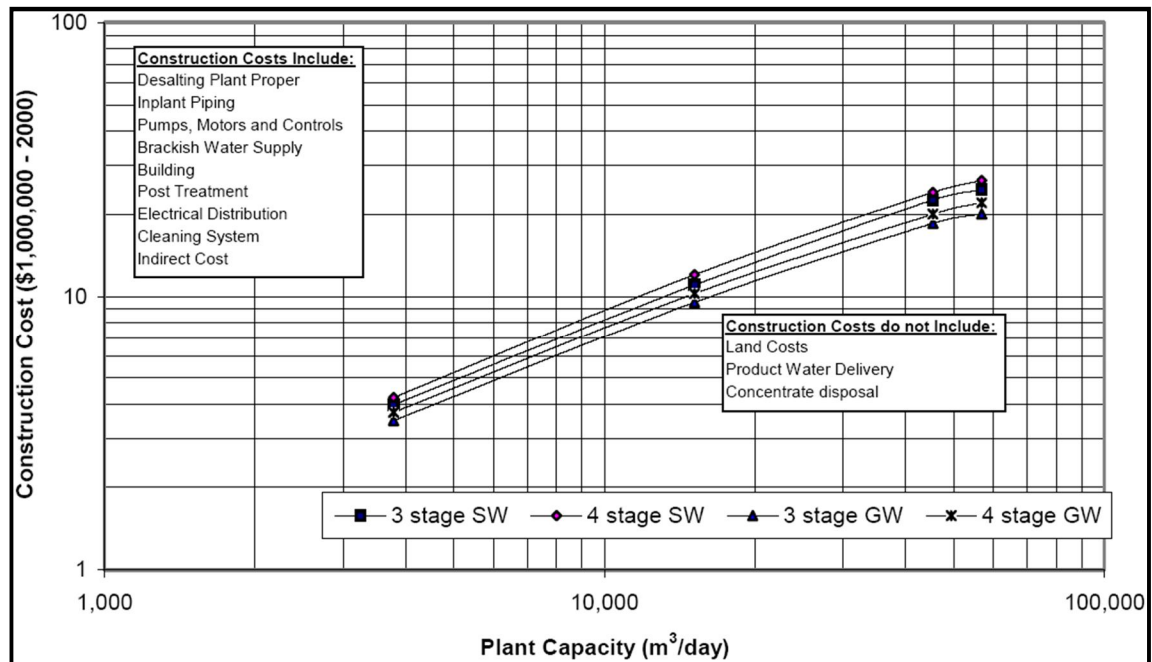
شکل پ.۳-۷- هزینه تجهیزات فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



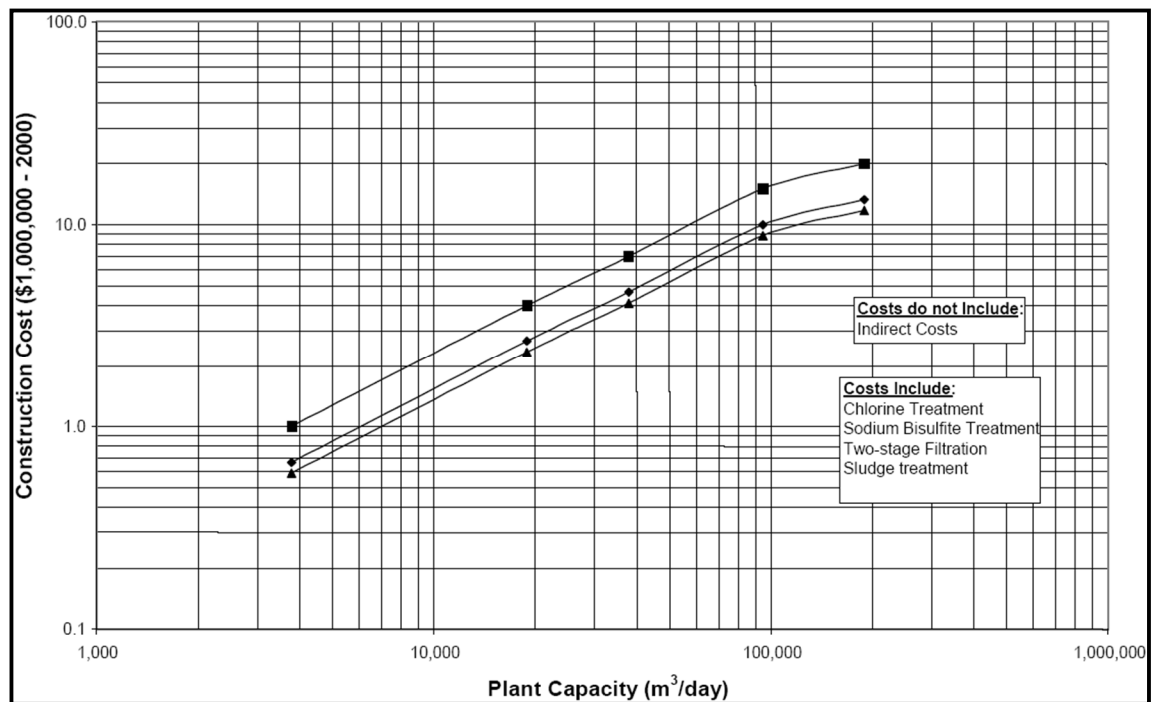
شکل پ.۳-۸- هزینه ساخت فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



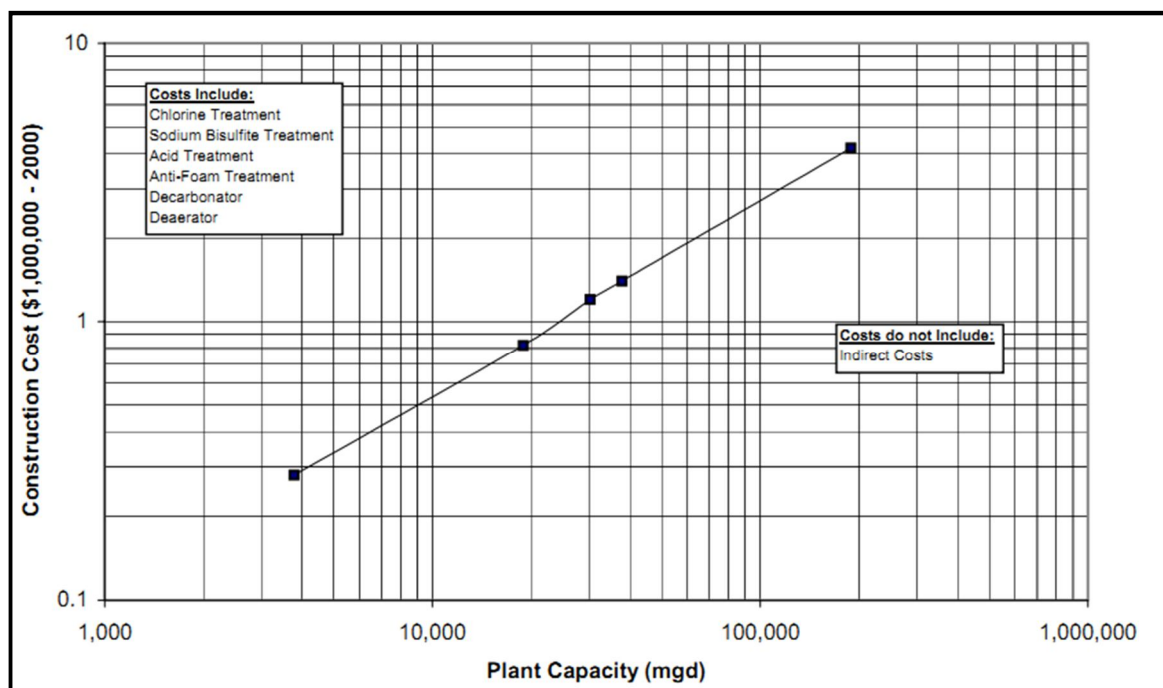
شکل پ.۳-۹- هزینه تجهیزات فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



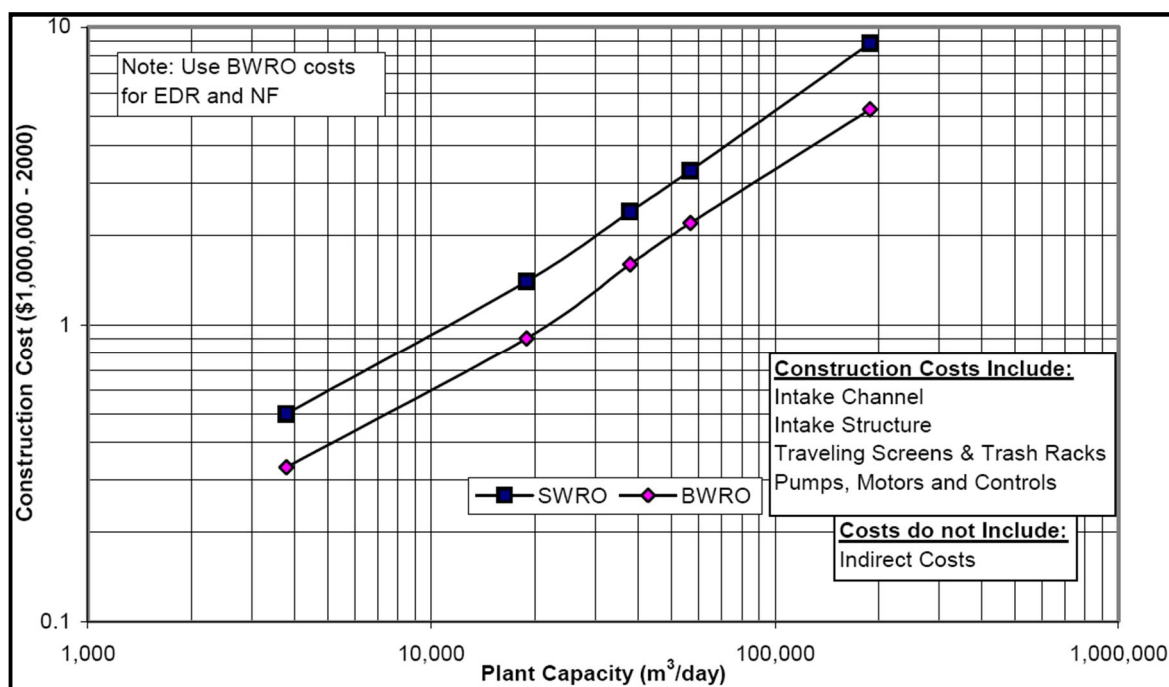
شکل پ. ۳-۱۰- هزینه ساخت فرآیندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده برای آب های سطحی و چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



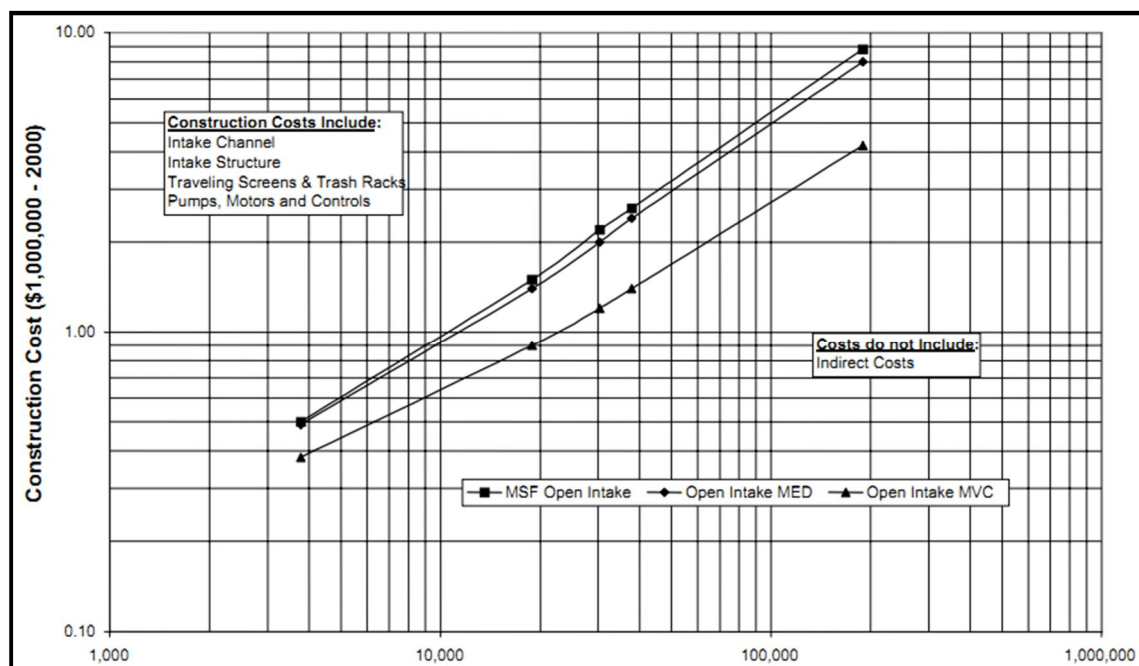
شکل پ. ۳-۱۱- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای غشایی برای آب های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



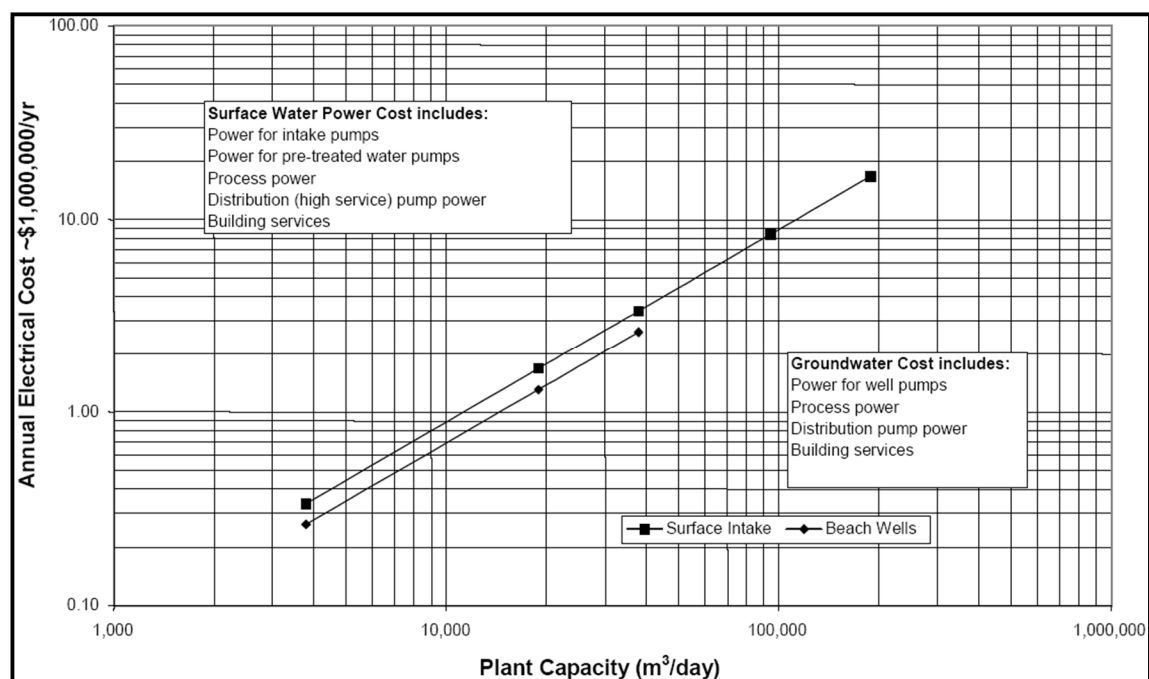
شکل پ.۳-۱۲- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



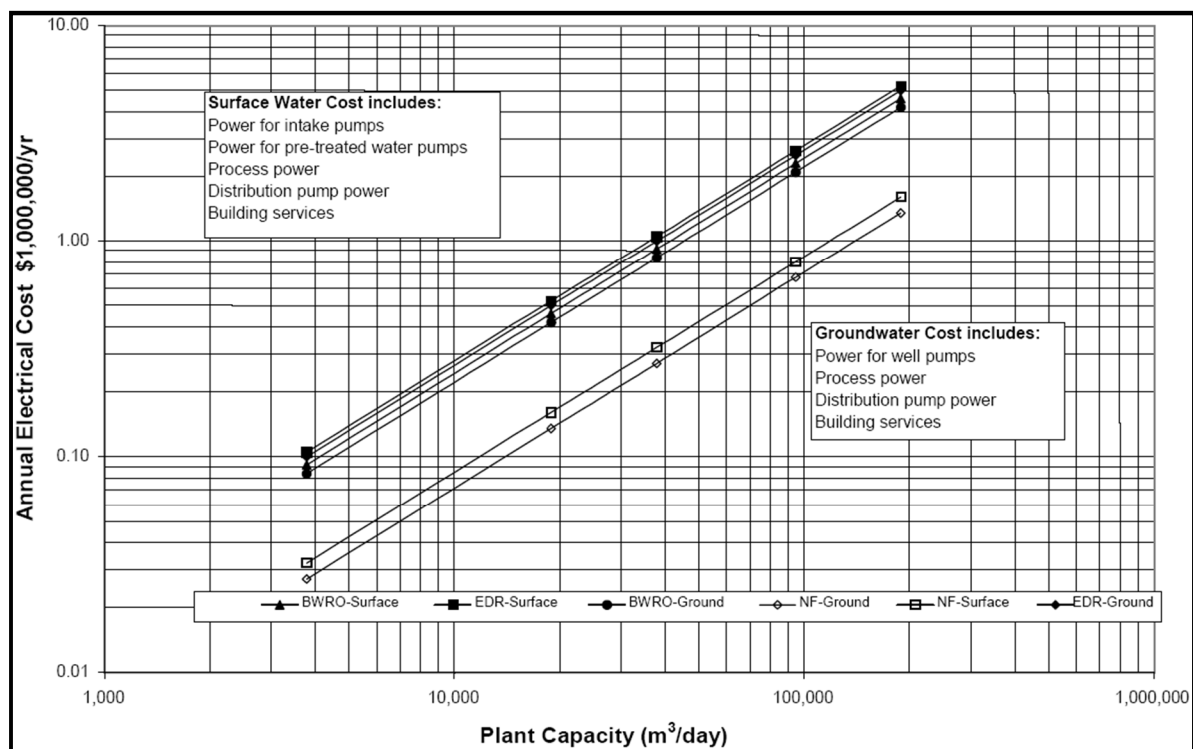
شکل پ.۳-۱۳- هزینه ساخت آب‌گیر فرآیندهای غشایی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



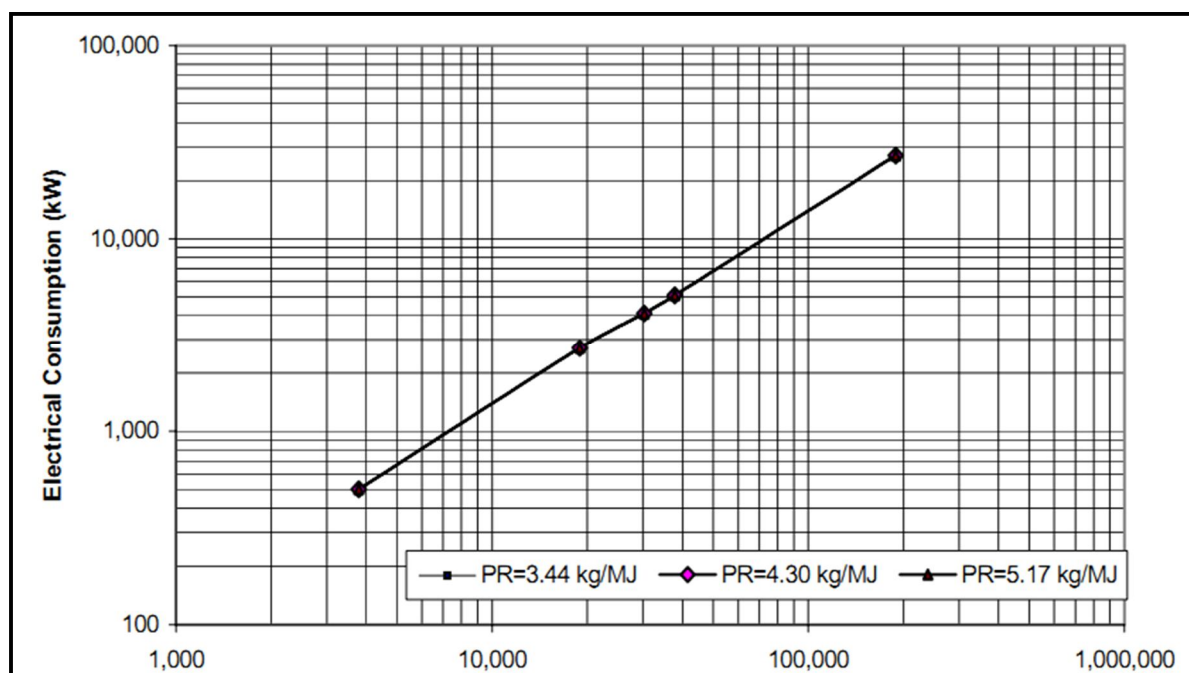
شکل پ. ۳-۱۴- هزینه ساخت آب گیر فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



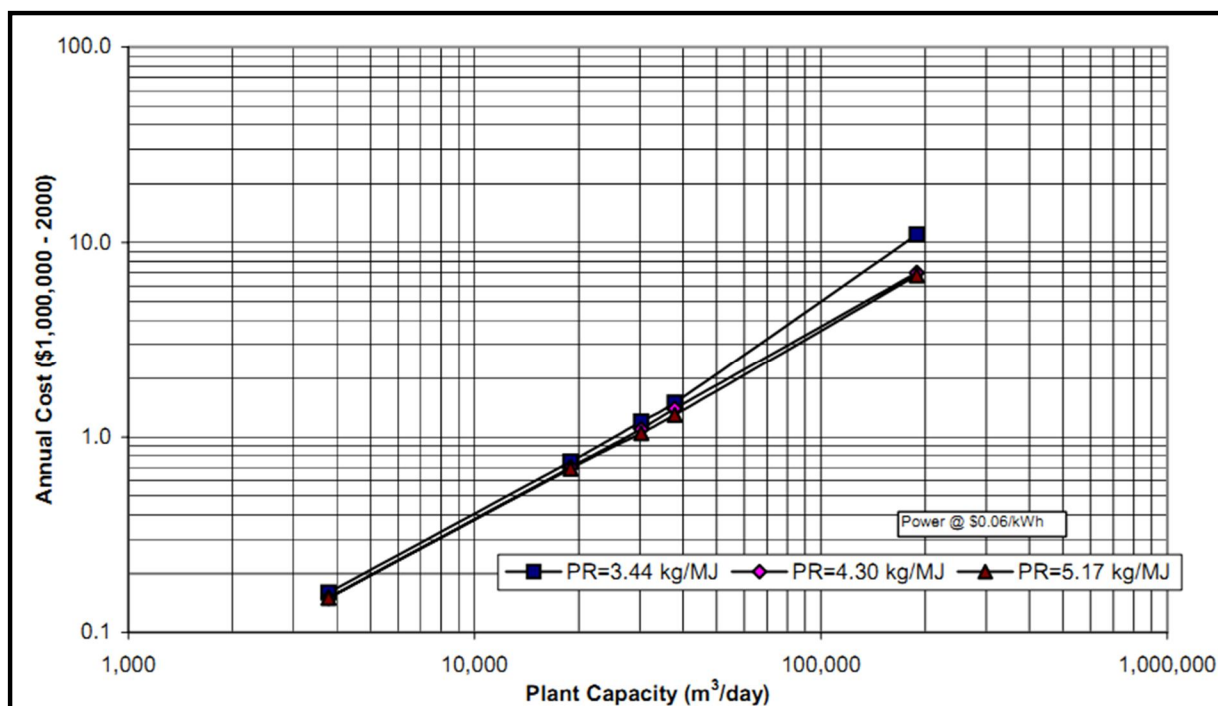
شکل پ. ۳-۱۵- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند SWRO، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



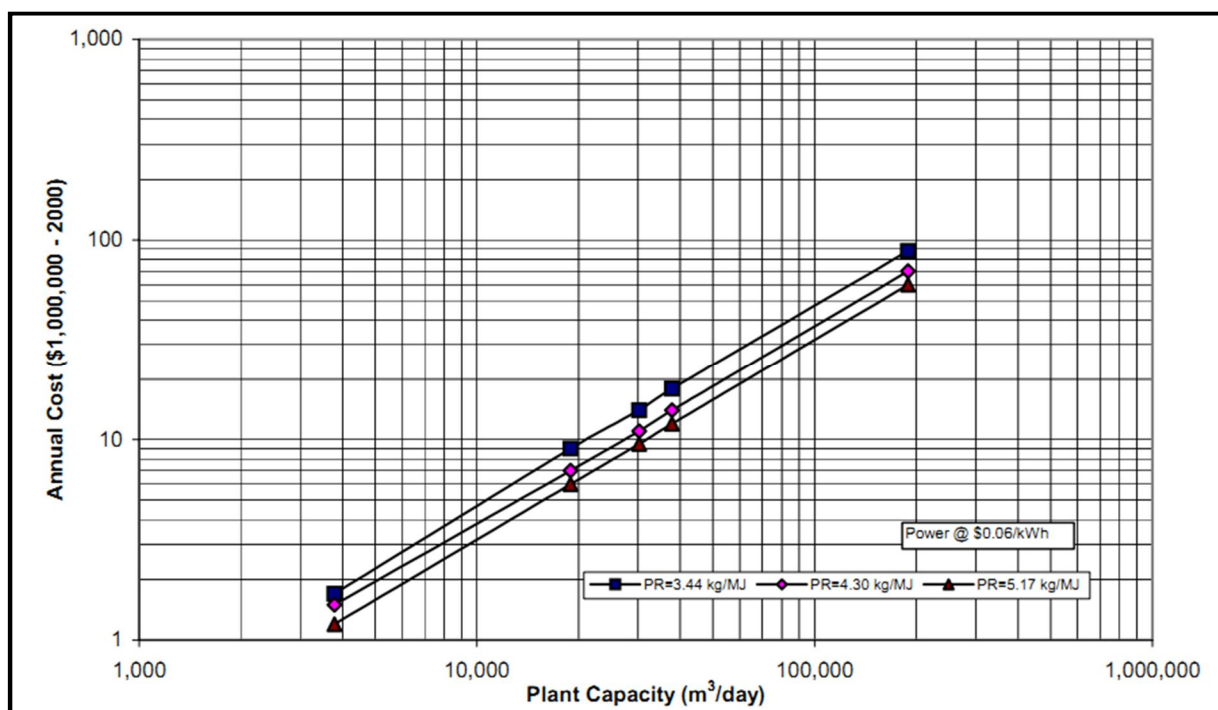
شکل پ.۳-۱۶- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند BWRO و EDR، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



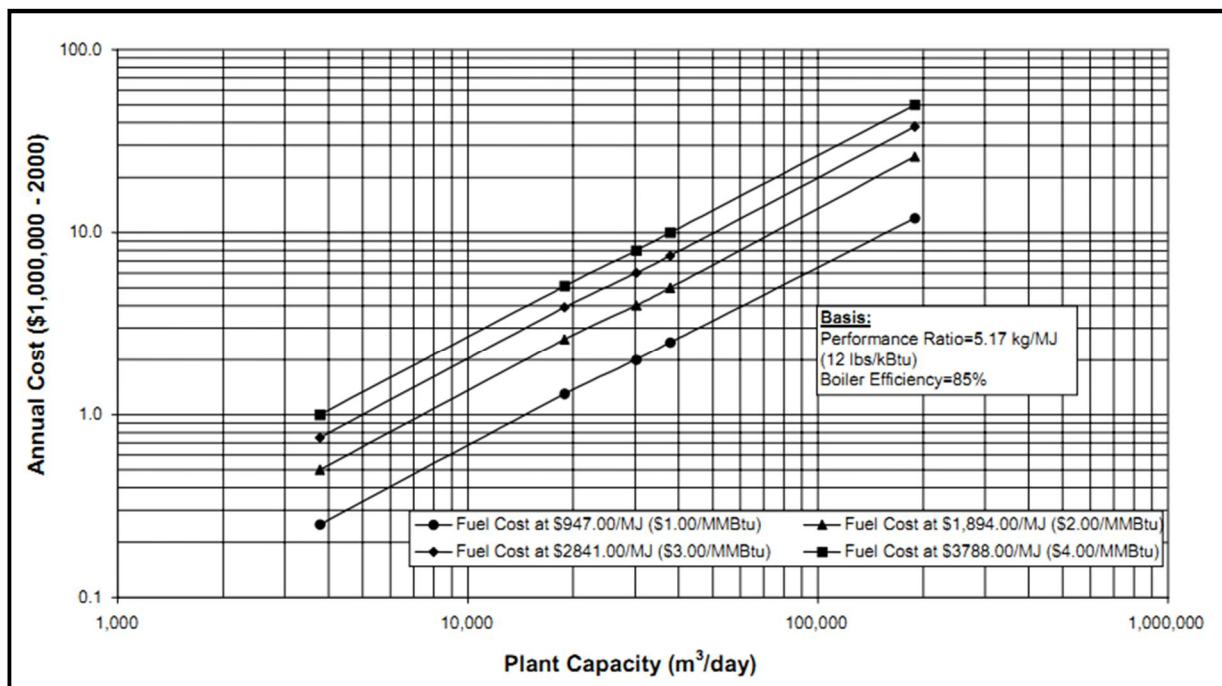
شکل پ.۳-۱۷- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



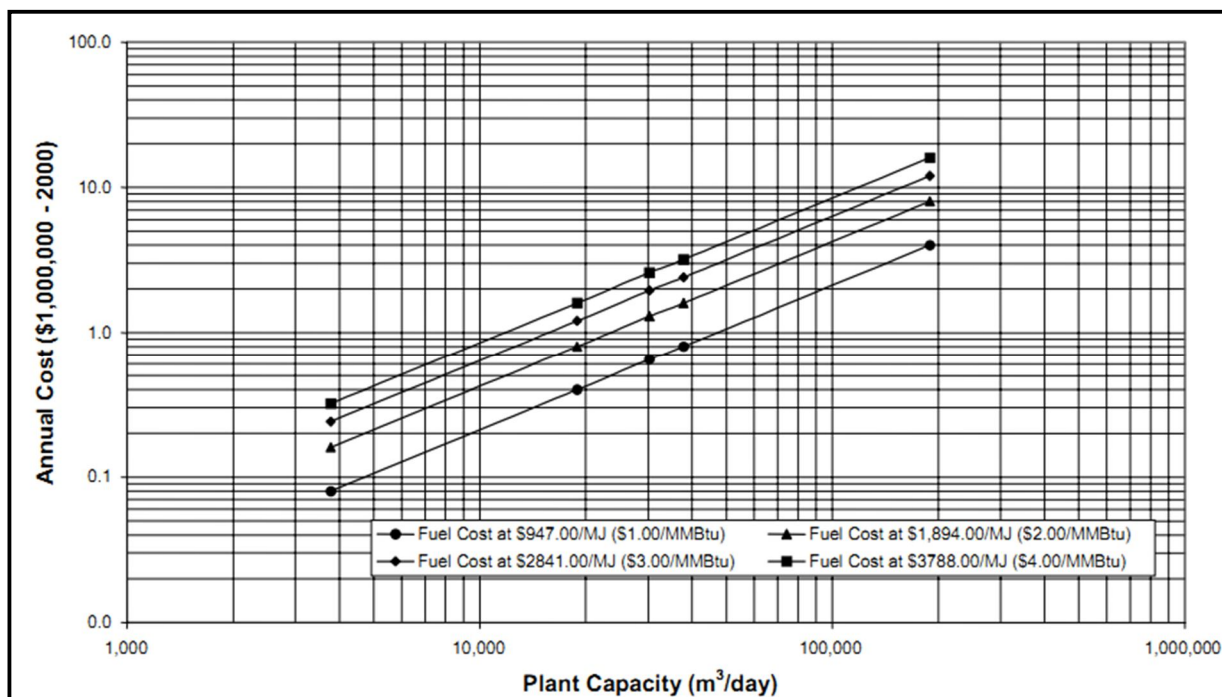
شکل پ.۳-۱۸- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



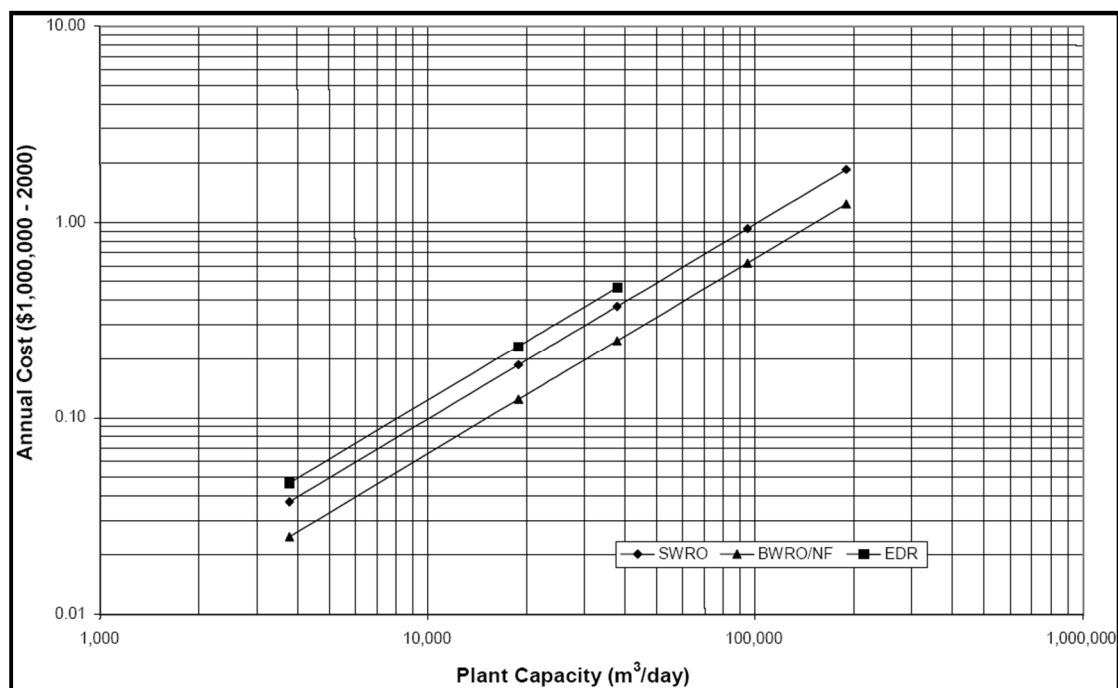
شکل پ.۳-۱۹- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



شکل پ.۳-۲۰- هزینه بخار - واحد یک منظوره، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



شکل پ.۳-۲۱- هزینه بخار - واحد دو منظوره در کنار نیروگاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



شکل پ. ۳-۲۲- هزینه تعویض سالانه غشاها، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

پیوست ۴

واژه نامه

Demineralized Water (DM)	آب فوق خالص
Seabed Filtration System	آب گیر با فیلتراسیون کف دریا
Beach Galleries	آب گیر ساحلی
Bottom Intake	آب گیری توسط کف ریز
United States Environmental Protection Agency (USEPA)	آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا
Travelling Screen	آشغال گیر متحرک
Cylindrical Wedge Wire Screen	آشغال گیر مشبک استوانه‌ای
Chlorinated Alkanes	آلکان‌های کلرینه شده
Anion	آنیون
European Communities (EUC)	اتحادیه اروپا
Chlorinated Ethenes	اتن‌های کلرینه شده
Autotrophic	اتوتروف
Occupational Safety & Health Administration (OSHA)	اداره بهداشت و امنیت شغلی ایالات متحده
Forward Osmosis (FO)	اسمز پیش‌رونده یا اسمز مستقیم
Reverse Osmosis (RO)	اسمز معکوس
Seawater Reverse Osmosis (SWRO)	اسمز معکوس آب دریا
Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)	اسمز معکوس آب لب‌شور
High Efficiency Reverse Osmosis (HERO)	اسمز معکوس با بازدهی بالا
Acidity	اسیدیته
Escherichia coli (E.coli)	اشریشیاکلی
Oceanography	اقیانوس‌شناسی
Electro Dialysis (ED)	الکترودیالیز
Electro Dialysis Reversal (EDR)	الکترودیالیز معکوس‌شونده
Hollow Fiber	الیافیا فیبر توخالی
Oxidation Reduction Potential (ORP)	شاخص ظرفیت کاهش اکسیداسیون
Enterococci	انتروکوکی
Endotoxin	اندوتوکسین
Anhydrous Calcium Disulfate	انیدروس کلسیم دی‌سولفات

Ilmenite	ایلمنیت
Dark Repair Reaction	بازسازی در تاریکی
Energy Recovery	بازیابی انرژی
Packed Tower Aeration	برج هوادهی فشرده
Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH)	بسیار خطرناک برای سلامتی
Chlorinated Benzenes	بنزن های کلرینه شده
Monitoring	پایش
Brine Recirculation	پساب چرخشی
Standby	آماده به کار
Chlorosulfonated Polyethylene (CSPE)	پلی اتیلن کلروسولفوناته
Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene (PTFE)	پلی تترافلورواتیلن
Multi-Stage Flash (MSF)	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای
Dewvaporation	تبخیر نقطه شبنم
Vapor Compression (VC)	تراکم بخار
Mechanical Vapor Compression (MVC)	تراکم بخار مکانیکی
Trihalomethane (THM)	تری هالومتان
Corrective Maintenance	تعمیر و نگهداری اصلاحی
Preventive Maintenance	تعمیر و نگهداری پیش گیرانه
Protective Maintenance	تعمیر و نگهداری محافظتی
Brine Concentrator and Recovery System	تغلیظ کننده پساب
Multi Effect Distillation (MED)	تقطیر چند مرحله ای
Membrane Distillation (MD)	تقطیر غشایی
Hydraulic Turbocharger	توربوشارژر هیدرولیکی
Reverse Turning Turbine (Francis Turbine)	توربین با چرخش معکوس
Gypsum	جیپسوم
Horizontal Directionally Drilled Well	چاه آب گیر افقی
Beach Well	چاه ساحلی
Pelton Wheel	چرخ پلتون

Present/Absent	حضور/غیاب
Spiral Wounded	حلزونی مارپیچی
Hydrogeology	حوزه‌های آبی زیرزمینی
Solar Still	حوضچه خورشیدی
Sea Urchin	خارپوست دریایی
Self Cleaning	خودشویی
English Degrees (°e)	درجه انگلیسی
German Degrees (°dH)	درجه آلمانی
American Degrees	درجه آمریکایی
Degrees of General Hardness (dGH)	درجه سختی عمومی
French Degrees (°F)	درجه فرانسوی
Clarke Degrees (°Clark)	درجه کلارک
Variable Frequency Drive (VFD)	دستگاه تغییر دور پمپ
Salt Rejection	دفع نمک
Two Pass	دوبارگذر
Humidification- Dehumidification	رطوبت‌افزایی - رطوبت‌زدایی
Threshold Odor Number (TON)	رقم آستانه‌ی بو
Zero-Liquid Discharge (ZLD)	روش‌های بدون پساب
Giardia lamblia	ژیاردیا لابلیمیا
World Health Organization (WHO)	سازمان بهداشت جهانی
Brine Concentrator and Recovery System (BCRS)	سامانه تغلیظ و بازیافت پساب
Natural Treatment Systems (NTSS)	سامانه‌های طبیعی تصفیه
Total Hardness (TH)	سختی کل
Aeruginosa	سودوموناس آرجینوزا
Stiff & Davis (Calcite) Saturation Index (S&DSI)	شاخص استیف و دیویس
Skillman Index	شاخص اسکیلمن
Oddo-Tomason Index (OTI)	شاخص اودو-توماسون
Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP)	شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم

Puckorius Scaling Index (PSI)	شاخص پوکوریوس
Silt Density Index (SDI)	شاخص دانسیته ی لجن
Ryznar Stability Index (RSI)	شاخص ریزنار
Aggressive Index (AI)	شاخص شدت خوردگی
Larson-Skold Index	شاخص لارسون - اسکولد
Langelier Saturation/Stability Index (LSI)	شاخص لانژلیه
Heterotrophic Plate Count (HPC)	شمارش باکتری های هتروتروف
Australian National Health and Medical Research Council (NHMRC)	شورای ملی بهداشت و تحقیقات پزشکی استرالیا
Biocide	ضدزیست
Spiral Wound (SW)	غشای حلزونی
Hollow Fiber Membrane	غشای الیافی
Plant Factor	فاکتور واحد
Vibratory Shear Enhanced Processing (VSEP)	فرایند ارتعاش برشی پیشرفته
SPARRO	فرایند اسمز معکوس هیبریدی
Photoreaction	فعال سازی مجدد نوری
Thin Hollow Fiber	فیبرهای توخالی باریک
Granular Media Filter	فیلتر دانه ای
Bag Filter	فیلتر کیسه ای
Cross-flow Filtration	فیلتراسیون متقاطع
Concentration Polarization	قطبش غلظتی
Molecular Weight Cut-Off (MWCO)	قطع وزن مولکولی
Alkalinity	قلیائیت
Phenolphthalein Alkalinity (P. Alkalinity)	قلیائیت فنل فتالین
Methyl Orange Alkalinity (M. Alkalinity)	قلیائیت متیل اورانژ
Velocity Cap	کلاهک کاهنده سرعت
Cation	کاتیون
Chlorinated Ketone	کتون کلرینه

Turbidity	کدورت
Crystallizer	کریستال ساز
Total Dissolved Solids (TDS)	کل جامدات محلول
Total Organic Carbon (TOC)	کل کربن آلی
Calcite	کلسیت
Canadian Federal-Provincial-Territorial Committee (FPTC)	کمیته فدرال - استانی - مرزی کانادا
Garnet	گارنت
Thermophiles	گرماپای
Grains per Gallon (gpg)	گرین در گالن
In-line	لحظه‌ای
Coagulation	لخته سازی
Fluidized Bed Heat Exchanger (FBHX)	مبدل حرارتی با بستر سیال سان
Pressure Exchanger	مبدل فشاری
Piston Type Work Exchanger	مبدل کاریپیستونی
Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE)	متیل ترشیری بوتیل اتر
Draw Solusion	محلول کشنده
Part / Million (ppm)	معادل میلی گرم در لیتر
True Color Unit (TCU)	مقدار حقیقی
Freezing	منجمدسازی
Zone of Initial Dilution (ZID)	منطقه اولیه رقیق سازی
Volatile Organic Compound (VOC)	مواد آلی فرار
Total Suspended Solids (TSS)	مواد جامد معلق
Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI)	سازمان ملی استاندارد ایران
Nanofiltration (NF)	نانوفیلتراسیون
Gain Output Ratio (GOR)	نسبت بهره‌وری
Magnetic Field Desalination	نمک زدایی با میدان مغناطیسی
Zero Discharge Desalination (ZDD)	نمک زدایی بدون پسماند
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن

Chemical Oxygen Demand (COD)	نیاز شیمیایی به اکسیژن
Nitrification	نیترا ته کردن
Wetland	نیزار
Hazen Unit (HU)	هازن
Haloacetonitrile (HAN)	هالواستونیتریل
Haloacetic Acid (HAA)	هالواستیک اسید
Heterotrophic	هتروتروف
Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی
Co-Location	هم محل
Aromatic hydrocarbons	هیدروکربن های آروماتیک
Capacitive Deionization	یون زدایی خازنی

منابع و مراجع کلیدی استفاده شده در این نشریه

- American Water Work Association(AWWA), Desalination of Seawater: Manual of Water Supply Practices-M61(2011), 1st. ed., Mc Graw Hill, New York
- American Water Works Association (AWWA), Water Quality & Treatment: A handbook on Drinking Water (2011),6th. ed., Mc Graw Hill, New York
- American Water Works Association (AWWA), Water Treatment Plant Design (2005),4th. ed., Mc Graw Hill, New York
- American Water Works Association (AWWA), Water Desalting Planning Guide for Water Utilities (2004), John Wiley & Sons Inc.
- Public health and the environmental world health organization (WHO) (2007), Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination
- ASTM D 4195 – 88 (Reapproved 2003): Standard Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application
- Unified Facilities Criteria (UFC) -Water Desalination (2004), Department of defense of united states of America
- Drinking Water Treatment-Focusing on Appropriate Technology and Sustainability (2011), Springer, New York
- Handbook Of Environmental Engineering: Membrane and Desalination Technologies (2011), Vol. 13, Springer, London
- Handbook of Filter Media(2002), ElsevierScience & Technology Books
- American Membrane Technology Association (2007), Nanofiltration and Reverse Osmosis (NF/RO). America's Authority in Membrane Treatment.

- دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۷۹)، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست، جلد اول و دوم
- دفتر همکاری های فناوری ریاست جمهوری و شرکت آب و فاضلاب کشور، امکان سنجی استفاده از تکنولوژی اسمز معکوس به منظور تامین بخشی از آب شرب کشور، ویرایش اول، ۱۳۸۵
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، وزارت نیرو (۱۳۸۸)، «راهنمای آب گیری از رودخانه و حفاظت آن»، ش ۵۰۹
- استاندارد ملی شماره ۱۰۵۳: ۱۳۸۸، تجدید نظر پنجم، آب آشامیدنی - ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و اصلاحیه آن
- استاندارد ملی ایران شماره ۵۹۰۴: ۱۳۸۰، کیفیت آب - تعیین میزان مواد جامد معلق
- استاندارد ملی ایران شماره ۶۷۲۲: ۱۳۹۱، تجدید نظر اول، کیفیت آب - آزمون و اندازه گیری رنگ
- استاندارد ملی ایران شماره ۷۴۷۶: ۱۳۸۳، کیفیت آب - تعیین هدایت الکتریکی
- استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۵۶: ۱۳۷۲، روش آزمون سختی آب
- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۱: ۱۳۸۶، تجدید نظر ششم، آب آشامیدنی - ویژگی های میکروبیولوژی

منابع و مراجع

- ۱- دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان حفاظت محیط زیست (۱۳۷۹)، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط زیست، جلد اول و دوم
- ۲- دفتر همکاری های فناوری ریاست جمهوری و شرکت آب و فاضلاب کشور، امکان سنجی استفاده از تکنولوژی اسمز معکوس به منظور تامین بخشی از آب شرب کشور، ویرایش اول، ۱۳۸۵
- ۳- راهنمای آب گیری از رودخانه و حفاظت آن؛ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، وزارت نیرو، نشریه شماره ۵۰۹، ۱۳۸۸.
- ۴- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۱: ۱۳۸۶، تجدید نظر ششم، آب آشامیدنی - ویژگی های میکروبیولوژی
- ۵- استاندارد ملی شماره ۱۰۵۳: ۱۳۸۸، تجدید نظر پنجم، آب آشامیدنی - ویژگی های فیزیکی و شیمیایی و اصلاحیه آن
- ۶- استاندارد ملی ایران شماره ۵۹۰۴: ۱۳۸۰، کیفیت آب - تعیین میزان مواد جامد معلق
- ۷- استاندارد ملی ایران شماره ۶۷۲۲: ۱۳۹۱، تجدید نظر اول، کیفیت آب - آزمون و اندازه گیری رنگ
- ۸- استاندارد ملی ایران شماره ۷۴۷۶: ۱۳۸۳، کیفیت آب - تعیین هدایت الکتریکی
- ۹- استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۵۶: ۱۳۷۲، روش آزمون سختی آب
- 10- Noam Lior, (2013), Advances In Water Desalination, Wiely, Hoboken, New Jersey.
- 11- Roberts Alley, P.E. (2007), Water Quality Control Handbook, McGraw-Hill, New York
- 12- Edzwald, J. K. (2011), Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water, McGraw-Hill, New York
- 13- Gray, N. F. (2008), Drinking Water Quality: Problems and Solutions, Cambridge University Press, New York
- 14- De Zuane, J. (1997), Handbook of Drinking Water Quality, John Wiley & Sons, New York
- 15- Berne, F. and Cordonnier, J. (1995), Industrial Water Treatment: Refining, Petrochemicals, and Gas Processing Techniques, Gulf Publishing Company, London
- 16- Flynn, D. J. (2009), The Nalco Water Handbook, McGraw-Hill, New York
- 17- Hendricks, D. W. (2011), Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological, Taylor & Francis Group (CRC Press), New York
- 18- Sawyer, C. N., McCarty, P. L. and Parkin, G. F. (2003), Chemistry for Environmental Engineering and Science, McGraw-Hill, New York
- 19- Dow Chemical Company (2009), Technical Manual of FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes
- 20- Baker, R. W. (2004), Membrane Technology and Applications, John Wiley & Sons, New York
- 21- Parsons, S. A., Jefferson, B. (2006), Introduction to Potable Water Treatment Processes, Blackwell Publishing, Oxford
- 22- Final Report of Nova Scotia Department of Environment and Labour (2005), A Drinking Water Strategy for Nova Scotia
- 23- Langelier, W. F. (1936), "The analytical control of anti-corrosion water treatment", Journal of the American Water Works Association, 28(10), pp. 1500-1521.
- 24- Langelier, W. F. (1946), "Chemical equilibria in water treatment", Journal of the American Water Works Association, 38(2), pp. 169-178.

- 25- Stiff, H.A. and Davis, L.E.(1952), "A Method for Predicting The Tendency of Oil Field Water to Deposit Calcium Carbonate", Pet. Trans. AIME, pp. 195-213.
- 26- Ryznar, J. W. (1949), "A new index for determining amount of scale formed in water", Journal of the American Water Works Association, 36(2), pp. 472-486.
- 27- Puckorius, P.R. (1983), "Get a better reading on scaling tendency of cooling water", Power, pp. 79-81.
- 28- Puckorius, P.R. and Brooke, J. M. (1991), "A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling systems", Corrosion, pp. 280-284.
- 29- Oddo, J.E. and Tomson, M.B. (1992), "Scale Control, Prediction and Treatment Or How Companies Evaluate A Scaling Problem and What They Do Wrong", Corrosion, 92(34).
- 30- Marvin Silbert and Associates (2006), Water Index Calculations
- 31- Skillman, H.L., McDonald, J.P. and Stiff, H.A. (1969), "A simple, accurate, fast method for calculating calcium sulfate solubility in oil field brine", Spring Meeting of the South western District, Division of Production, American Petroleum Institute, Paper No. 906-14-I.
- 32- Larson, T.E. and Skold, R.V. (1958), "Laboratory Studies Relating Mineral Quality of Water to Corrosion of Steel and Cast Iron", Corrosion, 14, pp. 285-288.
- 33- LeChevallier, M. W. and Au, K-K. (2004), Water Treatment and Pathogen: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water, IWA Publishing, London
- 34- Peters, T. and Pinto, D. (2006), "Sub-seabed Drains Provide Intake Plus Pretreatment", Desalination and & Water Reuse, 16(2), pp. 23-27
- 35- Missimer, T. M. and Horvath, L. E., "Alternative designs to replace conventional surface-water intakes for membrane treatment facilities", Proceedings of the IDA World Congress on Desalination and Water Reuse (1991), Washington D.C., pp. 131-140.
- 36- Missimer, T. M. (1994), Water Supply Development for Membrane Water Treatment Facilities, Lewis Publishers, Florida
- 37- Public health and the environmental world health organization (WHO) (2007), Desalination for Safe Water Supply: Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination
- 38- Leparc, J., Schotter, J. C., Rapenne, S., Crouse, J. P., Labaron, P., Lafon, D., Gaid, K., "Use of advanced tools for monitoring performance of seawater pretreatment processes", Proceedings of the IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, Maspalomas, Spain 2007
- 39- US Department of the Interior Bureau of Reclamation, Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 66 Initial Evaluation of the Subfloor Water Intake Structure (SWISS) vs. Conventional Multi-media Pretreatment Techniques (2001)
- 40- Missimer, T. M. (2009), Water supply development, aquifer storage, and concentrate disposal for membrane water treatment facilities (2nd Edition), Schlumberger Water Services, Methods in Water Resources Evaluation
- 41- Farinas, M. and Lopez, L. A. (2006), "New and innovative seawater intake system for the desalination plant at San Pedro del Pinatar", Desalination, 249(3), pp. 1088-1098.
- 42- Maliva, R. G. and Missimer, T. M. (2010), "Self-cleaning beach gallery design for seawater desalination plants", Desalination and Water Treatment, 13, pp. 88-95.
- 43- Hamano, T., Tsuge, H. and Goto, T. (2006), "Innovations perform well in first year of operation", International Desalination & Water Reuse Quarterly, 16(1), pp. 31-37.

- 44- Missimer, T. M., Maliva, R. G., Thompson, M. and Manahan, W. S. (2010), Reduction of Seawater RO Treatment Costs by Improvement of Raw Water Quality : Innovative Intake Designs
- 45- Mickley, M.C. (2001), Membrane Concentrate Disposal: Practices and Regulation, U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Mickley & Associates
- 46- Deng, R., Xie, L., Lin, H., Liu, J. and Han, W. (2010), "Integration of thermal energy and seawater desalination", Energy, 35, pp. 4368–4374
- 47- Lattemann, S. and Höpner, T. (2008), "Environmental impact and impact assessment of seawater desalination", Desalination, 220, pp. 1–15
- 48- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B. and Moulin, P. (2009), "Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges", Water Research, 43, pp. 2317-2348
- 49- Glueckstern, P. and Priel, M. (2003), "Optimization of boron removal in old and new SWRO systems", Desalination, 156, pp. 219–228
- 50- Glueckstern, P. and Priel, M. (2007), "Boron removal in brackish water desalination systems", Desalination, 205, pp. 178–184
- 51- ASTM D 4195 – 88 (Reapproved 2003): Standard Guide for Water Analysis for Reverse Osmosis Application
- 52- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D. (1999), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20th Edition), as published jointly by the American Public Health Association, the American Water Works Association, and the Water Pollution Control Federation
- 53- Fritzmann, C., Lowenberg, J., Wintgens, T. and Melin, T. (2007), "State of the-art of reverse osmosis desalination", Desalination, 216, pp. 1–76
- 54- Potable Organic Polymers – Types and Applications (2006), Sweetwater Technologies, Government Engineering, <http://www.govengr.com/ArticlesNov06/potable.pdf>
- 55- Wilf, M. and Bartels, C. (2006), Integrated membrane desalination systems - current status and development
- 56- Morenski, F. (1992), Current pretreatment requirements for reverse osmosis membrane applications, Official Proceedings of the 53rd International Water Conference, pp. 325–330
- 57- Ghafour, E.E.A. (2002), "Enhancing RO system performance utilizing antiscalants", Desalination, 153, pp. 149–153
- 58- White, G. C. (1999), Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, John Wiley & Sons, New York
- 59- Xie, Y. (2005), Disinfection byproducts in drinking water : formation, analysis, and control, Taylor & Francis Group (CRC Press), New York
- 60- Masschelein, W. J. (2002), Ultraviolet light in water and wastewater sanitation, Taylor & Francis Group (CRC Press), New York
- 61- Edstrom Industries (2003), Ultraviolet Disinfection, 4230-MI4178
- 62- Unified Facilities Criteria (UFC) -Water Desalination (2004), Department of defense of united states of America
- 63- Voutchkov, N. (2010), "Considerations for selection of seawater filtration pretreatment system", Desalination, 261, pp. 354–364
- 64- Determining Membrane Prefilter Performance, Filtration and Separation, Rochester
- 65- <http://www.hydroservice.com/1/CWS.htm>

- 66- Elguera, A.M. and Ba'ez, S.O.P. (2005), "Development of the most adequate pre-treatment for high capacity seawater desalination plants with open intake", *Desalination*, 184, pp. 173–183
- 67- Moran, Y., Schreiber, E., Skelly, J. and Volpe, D. (2010), "Green Reverse Osmosis Pretreatment for Shipboard Desalination", Faculty of Worcester Polytechnic Institute
- 68- Brehant, A., Bonnelye, V. and Perez, M. (2003), "Assessment of ultrafiltration as a pretreatment of reverse osmosis membranes for surface seawater desalination", *Water Science and Technology: Water Supply*, 3 (5–6), pp. 437–445
- 69- Cipollina, A., Micale, G. and Rizuti, L., *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Process* (2009), Springer
- 70- American Water Works Association (AWWA), *Desalination of Seawater: Manual of Water Supply Practices-M61* (2011), 1st. ed., Mc Graw Hill, New York
- 71- *Drinking Water Treatment-Focusing on Appropriate Technology and Sustainability* (2011), Springer, New York
- 72- Van Nostrand Reinhold Publ. Co., *Reverse Osmosis: Membrane Technology Water Chemistry and Industrial Application* (1993)
- 73- American Water Works Association (AWWA), *Water Quality & Treatment: A handbook on Drinking Water* (2011), 6th. ed., Mc Graw Hill, New York
- 74- *Handbook Of Environmental Engineering: Membrane and Desalination Technologies* (2011), Vol. 13, Springer, London
- 75- *Groundwater Treatment Technology* (2009), 3rd. ed., John Wiley & Sons, Inc., New Jersey
- 76- El-Dessouky, H.T. and Ettouney H.M., *Fundamentals of Salt Water Desalination* (2002), Elsevier Science B.V., The Netherlands
- 77- Ettouney, H. M., El-Dessouky, H. T. and Alatiqi, I. (1999), "Understand Thermal Desalination", *Chemical Eng. Progress*
- 78- *Desalination, Trends and Technologies* (2011), InTech
- 79- *Handbook of Filter Media* (2002), Elsevier Science & Technology Books
- 80- American Water Works Association (AWWA), *Water Treatment Plant Design* (2005), 4th. ed., Mc Graw Hill, New York
- 81- Department of the Army, USA, *Technical Manual TM 5-813-8: Water Desalination* (1986), Washington
- 82- American Water Works Association (AWWA), *Water Desalting Planning Guide for Water Utilities* (2004), John Wiley & Sons Inc.
- 83- Tamim, Y. (2005), "The Economics of Desalinations", *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 132
- 84- Watson, I.C., Morin, O.J. and Henthorne, L., *Desalting Handbook for Planners* (2003), *Desalination and Water Purification Research and Development Program*, United States Department of the Interior, Report No. 72, 3rd. ed., RosTek Associates, Inc.
- 85- "Evaluation the Economics of Desalination", www.cepmagazin.com, December 2002.
- 86- Hassan, A.M. (2004), "Development of a Novel NF-Seawater Desalination Process and Review of Application From Pilot Plant to Commercial Production Plant Stages", IDA Conference
- 87- Hassan, A.M., Al-Sofi M.A., Al-Amodi, A.S., Jamaluddin, A.T.M., Kither, N.M., Mustafa, G. and Al-Tissan, A.R. (1999), "A Nanofiltration (NF) Membrane Pretreatment of SWRO Feed and MSF

- Make-up (Part-1)", Technical Report No. (TR 3807/APP 96008), R&D Center SWCC, Al-Jubail, Saudi Arabia
- 88- Mohammad, A.K., Al-Sofi, A.M., Hassan, O., Hamed, A., Abdul Ghani, I., Dalvi, Mohammad, N.M., Kither, G., Mustafa, M. and Bamardouf, K. (2000), "Optimization of hybridized seawater desalination process", Desalination, 131, pp. 147-156
 - 89- El-Zanati, E., El-Khatib, K.M. (2007), "Integrated Membrane - Based Desalination System", Desalination, 205, pp. 15-25.
 - 90- Hassan, A.M., Al-Sofi, M.A.K., Farooque, A.M., Dalvi, A.G.I., Jamaluddin, A.T.M., Kither, N.M., Al-Amoudi, A.S., and Al-Tisan, I.A.R. (1998), "A Nanofiltration (NF) Membrane Pretreatment of SWRO Feed and MSF Make-Up (Part II)", Desalination, 118, pp. 35-51
 - 91- Hamed, O.A., Hassan, A.M., Al-Shail, K., Farooque, M.A. (2009), "Performance Analysis of a Trihybrid NF/RO/MSF Desalination Plant", Desalination and Water treatment, 1, pp. 215- 222
 - 92- Ludwig, H. (2003), "Hybrid Systems in Seawater Desalination - Practical Design Aspects, Status and Development Perspectives", Desalination, 157, pp. 31-32
 - 93- A. Thompson, Peter G. Nicoll, "Forward Osmosis Desalination: A Commercial Reality", Proceeding at IDA World Congress – Perth Convention and Exhibition Centre (PCEC), Perth, Western Australia September 4-9, 2011
 - 94- Status of Technologies for Harnessing Salinity Power and The Current Osmotic Power Activities (2008), Annual report of the IEA-OES
 - 95- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 149 Evaluation and Selection of Available Processes for a Zero-Liquid Discharge System for the Perris (2008)
 - 96- Bourouni, K., Chaibi, M.T. and Tadrist, L. (2001), "Water Desalination By Humidification and Dehumidification of Air: State of The Art", Desalination, 137, pp. 167-176
 - 97- Yanniotis, S. and Xerodemas, K. (2003), "Air Humidification for Seawater Desalination", Desalination, 158, pp. 315-319
 - 98- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 120 Dewvaporation Desalination 5,000 GPD Pilot Plant (2008)
 - 99- Gryta, M., "Water Desalination by Membrane Distillation", West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland.
 - 100- Ballester, P.P., Javier, F. and Garrido, A., "Process of Desalination of Low Energy Consumption and High Compatibility with The Use of Renewable Energies", Proceeding of International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Valencia, Spain, 2009
 - 101- Membrane Desalination Technologies in Practice (2007), MASAR Technologies Inc.
 - 102- Australian Department of Natural Resources and Mines, Final Report, Desalination in Queensland (2003), GHD Pty Ltd.
 - 103- Australian Department of Agriculture, Fisheries & Forestry, Detailed Report, Economic and Technical Assessment of Desalination Technologies in Australia: With Particular Reference to National Action Plan Priority Regions (2002)
 - 104- Lawler, D.F. and et al. (2011), "Enhanced reverse osmosis systems: intermediate treatment to improve recovery", Water Research Foundation
 - 105- Solley, D. and et al. (2010), "Managing the reverse osmosis concentrate from the Western Corridor Recycled Water Scheme", Water Practice & Technology, IWA Publishing

- 106- American Membrane Technology Association (2007), Nanofiltration and Reverse Osmosis (NF/RO). America's Authority in Membrane Treatment
- 107- Squire, D. (2000), "Reverse osmosis concentrate disposal in the UK", Desalination, 132, pp. 47-54
- 108- Kepke, J.T. and et al. (2008), "Innovative treatment of RO concentrate", 2nd International Salinity Forum Salinity
- 109- Pickett, E.M. (1979), "Evapotranspiration and Individual Laggons In Proceedings of Northwest Onsite Wastewater Disposal Short Course", University of Washington, pp. 108-118
- 110- Yakwitz, H. (1988), "Identifying, classifying and describing Hazardous wastes", UNEP industry and Environment, 11(1), pp. 3-9
- 111- Aghajani, S. (2011), Industrial wastewater discharge, Department of Water Engineering, Power and Water University of Technology
- 112- Greenlee, L.F., Marrot, B. and Moulin, P. (2009), "Treatment of reverse osmosis concentrate to improve overall recovery: Parameter effects on antiscalant oxidation and subsequent precipitation", The 237th ACS National Meeting, Salt Lake City, UT
- 113- Adham, S. and et al. (2006), "Innovative Approaches to RO Concentrate Management: Beneficial Reuse and Concentrate Minimization", WEFTEC
- 114- Huang, R.M. and et al. (2011), "Fenton-biological treatment of reverse osmosis membrane concentrate from a metal plating wastewater recycle system", Environmental Technology, 32(5), pp. 515 - 522
- 115- Goslich, R., Dillert, R., and Bahnemann, D. (1997), "Solar water treatment: Principles and reactors", Water Science and Technology, 35(4), pp. 137-148
- 116- Oates, P.M., Shanahan, P., and Polz, M.F. (2003), "Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti", Water Research, 37(1), pp. 47-54
- 117- Banasiak, L.J. and Schäfer, A.I. (2008), "Electrodialysis for Reverse Osmosis Concentrate Treatment", Treatment Environmental Engineering Research
- 118- Mickley, M. (2008), Treatment of Concentrate. U.S. Department of the Interior, DWPR Report, 155
- 119- Swift, A.H.P., Lu, H., and Becerra, H. (2002), Zero Discharge Waste Brine Management for Desalination Plants, U.S. Department of the Interior, DRDP Report, 89
- 120- Davis, T.A. (2006), Zero Discharge Seawater Desalination: Integrating the Production of Freshwater, Salt, Magnesium, and Bromine, U.S. Department of the Interior, DWPR Report, 135
- 121- Central Arizona Salinity Study (2006), Concentrate Management, Geo-Processors USA, Inc.
- 122- National Research Council of the National Academies (2006), Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks, National Academies Press, Washington
- 123- Cantor, A. E. (2009), Water Distribution System Monitoring: A Practical Approach for Evaluating Drinking Water Quality, Taylor & Francis Group (CRC Press), New York
- 124- American Water Works Association (AWWA) (2003), Water Transmission and Distribution (Principles and Practices of Water Supply Operations)
- 125- Water Distribution System Operation and Maintenance (2005), California State University, 5th Ed.
- 126- Handbook of Water Treatment, KURITA, 1999
- 127- World Health Organization (2008), Guidelines for Drinking-Water Quality
- 128- U.S. Environmental Protection Agency (2009), Drinking Water Standards and Health Advisories

- 129- Institute of Standards and Industrial Research of Iran (5th Edition), Drinking Water - Physical and Chemical Specifications
- 130- Australian National Health and Medical Research Council (2004), Australian Drinking Water Guidelines
- 131- Canadian Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment (2010), Guidelines for Canadian Drinking Water Quality
- 132- European Committee (1998), The Quality of Water Intended for Human Consumption

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می باشد.

Steering Committee: (Plan and Budget Organization)

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamazanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidedin Rezvani	Expert in Irrigation and Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department

The guide to select and utilize a proper desalination system for supplying drinking water [No.760]

Executive Body: Tarbiat Modares University
Project Adviser: Ali Jafarian Dehkordi

Authors & Contributors Committee:

Mahdi Bonakdari	Avin Palayesh Niro Consulting Engineers	M.Sc. in Chemical Engineering
Alireza Bahrami	MadadAb Consulting Engineers	M.Sc. in Mechanical Engineering
Ali Jafarian Dehkordi	Tarbiat Modares University	Ph.D. in Mechanical Engineering
Amirhosein Sedighi	MadadAb Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Environmental Engineering

Supervisory Committee:

Hossein Abotorab	National Water & Wastewater Engineering Company.	M.Sc. in Civil Engineering-Structures
Kamran Esmaceli	National Water & Wastewater Engineering Company.	M.Sc. in Civil Environmental Engineering
Abbas Haj Hariri	Freelance Expert	M.Sc. in Industrial Managment
Elham Azizzadeh Araei	Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs	M.Sc. in Microbiology
Seyyed Ahmad Alavi	Iran Water Resources Management Co.	B.Sc. in Mechanical Engineering-Energy Conversion
Mojtaba Fazeli	Power and Water University of Technology	Ph.D. in Environmental Engineering

Confirmation Committee:

Nematollah Elahipanah	Freelance Expert	M.Sc. in Civil Engineering-Hydrology & Water Engineering
Abolghasem Toutounchi	Iran-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering
Abbas Haj Hariri	Freelance Expert	M.Sc. in Industrial Managment
Hasan Sadeghpour	Tehran Mirab Co.	M.Sc. in Civil Engineering
Seyyed Abbas Sadeghian	Iran Water Resources Management Co.	B.Sc. Civil Engineering – Operation of Dam and Irrigation Network
Elham Azizzadeh Araei	Ministry of Energy- Water and Wastewater Standards and Projects Bureau	M.Sc. in Microbiology
Seyyed Ahmad Alavi	Freelance Expert	M.Sc. in Energy Conversion Engineering
Mojtaba Fazeli	Power and Water University of Technology	Ph.D. in Environmental Engineering
Majid Ghannadi	National Water & Wastewater Engineering Company	M.Sc. in Environmental Health Engineering

Abstract

Lately, the use of desalination technologies as a reliable method to supply drinking water, has been growing and can be considered a solution to water shortage in different regions. The emergence of different problems in operation, repair and maintenance of these technologies, the limited background of many of these technologies in the country and consequently, lack of proper knowledge and knowhow to identify and eliminate faults as well as absence of suitable standards in this field, necessitates the preparation of a guide to select and utilize a proper desalination system to resolve these issues.

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

The guide to select and utilize a proper desalination system for supplying drinking water

No. 760

Deputy of Technical, Infrastructure and
Production Affairs
Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy
Water and Wastewater Standards and Projects
Bureau

seso.moe.org.ir

2018

این نشریه

با عنوان «راهنمای انتخاب و به کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی به منظور تامین آب شرب» به منظور ارائه در حوزه فناوری نمک‌زدایی با هدف انتخاب و بهره‌گیری از سامانه‌های نمک‌زدایی است که بر اساس آخرین استانداردهای ملی و جهانی تدوین شده تا مورد استفاده شرکت‌های مهندسی مشاور، پیمانکاران، شرکت‌های آب و فاضلاب و نیز تمام مصرف‌کنندگان این سامانه‌های زیربنایی باشد.