

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



omoorepeyman.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 پیشنهادهای 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 به‌کارگیری سامانه‌های نمک‌زدایی به منظور تامین آب شرب»

[نشریه شماره ۷۶۰]

مجری: شرکت مهندسين مشاور مددآب تهران

دکترای مهندسی مکانیک

مشاور پروژه: علی جعفریان دهکردی دانشگاه تربیت مدرس

اعضای گروه تهیه‌کننده:

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 - محیط‌زیست

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 محیط‌زیست
عباس حاج‌حریری	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 - محیط‌زیست

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

نعمت‌الله الهی‌پناه	کارشناس آزاد	کارشناسی ارشد هیدرولوژی و مهندسی آب
ابوالقاسم توتونچی	شرکت مهندسين مشاور ایراناب	کارشناسی ارشد راه و ساختمان
عباس حاج‌حریری	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 - بهره‌برداری از سد و شبکه‌های 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	۶-۱- 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- الکترودیالیز و الکترودیالیز 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

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
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	۳-۸-۸- مقایسه تطبیقی و انتخاب فناوری نمک زدایی مناسب
۸۰	۳-۹-۹- جمع بندی
۸۱	فصل چهارم - مدیریت پساب
۸۳	۴-۱-۱- پساب سامانه های نمک زدایی
۸۴	۴-۲-۲- مدیریت پساب ها
۸۴	۴-۲-۱- دفع پساب
۹۰	۴-۲-۲- تصفیه پساب
۹۹	۴-۳-۳- جمع بندی
۱۰۱	فصل پنجم- کنترل کیفیت آب شرب تولیدی با سامانه های نمک زدایی
۱۰۳	۵-۱-۱- کلیات
۱۰۴	۵-۲-۲- تنظیم کیفیت آب خروجی
۱۰۴	۵-۲-۱- کدورت زدایی



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
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 لوله‌ها 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 نمک‌زدایی
۱۴۷	پیوست ۴- واژه‌نامه
۱۵۵	منابع و مراجع



فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۹	جدول ۱-۱- ضریب تبدیل هدایت الکتریکی به TDS
۱۳	جدول ۲-۱- مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری
۱۳	جدول ۳-۱- دسته‌بندی آب‌ها بر اساس مقدار BOD
۲۰	جدول ۴-۱- مزایا و معایب آب‌گیرهای مستقیم و غیرمستقیم
۳۰	جدول ۱-۲- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های اسمز معکوس
۳۲	جدول ۲-۲- قدرت نسبی اکسیداسیون در مقایسه با کلر (Cl=1.0)
۳۴	جدول ۳-۲- حداکثر مجاز عوامل بازدارنده درگندزدایی با پرتو فرابنفش
۳۷	جدول ۴-۲- توان روش‌های مختلف پیش‌تصفیه در حل مشکلات و محدوده ظرفیت کاربردی آن‌ها
۵۱	جدول ۱-۳- فشار مورد نیاز جریان ورودی RO براساس نوع غشا
۵۶	جدول ۲-۳- مسایل زیست‌محیطی در اجرای پروژه
۵۸	جدول ۳-۳- مقایسه مصرف انرژی در فرایندهای مختلف
۶۰	جدول ۴-۳- فرایند اسمز معکوس آب دریا جریان پساب در فرایندهای مختلف نمک‌زدایی و تاثیرات زیست‌محیطی آن‌ها
۶۲	جدول ۵-۳- مشخصات پساب فرایندهای نمک‌زدایی مختلف
۷۵	جدول ۶-۳- موارد بازرسی دوره‌ای
۷۷	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
۷۸	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
۷۹	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
۱۰۷	جدول ۱-۵- اثر تزریق مواد شیمیایی معدنی روی کیفیت آب
۱۱۰	جدول ۲-۵- پارامترهای تاثیرگذار بر خوردگی در آب نمک‌زدایی شده
۱۱۶	جدول ۳-۵- تناوب و آزمون‌های مورد نظر بر روی آب تصفیه شده
۱۲۱	جدول پ.۱-۱- واحدهای سختی و روش تبدیل آن‌ها

فهرست جدول‌ها

عنوان

صفحه

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



فهرست شکل ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
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 روش های پیش تصفیه متداول و جایگزین
۴۳	شکل ۱-۳- نمودار محدوده کاربرد سامانه های نمک زدایی نسبت به درجه ی شوری
۴۵	شکل ۲-۳- اساس کار فرایند الکترو دیالیز
۴۵	شکل ۳-۳- سامانه نمک زدایی تقطیری تک مرحله ای
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 صفحه ای (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- نام گذاری المان های کوچک تر از ۸ اینچ
۵۳	الف- یک مرحله ای
۵۳	ب- دو مرحله ای
۵۳	ج- سه مرحله ای
۵۳	د- دو مرحله ای با بازگشت پساب
۵۳	ه- دو مرحله ای با اختلاط آب خام
۵۳	و- دو بار تصفیه
۵۳	شکل ۱۰-۳- انواع آرایه های متداول سامانه های غشایی
۶۲	شکل ۱۱-۳- روش بررسی هزینه های فناوری های نمک زدایی
۶۶	شکل ۱۲-۳- سهم هر هزینه از کل هزینه های عملیاتی در نمک زدایی آب دریا
۶۶	شکل ۱۳-۳- سهم هر هزینه از کل هزینه های عملیاتی در نمک زدایی آب لب شور
۶۷	شکل ۱۴-۳- هزینه آب تولیدی واحدهای نمک زدایی آب دریا و آب لب شور
۷۱	شکل ۱۵-۳- مدل راهبری، بهره برداری و نگهداری سامانه های نمک زدایی
۱۳۵	شکل پ.۳-۱- نمودار هزینه ساخت واحدهای نمک زدایی آب دریا و آب لب شور برای ظرفیت های مختلف
۱۳۶	شکل پ.۳-۲- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب های 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 آب‌های سطحی و چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۰
- شکل پ.۳-۱۱- هزینه ساخت سامانه پیش‌تصفیه فرآیندهای غشایی برای آب‌های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۰
- شکل پ.۳-۱۲- هزینه ساخت سامانه پیش‌تصفیه فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۱
- شکل پ.۳-۱۳- هزینه ساخت آب‌گیر فرآیندهای غشایی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا ۱۴۱
- شکل پ.۳-۱۴- هزینه ساخت آب‌گیر 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 EDR و BWRO، 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 دسترس 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 میکروبه‌ها 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 تاثیرات 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، رادواکتیو و فلوراید به طور طبیعی در منابع آب لب شور زیرزمینی وجود دارد. منابع آبی که فعالیت بشر بر روی آن تاثیر گذاشته است، حاوی مقادیر بالای نیترات (کودهای شیمیایی)، آفت‌کش‌ها (مورد استفاده در مزارع)، آرسنیک (تماس با مواد معدنی) و آلودگی‌های دارویی است [۱۱].

۱-۱-۲- آب‌های سطحی

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، نترات و ریزآلاینده‌ها
- امکان حضور بور به‌ویژه در آب دریا
- احتمال بروز اوتریفیکاسیون، آلودگی جلبکی و تبعات ناشی از آن

۱-۲- عوامل فیزیکی منابع آب

بر اساس تعاریف و استانداردهای اندازه‌گیری، شاخص‌های کدورت، مواد جامد معلق، رنگ، بو و مزه برای شناسایی کیفیت فیزیکی تعریف شده است که در کنار دما، خواص فیزیکی آب برشمرده می‌شوند. این عوامل تحت تاثیر شرایط محیطی، خصوصیات ظاهری آب را نشان می‌دهند.

۱-۲-۱- مواد جامد معلق

مواد معلق موادی هستند که حلالیت آن‌ها در آب کم است و به‌صورت معلق باقی می‌مانند. از میان مواد معلق به باکتری‌ها، گل و لای، روغن، رنگ، سیلیس کلئیدی، جلبک‌ها و موجودات ریز زنده می‌توان اشاره کرد. اندازه‌ی این ذرات معمولاً بزرگ‌تر از ۰/۱ میکرون است [۱۱ تا ۱۸]. استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۵۹۰۴، روش اندازه‌گیری مواد جامد معلق آب را بیان کرده است [۶].

علاوه بر روش معمول در اندازه‌گیری میزان مواد معلق، شاخص دانسیته‌ی لجن (SDI) امکان گرفتگی غشاهای فیلترها را مشخص می‌کند. این شاخص امکان گرفتگی ناشی از کلئیدهای آلی، ذرات ناشی از خوردگی آهن، هیدروکسید آهن ته‌نشین شده، جلبک و سایر ذرات ریز را اندازه‌گیری می‌کند. این اندازه‌گیری بر اساس شکل، اندازه‌ی ذرات یا مقدار جامدات معلق نیست و بنابراین رابطه‌ای بین آن و کدورت وجود ندارد. اگرچه رفتار غشاء در مورد کدورت کم‌تر از ۱ NTU و SDI کم‌تر از ۵ تشابه دارد. روش اندازه‌گیری این شاخص بر اساس استاندارد ASTM به شماره‌ی 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. رابطه‌ی 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 اندازه‌گیری کیفیت آب ورودی به سیستم اسمز معکوس است که میزان ذرات معلق و کلئیدها در آب را نشان می‌دهد. در واقع، SDI نشان دهنده عملکرد تجهیزات پیش‌تصفیه 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.^۲ 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 آلاینده‌های فیزیکی در ورودی این دو روش موجب کاهش عمر و بالا رفتن هزینه‌های آن‌ها خواهد شد. اما سامانه‌ی اولترافیلتراسیون قابلیت حذف ۹۹/۸ درصدی کلئیدهای سیلیس، آهن و آلومینیوم، تمام جامدات معلق، ۹۹/۹۹۹ درصد باکتری‌ها، ویروس‌ها و اندوتوکسین‌ها و ۷۰ درصد کل کربن آلی (TOC) را دارد. این سامانه‌ها کدورت را به کم‌تر از یک NTU می‌رسانند. اگرچه از اولترافیلتراسیون برای تصفیه‌ی آب‌های سطحی با شوری بسیار کم و تولید آب قابل شرب استفاده می‌شود ولی نقش اصلی آن در صنعت نمک‌زدایی به‌عنوان پیش‌تصفیه‌ی روش‌های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس است.

در مجموع با صرف نظر از امکان وجود نشستی در سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی، می‌توان تولیدات آن‌ها را عاری از آلودگی فیزیکی در نظر گرفت.

۳-۱- عوامل شیمیایی

معمولاً به ویژگی‌هایی از آب که در اثر میزان و نوع ماده حل شده در آن تغییر می‌کند، ویژگی‌های شیمیایی آب گفته می‌شود. از جمله می‌توان به pH، قلیائیت، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی و سختی اشاره کرد.

۳-۱-۱- هدایت الکتریکی (EC)^۲

هدایت الکتریکی آب نشان‌دهنده میزان وجود نمک‌های محلول در آب است. البته این به معنی رابطه هدایت الکتریکی با تعداد یون‌های محلول در آب نیست. چرا که با افزایش تعداد یون‌ها حرکت آزادانه یون‌ها محدود شده و در میزان هدایت الکتریکی تاثیر می‌گذارد. استاندارد ملی ایران به شماره ۷۴۷۶ روش اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب را بیان کرده است.

۳-۱-۲- کل جامدات محلول (TDS)^۲

مقدار کل مواد غیر فرار محلول در آب، شامل یون‌های مختلف، به‌عنوان TDS با واحد میلی‌گرم بر لیتر یا ppm اعلام می‌گردد. رابطه نزدیکی بین هدایت الکتریکی و TDS وجود دارد که آن را در قالب رابطه (۳-۱) تعریف می‌کنند.

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

هدایت الکتریکی با تعداد یون‌های محلول در آب رابطه‌ای مستقیم و خطی ندارد و لذا نمی‌توان 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 دستگاه‌های اندازه‌گیری معمولاً مقدار میانگین ۰/۶۷ به‌عنوان پیش‌فرض 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 _{۲۵} (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 در 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.

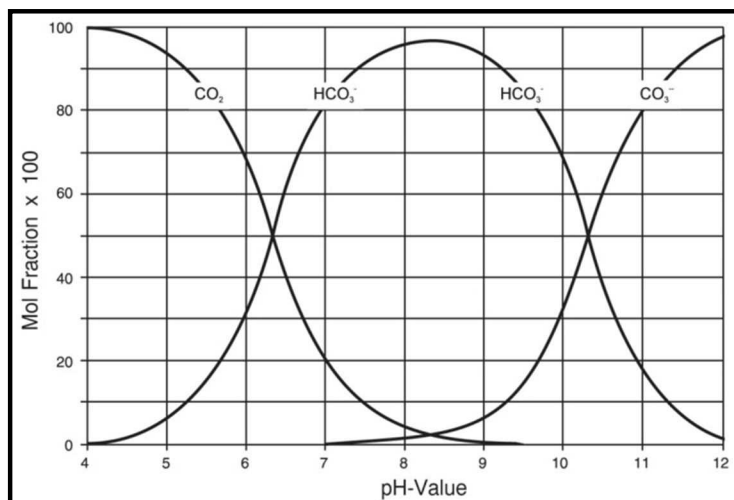


pH تابعی از دماست و pH خنثی در دمای ۲۰ درجه سلسیوس تعیین می‌شود. دانستن pH در تعیین قابلیت خوردگی یا رسوب‌گذاری محلول از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۱ تا ۱۹].

۱-۳-۵- قلیائیت^۱

ظرفیت آب برای جذب اسید قوی تا رسیدن به pH حدود ۴/۵ را قلیائیت آب می‌گویند. قلیائیت به دلیل وجود هیدروکسیدها، کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها، فسفات‌ها، سیلیکات‌ها و بورات‌ها در آب است. البته غلظت بسیار کم فسفات‌ها، سیلیکات‌ها و بورات‌ها در مقایسه با سایر عوامل قلیائیت، موجب می‌شود که در بیشتر موارد از آن‌ها صرف‌نظر گردد. قلیائیت بسته به نوع معرف مورد استفاده در اندازه‌گیری به دو گروه قلیائیت فنل فتالین یا قلیائیت ساده و قلیائیت متیل اورانژ یا قلیائیت کل تقسیم می‌شود.

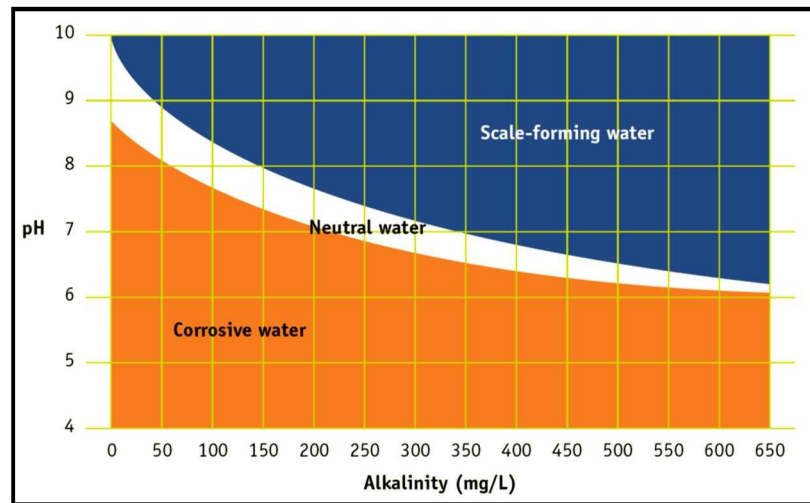
شکل (۱-۱) نشان می‌دهد که قلیائیت ساده تنها مقادیری از یون‌های بی‌کربنات و یون‌های کربنات را اندازه می‌گیرد. این در حالی است که قلیائیت کل، علاوه بر اندازه‌گیری کل یون‌های بی‌کربنات و کربنات، بخش عمده‌ای از یون‌های هیدروکسید را نیز اندازه می‌گیرد. به همین دلیل در آنالیز آب مربوط به سامانه‌های نمک‌زدایی اغلب مقدار قلیائیت کل اعلام می‌گردد [۱۱ تا ۱۹].



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

اما آنچه دارای اهمیت و تاثیرگذار است، رابطه سه عامل pH، قلیائیت و سختی است. این رابطه در میزان رسوب‌گذاری یا خوردگی آب مشاهده می‌شود و روش‌ها و شاخص‌های 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 میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد [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 به‌عنوان 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 میلی‌گرم 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 میلی‌گرم 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 می‌شود 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 دی‌اکسید 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) شاخصی واقعی از ظرفیت آب برای ته‌نشینی کربنات کلسیم است. این شاخص مفیدترین ابزار محاسباتی برای طراحی روش‌های کنترل خوردگی و تصفیه ی تکمیلی برای آب نمک‌زدایی شده از آب دریا است.

شایان ذکر است که شاخص‌های فوق به‌دلیل ارتباط تنگاتنگ با pH، رابطه نزدیکی با دما دارند [۳۰]. اما چنانچه ذکر شد، تمام شاخص‌های فوق برای تشخیص امکان رسوب کربناتی کلسیم است و به رسوب سولفاتی کلسیم نمی‌پردازد. وجود مقادیر قابل توجه سولفات و کلسیم عامل تشکیل رسوب سولفات کلسیم (جیپسوم)^۲ خواهد بود. حلالیت این نمک با افزایش دما کاهش می‌یابد و امکان تشکیل رسوب سولفات کلسیم بیش‌تر خواهد شد. با توجه به جدی بودن بروز مشکل رسوب‌گذاری سولفات کلسیم، به‌ویژه در سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی که در دمای بالا کار می‌کند، شاخص‌هایی 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 می‌کند [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 لوله‌های آزبست - سیمان با آب‌هایی که دمایی بین ۴ تا ۲۷ درجه سلسیوس دارند، ایجاد شده است. این شاخص محدودیت‌های مهمی برای پیش‌بینی ظرفیت خوردگی در لوله‌های آزبست-سیمان دارد و تنها تقریبی از LSI بوده و ظرفیت واقعی رسوب کربنات کلسیم را نشان نمی‌دهد و لذا محدودیت‌های شاخص شدت خوردگی برای محاسبات کنترل خوردگی برای آب‌های نمک‌زدایی شده را نشان می‌دهد [۳۰]. جدول (۱-۲) مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد.

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
اسکیلن	سولفات کلسیم	کم‌تر از ۱	۱	بیش‌تر از ۱
لارسون-اسکولد		بیش‌تر از ۱/۲	۱/۲ تا ۰/۸	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 به صورت 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)^۳ 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 اندازه‌گیری مقدار ترکیبات آلی موجود در آب، به‌ویژه آب‌های سطحی است. اکسیژن مورد نیاز برای انجام واکنش مورد نظر و تبدیل مواد آلی به دی‌اکسید کربن، آمونیاک و آب بیان‌گر نتیجه آزمایش خواهد بود. اکسیدکننده مورد استفاده در آزمایش COD (دی‌کرومات پتاسیم) قادر به اکسید کردن آمونیاک به نیترات نیست و به همین دلیل، مقدار اکسیژن به‌دست آمده، اکسیژن مورد نیاز برای تبدیل آمونیاک به نیترات (نیتراژ) را در بر نمی‌گیرد. برخی از آب‌ها حاوی مقادیر زیادی از مواد اکسیدشونده هستند که دی‌کرومات پتاسیم را به مصرف می‌رسانند. از جمله موادی که در آزمایش COD دخالت می‌کنند می‌توان به کلرور، نیتريت، آهن دو ظرفیتی، سولفید و ترکیبات منگن‌دار اشاره کرد. برای حل این مشکل، قبل از افزودن اکسیدکننده، باید از مواد اصلاح‌کننده مانند سولفات جیوه استفاده شود.

اگرچه آزمایش COD مقدار آمونیاک را به خوبی آزمایش BOD نشان نمی‌دهد و ترکیبات آلیفاتیک فرار با زنجیره خطی در آن به‌ندرت اکسید می‌شوند؛ ولی آزمایش COD در مدت ۲ تا ۳ ساعت انجام می‌شود و در مقایسه با آزمایش BOD که ۵ روز به طول می‌انجامد از مزیت بالاتری برخوردار است. همچنین آزمایش COD نسبت به آزمایش BOD ساده‌تر و ارزان‌تر است.

۱-۳-۷-۳- کل کربن آلی (TOC)

مقدار کربن موجود در ترکیب مواد آلی را کل کربن آلی می‌گویند که معیاری متداول برای مشخص کردن کیفیت آب نیست. اندازه‌گیری TOC اغلب به تجهیزات خاص و گران قیمت نیاز دارد. مقدار TOC یک نمونه کوچک در چند ثانیه اندازه‌گیری می‌شود و بنابراین می‌توان از آن به صورت هم‌زمان با فرآیند پیوسته استفاده کرد. آزمایش TOC نسبت به آزمایش‌های COD و BOD روشی دقیق‌تر برای تشخیص میزان مواد آلی در محلول است. اگر رابطه‌ای بین این سه پارامتر برقرار باشد، با مشخص بودن TOC می‌توان BOD و COD را به دست آورد. با این همه آزمایش TOC تمام اطلاعات حاصل از آزمایش‌های BOD و COD را نشان نمی‌دهد.

۱-۳-۸- انواع مواد شیمیایی

مواد شیمیایی را می‌توان 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 باکتری‌های هوازی، منجر به کاهش اکسیژن می‌شود. ولی باکتری‌های بی‌هوازی با مصرف بعضی ناخالصی‌های موجود در آب، گاز متان، آمونیاک یا هیدروژن سولفور تولید می‌کنند.



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؛ در حالی که در مورد یون‌های تک‌ظرفیتی قابلیت محدودی دارد.

۱-۴-۱- 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 پدیده‌های وابسته به حیات هنوز در محیط‌های دریایی، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، برکه‌ها و مشابه آن به وقوع می‌پیوندد. اما گاهی حضور بیش از حد مجاز آبیان 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 لوله‌ها واکنش داده و باعث افزایش کدورت آب شوند (باکتری آهن). در نهایت وجود بسیاری از این باکتری‌ها می‌تواند یک تهدید برای بهداشت عمومی محسوب گردند (ریزجانداران بیماری‌زا) [۱۱ تا ۱۷].

به‌طور کلی میکروارگانیسم‌های موجود در اکوسیستم‌های آبی را می‌توان به دو بخش اتوتروف و هتروتروف تقسیم کرد. میکروارگانیسم‌های اتوتروف با مصرف انرژی خورشیدی و با استفاده از مواد ساده معدنی در دسترس، مواد آلی مورد نیاز خود را می‌سازند. در حالی که میکروارگانیسم‌های هتروتروف نمی‌توانند مواد آلی بسازند بلکه مواد آلی را باید از محیط کسب نمایند.

همچنین آبیان به دسته‌های مختلف باکتری‌ها، ویروس‌ها، جلبک‌ها، حیوانات و گیاهان تقسیم می‌شوند. در میان باکتری‌های آبی، باکتری‌های هتروتروف شامل مجموعه‌ای از باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی اختیاری هستند. این باکتری‌ها معمولاً عامل گرفتگی بیولوژیکی در سامانه‌های غشایی هستند.

قارچ‌ها، کرم‌ها و حشرات عموماً در مراحل پیش‌تصفیه حذف می‌شوند. گیاهان آبی، خزها و جلبک‌ها نیز از عوامل عمده گرفتگی فیلترها در پیش‌تصفیه سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی هستند.

آمیب‌ها می‌توانند به‌صورت کیست تا بیش از یک ماه زنده بمانند. اگرچه آن‌ها با ازن‌زنی با زمان تماس زیاد از بین می‌روند ولی مقاومت این جانداران در برابر گندزدایی از اغلب باکتری‌ها بیشتر بوده و ریشه‌کنی آن‌ها را با دشواری روبرو می‌سازد. حذف این عوامل به‌راحتی از طریق تصفیه آب با روش انعقادسازی و لخته‌گذاری با میزان بهینه تزریق مواد شیمیایی و به دنبال آن فیلتراسیون سریع با صافی شنی امکان‌پذیر است.

چون سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی در دمای بالا کار می‌کنند امکان زنده ماندن عوامل میکروبی در آب تولیدی این فرایندها منتفی خواهد بود. لیکن باکتری‌ها در صورت عدم تصفیه کامل در مراحل پیش‌تصفیه می‌توانند موجب گرفتگی بیولوژیکی در سامانه‌های غشایی بشوند.

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

وجود موجودات زنده آبی شامل جلبک‌ها، خزها، گیاهان آبی، لارو و ماهی‌های مختلف می‌تواند بر روی کلیه سامانه‌های پیش‌تصفیه از برداشت آب تا فیلتراسیون ماسه‌ای 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].



- آشغال‌گیرهای متحرک: این نوع آشغال‌گیرها از صفحات مشبک فلزی تشکیل شده است که حول دو قرقره محرک و هادی می‌چرخد و مانع از ورود مواد زاید معلق به آب‌گیر می‌شود [۳۵].
- آشغال‌گیرهای مشبک استوانه‌ای: این آشغال‌گیرها طوری طراحی شده‌اند که قادر به آب‌گیری حجم زیادی از آب با سرعت کم هستند. اندازه منافذ این آشغال‌گیرها حدود ۰/۵ تا ۱۰ میلی‌متر است و توانایی بالایی در کاهش مواد زاید معلق در آب ورودی دارند [۳۵].

۱-۵-۱-۱-۱- آب‌گیر مستقیم - سطحی

این آب‌گیرها شامل کانال‌های انتقال بتنی از دریا تا ساحل و حوضچه‌های آرام‌کننده با موج‌شکن دارای آشغال‌گیرهای مکانیکی، هستند. باید این نکته را در نظر داشت که این نوع آب‌گیرها تنها زمانی عملکرد مناسب خواهند داشت که مقدار مواد زاید و رسوبات معلق در آب زیاد نباشد [۳۶].

۱-۵-۱-۱-۲- آب‌گیرهای مستقیم - عمیق

این آب‌گیرها معمول‌ترین نوع آب‌گیر برای سامانه‌های نمک‌زدایی و به شکل خطوط لوله نصب‌شده در کف دریا هستند. این خطوط لوله ممکن است از چند صد متر تا چند هزار متر از ساحل در دریا پیش رفته باشند [۳۶].

۱-۵-۱-۲- آب‌گیرهای غیرمستقیم

در مواردی که به دلیل تخلخل زیاد و قابلیت بالای انتقال آب در خاک و شن و ماسه کنار دریا، انتقال آب دریا از زیر زمین آسان است؛ آب دریا با کیفیت بالا از طریق حفر چاه‌های ساحلی و سایر روش‌های غیرمستقیم آب‌گیری برداشت می‌شود. این روش‌های آب‌گیری باعث کاهش مسافت انتقال آب از منبع تا محل سامانه نمک‌زدایی و در نتیجه کاهش هزینه‌های برداشت آب خام می‌شود [۳۷].

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 ۰/۵ 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].



۱-۵-۱-۲-۲- 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].

۱-۵-۱-۲-۳- 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].

۱-۵-۱-۲-۴- 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].

۱-۵-۱-۳- 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 پیش‌تصفیه، هزینه بهره‌برداری کلی سامانه می‌تواند ۱۰ تا ۳۰ درصد کم‌تر از سامانه با آب‌گیر مستقیم باشد. بنابراین، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اضافه شده احتمالی برای طراحی و ساخت آب‌گیرهای غیرمستقیم با هزینه کاسته شده از فرایندهای پیش‌تصفیه و عملیات بهره‌برداری جبران می‌شود [۴۳].

۱-۵-۴- مزایا و معایب آب‌گیرهای مستقیم و غیرمستقیم

در جدول (۴-۱) تعدادی از مزایا و معایب این دو روش آب‌گیری به‌صورت خلاصه آورده شده است.

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

نوع آب‌گیر	معایب	مزایا
مستقیم	کیفیت پایین‌تر و متغیر آب	جریان با ظرفیت بالا
	احتیاج به تجهیزات پیش‌تصفیه گران قیمت	مناسب برای اکثر زمین‌ها و پروژه‌ها
	هزینه بهره‌برداری و نگهداری بالا	ساخت نسبتاً آسان
	تأثیر زیست‌محیطی مخرب در طول بهره‌برداری	اثر ظاهری کم‌تر بر ساحل دریا
غیرمستقیم	آسیب‌پذیری نسبت به جذر و مد	کیفیت آب بهتر و پایدارتر
	محدودیت از لحاظ ظرفیت آب‌گیری (به‌جز موارد استفاده از چاه‌های چندگانه یا چاه‌های جمع‌کننده افقی)	به‌طور کلی نیاز کم‌تر به تجهیزات پیش‌تصفیه
	ریسک بالاتر برای ظرفیت جریان ناکافی	از لحاظ تجهیزات پیش‌تصفیه سرمایه‌گذاری کم‌تر
	وابستگی جدی به ملاحظات هیدرولوژیکی	از لحاظ انرژی و مواد شیمیایی هزینه‌های بهره‌برداری کم‌تر
	سرعت اولیه پایین در برداشت	اثرات مخرب زیست‌محیطی کم‌تر در حین بهره‌برداری (به غیر از اثرات ظاهری بر محیط زیست)
پیچیدگی در ساخت	فراهم کردن انعطاف‌پذیری بیش‌تر در حین بهره‌برداری	
نگهداری مشکل (فرسایش تا بسته شدن)		

۱-۵-۲- آب‌گیری از دریاچه‌ها

تجهیزات آب‌گیر در دریاچه‌ها در صورتی که میزان رسوب‌گذاری پایین باشد، می‌تواند در بستر آب قرار گیرد. یک لوله ساده با تکیه‌گاه فونداسیون که در زیر سطح آب دریاچه با سطح پایدار پیش‌می‌رود یک طرح مناسب آب‌گیری برای این نوع منابع آب محسوب می‌شود. انتهای تاسیسات آب‌گیر به منظور جلوگیری از ورود آشغال‌ها و ماهی‌ها همواره باید آشغال‌گیر داشته باشد. در طراحی و به‌کارگیری آب‌گیرها در این نوع منابع آب باید موارد زیر را مدنظر قرار گیرد:

- خطر فرسایش بیولوژیکی آب‌گیر توسط گیاهان و جانوران آبی

- غلظت رسوبات معلق در عمق‌های متفاوت در ستون آب و تغییرات فصلی در غلظت [۴۰]

انواع دیگر آب‌گیرها برای دریاچه‌ها عبارتند از آب‌گیر شناور، برج آب‌گیر با برداشت انتخابی از عمق‌های مختلف و آب‌گیر غیرمستقیم که مشابه آب‌گیری از دریا است. توجه به این نکته ضروری است که دریاچه جزء محیط‌های چهارگانه محیط زیست تلقی نشود چرا که امکان آب‌گیری 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 تغییرمی‌کند. 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، نترات و ریزآلاینده‌ها
 - امکان حضور بور به‌ویژه در آب دریا
 - احتمال بروز اوتریفیکاسیون، آلودگی جلبکی و تبعات ناشی از آن
- بر اساس تعاریف و استانداردهای اندازه‌گیری، شاخص‌های کدورت، مواد جامد معلق، رنگ، بو و مزه برای شناسایی کیفیت فیزیکی تعریف شده است که در کنار دما، خواص فیزیکی آب برشمرده می‌شوند. این عوامل تحت تاثیر شرایط محیطی، خصوصیات ظاهری آب را نشان می‌دهند.
- 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)^۱ قادر به گذر از این فرایندها هستند. در واقع آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی را می‌توان عاری از هر گونه مشکل فیزیکی برشمرد.
- معمولاً به ویژگی‌هایی از آب که در اثر میزان و نوع ماده حل شده در آن تغییر می‌کند، ویژگی‌های شیمیایی آب گفته می‌شود. از جمله می‌توان به pH ، قلیائیت، کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی و سختی اشاره کرد.
- کارایی‌های 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 اهمیت‌ترین بخش‌های فناوری نمک‌زدایی می‌باشد، همچنین بخش عمده‌ای از هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و ساخت رابه خود اختصاص می‌دهد.
- آب‌گیرها با توجه به منابع آبی به سه بخش آب‌گیری از دریاها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تقسیم می‌شود.
- عموماً دو نوع آب‌گیری از آب دریا برای نمک‌زدایی وجود دارد: آب‌گیر مستقیم، آب‌گیر غیر مستقیم
- روش‌های آب‌گیری برای دریاچه‌ها عبارتند از آب‌گیر شناور، برج آب‌گیر با برداشت انتخابی از عمق‌های مختلف و آب‌گیر غیر مستقیم که مشابه آب‌گیری از دریا است. توجه به این نکته ضروری است که دریاچه جز محیط‌های چهارگانه محیط زیست تلقی نشود چراکه امکان آب‌گیری و یا دفع پساب به آن غیرممکن است^۱
- عوامل موثر در تعیین نوع آب‌گیر عبارتند از:
- شرایط آب و هوایی
 - شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی بستر و ساحل دریا

1- Volatile Organic Compound (VOC)



- 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 پیش‌تصفیه مناسب



۲-۱- کلیات

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

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

روش‌های متداول نمک زدایی 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^۱، استفاده از این روش را بیش‌تر کرده است.

مزیت استفاده از روش‌های تقطیری در مقایسه با سایر روش‌های نمک زدایی، 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 نمک زدایی 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 نمک زدایی 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 لب‌شور کاربرد دارند و دارای درصد بالای دفع نمک هستند. غشاهای مورد استفاده برای آب لب‌شور به‌دلیل کیفیت بهتر آب نسبت به آب دریا دارای شار گذرنده بالاتر و دفع نمک و فشار عملیاتی مورد نیاز پایین‌تر هستند [۴۸].

۲-۲- کیفیت منابع آب خام

همان‌طور که در بخش اول ذکر شد، آب خام مورد استفاده در فرایندهای نمک‌زدایی به دو دسته آب زیرزمینی و آب سطحی تقسیم می‌شود. ترکیبات این دو آب دارای تفاوت‌های زیادی است.

۲-۲-۱- آب سطحی

غلظت‌های متداول آب دریا در نقاط مختلف جهان از کم‌تر از ۳۵۰۰۰ تا بیش از ۴۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است. غلظت TDS در آب‌های خلیج فارس ۳۹۰۰۰ تا ۴۸۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است.

آب دریا اغلب حاوی ذرات ریز و آلاینده‌های کلوئیدی، هیدروکربن‌های ناشی از آلودگی‌های روغنی و آلودگی بیولوژیکی (رشد جلبکی و سایر میکرواورگانیزم‌ها) است. همچنین یکی از مشکل‌سازترین عناصر آب دریا در تولید آب شرب، بور است [۴۸]. استانداردهای آب آشامیدنی در مورد میزان مجاز بور، به‌طور فزاینده‌ای سخت‌گیرانه 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 می‌شود. یون بورات به وسیله سامانه‌های نمک‌زدایی قابل حذف است. لذا افزایش pH به عنوان متداول‌ترین راه یونیزاسیون بور و دفع آن شناخته شده است. با این وجود افزایش pH می‌تواند منجر به تشکیل رسوب نمک و ته‌نشینی آن به‌ویژه در فرایندهای غشایی گردد [۴۹ و ۵۰].

رودخانه‌ها به‌عنوان بخش دیگری از آب‌های سطحی معمولاً دارای مشکلات فیزیکی مانند کدورت و جامدات معلق بالا هستند. ولی در بیش‌تر موارد دارای TDS پایین بوده و در دسته آب‌های لب‌شور قرار می‌گیرند. در نتیجه در تصفیه آن‌ها به‌ندرت از روش‌های حرارتی استفاده می‌شود.

کربنات کلسیم و منیزیم معمولاً تنها شکل رسوب مشکل‌زا در اسمز معکوس آب دریا است. با این وجود حضور یون‌های سولفات، باریم و استرانسیم نیز امکان تشکیل رسوب‌های سولفات‌مانند سولفات کلسیم و سولفات باریم را محتمل می‌سازد. بزرگ‌ترین مشکل سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی، افزایش رسوب‌گذاری سولفات کلسیم با افزایش دما است. حضور فراوان ذرات معلق، مواد آلی و میکروارگانیزم‌ها در این آب‌ها از عوامل اصلی بروز گرفتگی و رشد بیولوژیکی در سامانه‌های نمک‌زدایی 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 چندانانی 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 می‌توان با تغییر فشار ورودی با استفاده از دستگاه تغییر دور پمپ (VFD)^۱ کنترل کرد و در شرایط ثابت نگه داشت.

جدول ۱-۲- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های 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 رسوب‌گذاری

راهکار اصلی برای جلوگیری از گرفتگی یا رسوب‌گذاری، استفاده از پیش‌تصفیه مناسب است. معمولاً، منابع آب‌های سطحی (آب دریا و آب لب‌شور) در مقایسه با آب‌های زیرزمینی امکان گرفتگی و رسوب‌گذاری بیش‌تری ایجاد می‌کنند و پیش‌تصفیه مفصل‌تری را می‌طلبند.



۲-۴-۱- روش‌های شیمیایی

روش‌های شیمیایی شامل افزودن مواد شیمیایی شامل گندزدایی، اسید، منعقدکننده، ضدرسوب و مشابه آن و روش تبادل یونی است.

۲-۴-۱-۱- اسید

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

۲-۴-۱-۲- منعقدکننده‌ها و لخته‌سازها

منعقدکننده‌ها، بار منفی ذرات معلق و کلوئیدی را خنثی کرده آن‌ها را از حالت ثبات خارج می‌سازند و امکان اتصال با سایر مواد یا سطوح با بار مخالف (مثبت) اعم از یون‌ها و ایجاد گرفتگی را به حداقل می‌رسانند. منعقدکننده‌ها معمولاً کوچک مولکول بوده و دارای بار مثبت هستند. منعقدکننده‌های معدنی معمولاً نمک‌های آلومینیم و آهن مانند کلرید آهن، سولفات آهن یا سولفات آلومینیم هستند. درحالی‌که منعقدکننده‌های آلی معمولاً پلیمرهای کاتیونی با وزن مولکولی کم، مانند پلی‌آمید و دی‌متیل دی‌آلومینیم کلراید هستند [۵۴]. معمولاً میزان مورد نیاز تزریق منعقدکننده‌های معدنی (۵ تا ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر) بیش از منعقدکننده‌های آلی (۰/۲ تا ۱ میلی‌گرم بر لیتر) است [۵۵]. انتخاب نهایی منعقدکننده لازم است به کمک جار تست و میزان مصرف و ضرورت اصلاح pH صورت گیرد.

در صورتی که کیفیت آب ورودی به‌گونه‌ای باشد که نیاز به لخته‌سازی و ته‌نشین شدن نداشته باشد، تزریق منعقدکننده‌ها 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 می‌گردد. به علاوه، استفاده از هر دو نوع منعقدکننده به‌منظور بهره‌گیری از مزایای هر کدام از این انواع امکان‌پذیر است [۴۸].

زمانی که آب ورودی SDI بالاتر از ۱۰ داشته باشد، از لخته‌کننده در کنار منعقدکننده پیش از مدیافیلترها استفاده می‌شود. لخته‌کننده‌ها موجب تجمع و تراکم ذرات معلق و کلوئیدی بی‌ثبات شده و ریزلخته‌ها و سپس لخته‌های بزرگ‌تر را تشکیل می‌دهند و در نتیجه موجب ته‌نشینی آنها می‌گردند. لخته‌کننده‌ها معمولاً پلیمرهای آنیونی با وزن مولکولی بالا هستند [۵۶]. فرار این مواد از مدیافیلترها مشکلات جدی و برگشت‌ناپذیری برای سامانه‌های غشایی ایجاد می‌کند.

۲-۴-۱-۳- ضدرسوب

این مواد شیمیایی با از هم گسیختن یک یا دو مرحله از مراحل کریستالیزاسیون منجر به جلوگیری از رسوب می‌شوند. ضدرسوب‌ها در افزایش آستانه غلظت یونی مورد نیاز در تشکیل خوشه‌های 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 شده‌اند [۵۷].

۴-۱-۴-۲ - ضد کف

ضدکفها در فرآیند پیش تصفیه سامانه‌های حرارتی افزوده می‌شوند. ضد کفها از تشکیل کف ناشی از پاشش آب بر روی دسته لوله‌ها یا داخل مراحل مختلف تقطیر جلوگیری می‌کنند و با این کار مانع حمل ذرات ریز آب توسط بخار و افت کیفیت تولید می‌شوند [۵۷].

۴-۱-۵-۲ - گندزدایی

روش‌های گندزدایی به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. روش‌های فیزیکی غربال‌گری در حذف باکتری‌ها تاثیر چندانی ندارند به طوری که در بهترین شرایط با استفاده از ته‌نشین‌سازی و صافی تنها ۳۰ درصد باکتری‌ها حذف می‌شوند. البته روش‌های غشایی جدید از قبیل میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون با تقریب ۹۹/۹۹ درصد کلیه باکتری‌ها را حذف می‌نمایند.

گندزدایی شیمیایی در فرآیند پیش تصفیه با افزودن اکسیدکننده‌های قوی و یا تابش اشعه فرابنفش انجام می‌گیرد. 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 هالوژن‌ها مثل کلر، برم و ید، یون‌های 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 ₂ O ₂)	۱/۰۰	کلرین (Cl)
۲/۲۳	فلورین (F)	۰/۸۰	برومین (Br)
۱/۲۴	پرمنگنات (MnO ₄)	۰/۵۴	یودین (I)

۴-۱-۵-۱-۱ - 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 ماشین‌آلات دارد. اگر چه قدرت عملکرد گاز کلر بسیار بیش‌تر از سایر ترکیبات کلر است ولی توجه به مسایل ایمنی و نگهداری موجب شده است که متداول‌ترین 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 کلرzeni 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 ۰/۱ میلی گرم بر لیتر به مدت متوسط ۸ ساعت باشد. واحدهای تخریب ازن می توانند کاتالیستی، حرارتی یا ترکیبی 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 میکروبه 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 (۲-۳) شرایط گندزدایی موثر با پرتو فرابنفش را مشخص کرده است [۶۰ و ۶۱].

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

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

۲-۴-۱-۶- حذف اکسیدکننده‌ها

اغلب گندزدهای اکسیدکننده بر روی سامانه‌های غشایی اثرات نامطلوب دارند و باید قبل از ورود به غشا حذف شوند. در صورتی که کلر به‌عنوان گندزدا استفاده شود، در انتهای فرآیند پیش‌تصفیه باید کلر باقی‌مانده حذف شود تا برای سامانه نمک‌زدایی مشکل خوردگی یا از بین رفتن غشا ایجاد نکند. متداول‌ترین و کارآمدترین روش برای حذف کلر استفاده از محلول بی‌سولفیت سدیم است.

سایر روش‌ها مانند استفاده از کربن فعال یا تزریق پراکسید هیدروژن کارایی و دقت استفاده از محلول بی‌سولفیت سدیم را ندارند.

جدول‌های (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 باقی‌مانده و میزان کلر باقی‌مانده توصیه شده در آب آشامیدنی را مطابق استاندارد آب آشامیدنی ایران نشان می‌دهد.

۲-۴-۱-۷- سختی‌گیر تبادلی یونی

رزین‌های تبادلی یونی می‌توانند به‌منظور حذف عوامل رسوب‌گذاری به‌عنوان یک روش پیش‌تصفیه در فرایندهای نمک‌زدایی استفاده شوند. استفاده از انواع رزین‌های کاتیونی امکان حذف سختی (کلسیم و منیزیم) و بی‌کربنات را فراهم می‌کند. روش‌های جدید حذف عوامل رسوب‌گذاری، هزینه بالای سالیانه ناشی از مصرف زیاد مواد شیمیایی و تعویض رزین‌ها، نیاز به تنظیم pH ، نیاز به تجهیزاتی چون گاززدا باعث شده است تا از این سامانه‌ها کم‌تر در بخش پیش‌تصفیه استفاده شود و این سامانه‌ها بیش‌تر 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 30 NTU باشد و یا با کدورت 50 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 0.5 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 1000 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 5 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 به‌عنوان آخرین مرحله پیش‌تصفیه سامانه‌های اسمز معکوس به کار برده می‌شود و ذرات کوچک‌تری (که از فیلتردانه‌ای عبور کرده است) را حذف می‌نماید. اندازه منافذ کارتریج فیلترها معمولاً ۱ تا ۲۰ میکرون است که در سامانه‌های اسمز معکوس عمدتاً از نوع ۵ میکرون آن استفاده می‌شود [۵۶ و ۶۶].

کارتریج‌های مورد استفاده در پیش‌تصفیه سامانه‌های نمک‌زدایی 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 روش‌های مختلف نمک‌زدایی و تاثیر آن‌ها بر خصوصیات آب مانند pH می‌توان از گاززدا استفاده نمود. در واحدهای حرارتی به‌منظور جلوگیری از افت ضرایب انتقال حرارت ناشی از تمرکز گازها در سطوح انتقال حرارت، با استفاده از اجکتورها یا پمپ‌های خلا می‌توان این گازها را تخلیه نمود. اما در سامانه‌های غشایی مهم‌ترین مشکل، کاهش pH ناشی از حضور دی‌اکسیدکربن است که با استفاده از گاززدا و حذف آن اصلاح می‌شود. استفاده از گاززدا در شرایطی اتفاق می‌افتد که امکان تزریق سود جهت افزایش pH نباشد. افزایش pH گاز دی‌اکسید کربن را به بی‌کربنات تبدیل می‌کند که سامانه غشایی آن را حذف خواهد کرد [۶۲].

۲-۴-۲-۴- روش‌های پیش‌تصفیه نوین

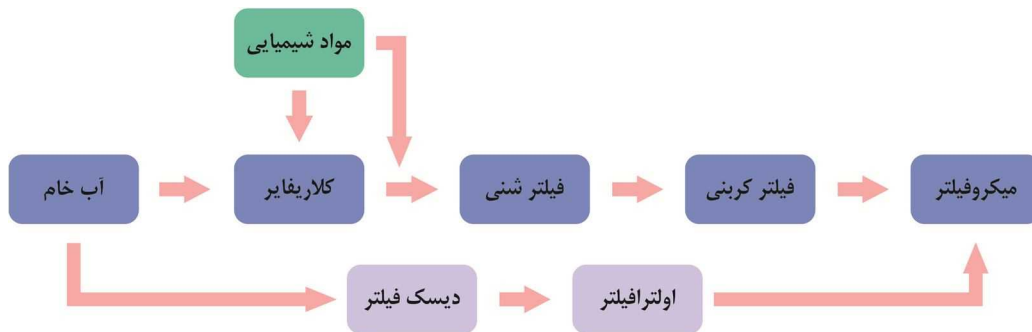
با وجود این که روش‌های مرسوم به‌طور گسترده در واحدهای اسمز معکوس آب لب‌شور و آب دریا استفاده می‌شود، تغییر در ویژگی آب ورودی در اثربخشی روش‌های پیش‌تصفیه مرسوم به شدت تاثیرگذار است. اغلب، ذرات معلق و کلونیدی که در فرایندهای پیش‌تصفیه معمول حذف نمی‌شود، در گرفتگی غشای اسمز معکوس نقش به‌سزایی دارد. اخیراً به‌عنوان پیش‌تصفیه اسمز معکوس بیش‌تر از روش‌های غشایی مانند میکرو، اولترا و نانوفیلتر استفاده می‌شود. مدول‌های میکرو و اولترافیلتر با قابلیت شستشوی معکوس، انعطاف‌پذیری عملیاتی بیش‌تری نسبت به مدول‌های 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 آلاینده‌ها و جریان‌گذرنده از غشا را در بین سه غشای ذکر شده دارند [۴۹ و ۵۵]. اولترافیلترها در مقایسه با روش‌های سنتی مزایای فراوانی را به همراه دارند. پیش‌تصفیه غشایی می‌تواند SDI آب ورودی به سامانه اسمز معکوس را به کم‌تر از ۱ و کدورت آن را به کم‌تر از ۰/۱ NTU کاهش دهد [۶۸]. از دیگر مزایای اولترافیلترها مقاومت آن‌ها در برابر مواد خوردنده مانند کلر است که عمر این غشاها را تا بیش از ۵ سال افزایش می‌دهد.



اگرچه معمولاً دیسک فیلترها به عنوان پیش تصفیه دائمی اولترافیلترها شناخته می‌شوند، گاهی در شرایط بسیار نامساعد مانند آب‌های بسیار آلوده به منظور کاهش بار وارد بر اولترافیلترها از روش‌های سنتی مانند کلاریفایر پیش از آن‌ها استفاده می‌شود.

در مجموع می‌توان چینش کلی روش‌های پیش تصفیه متداول نوین و سنتی را در شکل (۱-۲) مشاهده کرد.



شکل ۱-۲- چینش کلی روش‌های پیش تصفیه متداول و جایگزین

۲-۵- جمع‌بندی

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

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

سایر	گرفتگی	رسوب‌گذاری										محدودیت ظرفیت (مترمکعب بر روز)			نوع پیش تصفیه			
		CaCO ₃	CaSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	Fe / Mn	Al	LSI/S&DSI	SDI	میکروارگانیزمها	مواد آلی	روغن و چربی	اکسیدکننده‌ها/خوردگی	کمتر از ۱۰۰۰		۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	بیش‌تر از ۱۰۰۰۰	
																		گندزدایی
																		ته‌نشین‌سازی
																		منعقدکننده و لخته‌ساز
																		هوادهی
																		سختی‌گیری با آهک
																		اسیدزنی
																		حذف اکسیدکننده‌ها
																		ضدرسوب

فصل ۳

انتخاب فناوری مک‌زدایی 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! 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 پیش‌رونده (FO)^۳ بر اساس اختلاف غلظت کار می‌کنند.

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

مقدار آب بازیابی شده با استفاده از غشاهای اسمز معکوس آب دریا ۳۰ تا ۴۵ درصد و برای آب لب‌شور 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 می‌کنند. 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 آلودگی‌ها، اسمز معکوس در مقایسه با سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی عموماً خصوصیتی 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 می‌توان به امکان طراحی مدولار و منعطف با توجه به توسعه مدول‌های 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، مقیاس‌افزایی آسان از پایلوت به واحد صنعتی و امکان ترکیب با روش‌های دیگر جداسازی اشاره کرد. به طور کلی اصلاح غشاها و سامانه‌های بازیابی انرژی برای اسمز معکوس باعث کاهش قیمت هزینه‌های مرتبط با تصفیه و کارایی این فرایند شده است [۷۱].

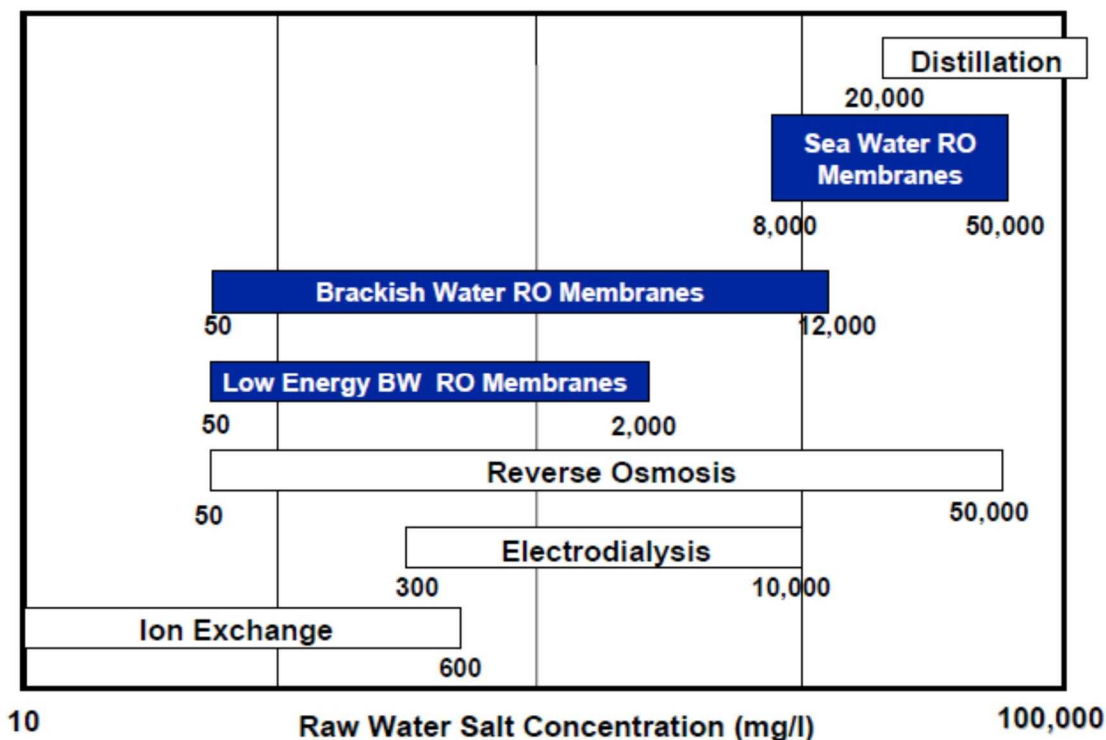
اگر چه نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز یا الکترودیالیز معکوس شونده نیز فناوری‌های توسعه‌یافته هستند و می‌توانند برای نمک‌زدایی مورد استفاده قرار گیرند، ولی معمولا الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده از نظر قیمت، هزینه، مصرف انرژی الکتریکی و مشکلات گرفتگی غشا برای نمک‌زدایی آب دریا قابل رقابت با دیگر فرایندها نیستند [۷۲].

فرایند نانوفیلتراسیون نیز به علت تمرکز بیش‌تر بر حذف یون‌های دو ظرفیتی و پایین بودن توان حذف یون‌های یک ظرفیتی برای تولید آب شرب از آب دریا مورد توجه قرار نمی‌گیرد. غشاهای نانوفیلتر درصد بیش‌تری (تا بیش از ۹۷ درصد) از یون‌های دو ظرفیتی را حذف می‌کند اما توان حذف یون‌های تک ظرفیتی در آن‌ها محدود است (حدود ۴۰ تا ۹۵ درصد). از سامانه‌های نانوفیلتراسیون در کاهش سختی قبل از سامانه‌های اسمز معکوس آب دریا و سامانه‌های حرارتی جهت افزایش بازدهی کلی واحد استفاده می‌شود. فرایند اسمز پیش‌رونده نیز یکی از فناوری‌های 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 می‌گیرد. نانوفیلتراسیون معمولا برای نمک‌زدایی آب دریا به کار نمی‌رود، ولی در کنار فرایندهای حرارتی به عنوان سختی‌گیر به کار گرفته می‌شود تا مشکلات رسوب‌گذاری این سامانه‌ها را کاهش داده و بازدهی آن‌ها را بیش‌تر کند. همچنین از این غشاهای آب‌های لب‌شور استفاده کرد.

نانوفیلتراسیون از غشاهای نیمه‌تراوا است و از نیروی محرکه فشار هیدرولیکی استفاده می‌کند؛ با این وجود، در مقایسه با اسمز معکوس، غشاهای نانو، مواد با وزن ملکولی بزرگ‌تر را، راحت‌تر عبور می‌دهند. غشاهای نانوفیلتر درصد بالایی (تا بیش از ۹۷ درصد) از یون‌های دو ظرفیتی را حذف می‌کنند اما درصد حذف یون‌های تک ظرفیتی در آن‌ها محدود است (حدود ۴۰ تا ۹۵ درصد).

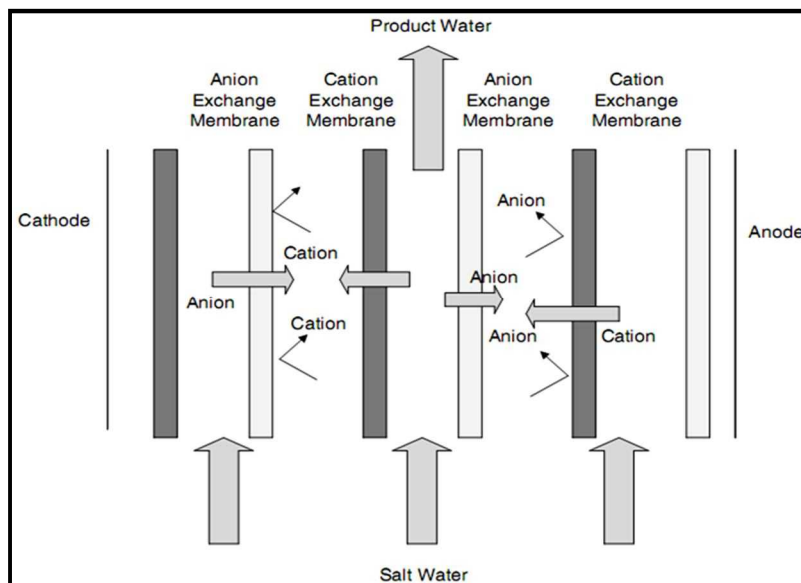
به علت اینکه غلظت بالایی از یون‌های تک ظرفیتی می‌توانند از غشاهای نانوفیلتر عبور کنند، فشار هیدرولیک مورد نیاز آن‌ها کم‌تر از سامانه‌های اسمز معکوس است. وجود این مساله هم‌زمان با لایه‌های غشایی با تراوایی بالا، فشار هیدرولیکی مورد نیاز را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد [۶۹].

۳-۲-۳- الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس‌شونده

فرایندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس‌شونده از یک غشا که قدرت انتخاب یون دارد بهره می‌برند و از اختلاف پتانسیل الکتریکی برای جداسازی ذرات باردار از آب استفاده می‌کنند. الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس‌شونده از پتانسیل الکتریکی برای بیرون کشیدن یون‌های محلول از بین یک سری از غشاها (غشاهای کاتیونی و غشاهای آنیونی) استفاده می‌کنند و آب یون‌زدایی شده در بین غشاها حرکت می‌کند و در نهایت بازیابی می‌شود. فرایند الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس‌شونده قادر به حذف پاتوژن‌ها و مواد معلق بدون بار نیستند و بنابراین نقشی در فرایند گندزدایی و حذف کدورت ندارند. [۶۹ و ۷۴].

فرایندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس‌شونده معمولا برای نمک‌زدایی آب دریا به کار نمی‌روند زیرا در غلظت‌های بالای نمک، مصرف برق بسیار بالایی دارند و نسبت به دیگر انواع فناوری‌های نمک‌زدایی غشایی کارایی کم‌تری دارند [۷۵]. شکل (۳-۲) اساس کار فرایند الکترودیالیز را نشان می‌دهد.

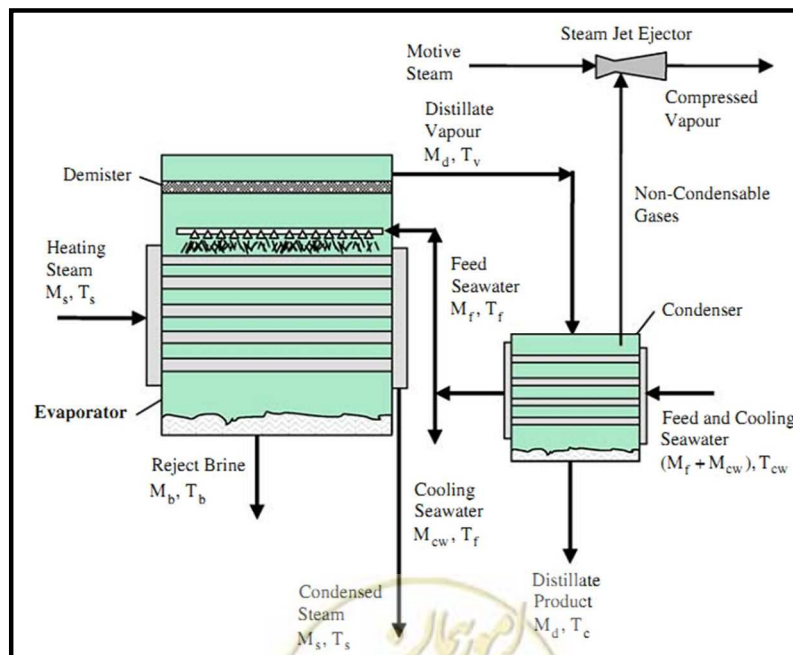




شکل ۳-۲- اساس کار فرایند الکترودیالیز

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 جزیبی 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) سامانه تا چند برابر افزایش می‌یابد.

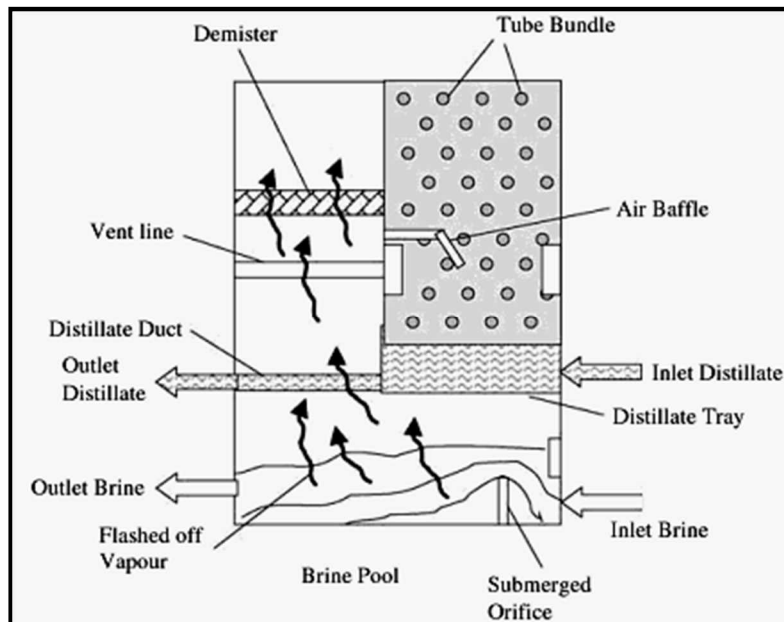
سامانه‌های نمک‌زدایی تقطیر چند مرحله‌ای بر اساس مسیر آب تغذیه هر مرحله، به سه دسته تقطیر با خوراک موازی، تقطیر با خوراک پیش‌رو و تقطیر با خوراک پس‌رو تقسیم می‌شوند.

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 مسیره یا چرخشی باشد.





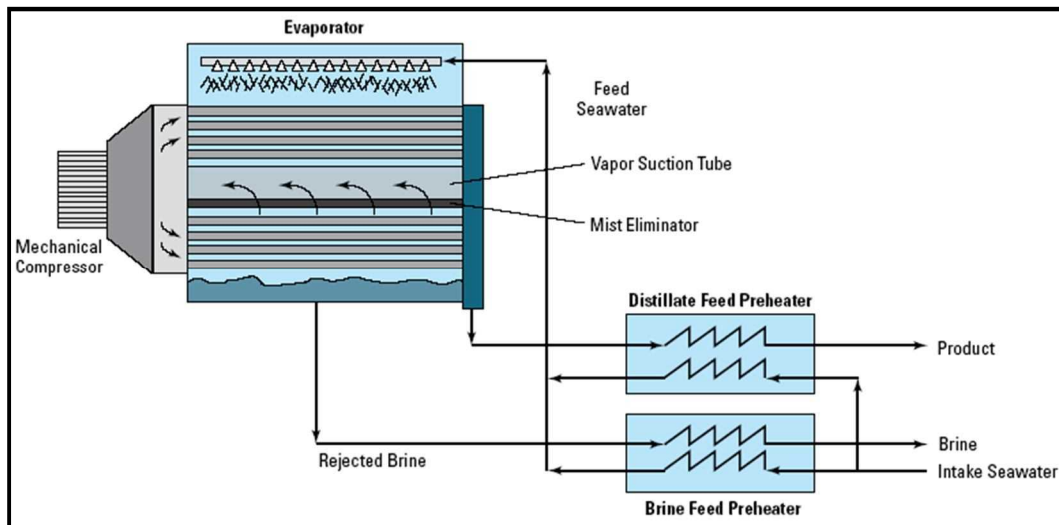
شکل ۳-۴- یک مقطع از محفظه تبخیر ناگهانی [۶۹]

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.

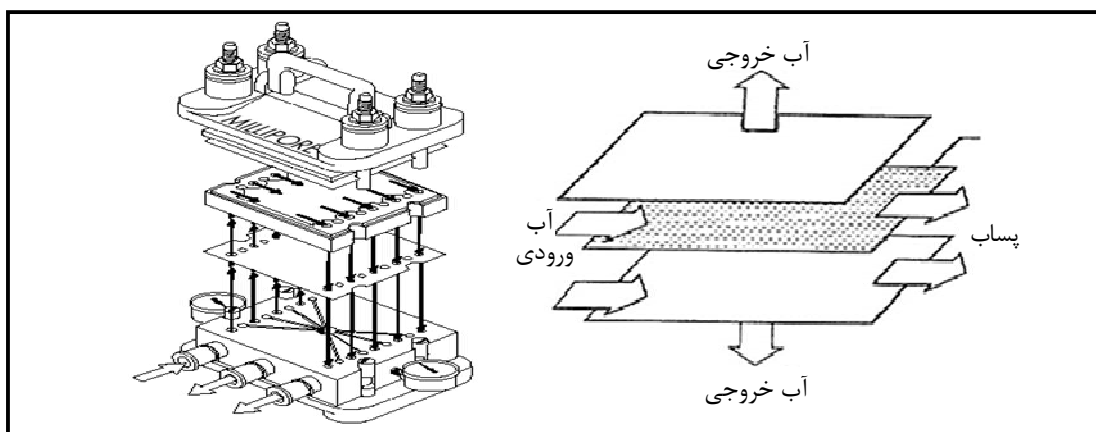


۳-۱-۱-۳-۳- غشاها

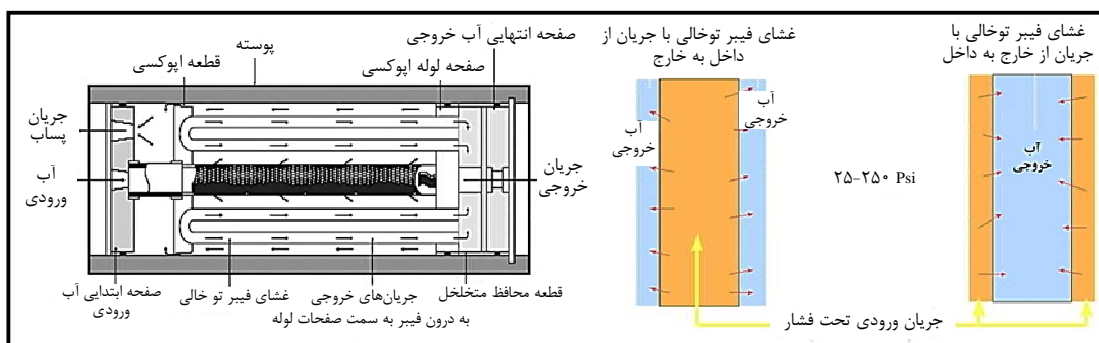
غشاها از نظر شکل غشا و محفظه فشار و جهت جریان به اشکال مختلف طراحی و ساخته می‌شوند که عمده‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- 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.

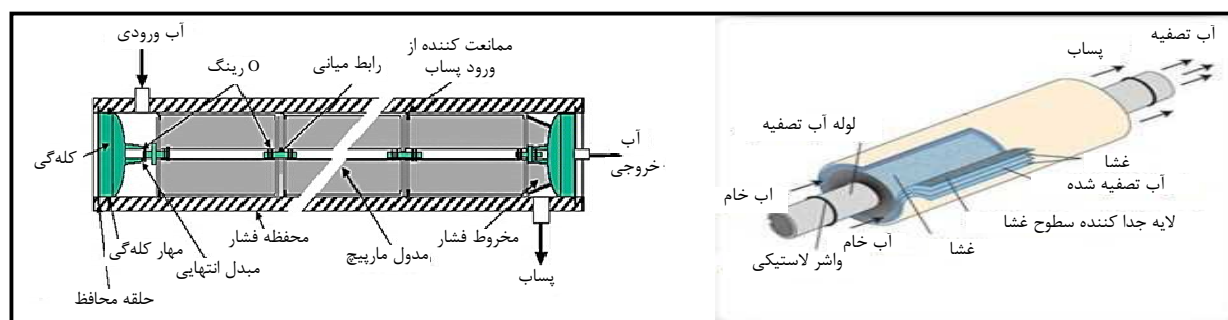


شکل ۳-۶- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی صفحه‌ای (چپ)



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





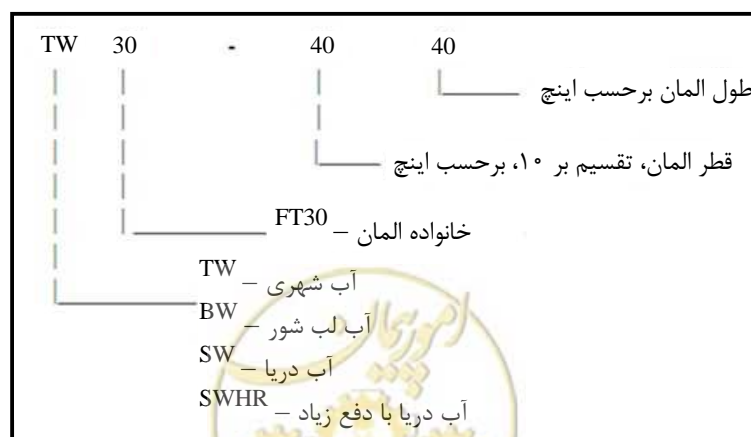
شکل ۳-۸- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی حلزونی (چپ)

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 استاتها است. غشاها دارای قطر خارجی حدود ۳۰۰-۱۰۰ میکرون و قطر داخلی بین ۵۰ و ۱۵۰ میکرون هستند. معمولا 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 کم تر 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؛ مثلا BW30 مربوط به ممبرین Brackish Water FT30 قابل استفاده برای آب های لب شور است. بخش دوم اسم، اندازه المان را مشخص می کند، مثلا 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]

۳-۱-۳-۲- 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 تمیزکردن 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.

۳-۱-۳-۳- پمپ فشار قوی

تامین فشار مورد نیاز در سامانه‌های غشایی به‌عده 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 نانوفیلتر در مقایسه با غشاهای 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.

۳-۱-۳-۴- 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 می‌شود. در این دستگاه از فشار بالای جریان برای تامین بخشی از انرژی مورد نیاز پمپ فشار قوی استفاده می‌شود. این بازیابی تا ۴۰ درصد از میزان مصرف انرژی می‌کاهد. در این بین با توجه به کارایی و میزان بازیافت انرژی بیش‌تر از توربوشارژر، مبدل فشار و مبدل پیستونی استفاده می‌شود [۱۹].

۳-۳-۱-۱-۵- خطوط لوله و اتصالات

تامین فشار مورد نیاز در سامانه‌های غشایی به عهده پمپ فشار قوی است. اغلب پیشنهادهای موجود در خطوط لوله و اتصالات با فشار کم‌تر از ۱۰ بار از پلاستیک یا فایبرگلاس استفاده شود. این کار برای حذف مشکل خوردگی و ملاحظات مربوط به آن و البته کاهش هزینه‌هاست.

برای خطوط لوله کم فشار در فضاهای سرباز معمولاً از پلی‌اتیلن یا فایبرگلاس استفاده می‌شود و در محل‌های سرپوشیده، UPVC به کار می‌رود.

در لوله‌های با فشار بالا از فلزات آلیاژی استفاده می‌شود. 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 می‌توانند 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 می‌شود که می‌توان با حفاظت کاتدی با مس یا برنج از آن جلوگیری کرد.

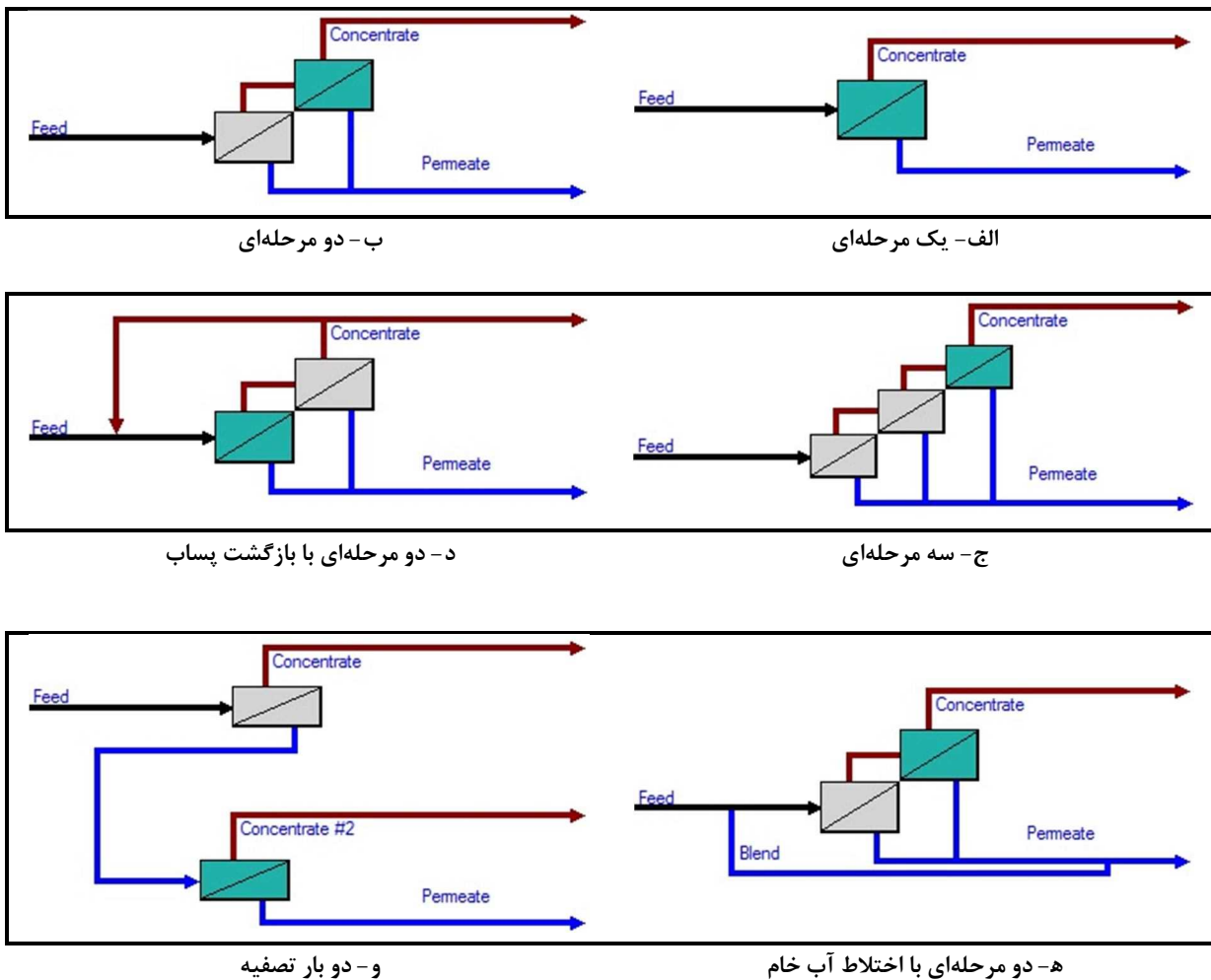
با این وجود برخی استیل‌ها در محل منافذ و درزها دچار خوردگی می‌شوند؛ لذا عمل به توصیه‌های زیر کارساز خواهد بود: برای آب‌های با TDS کم‌تر از ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مسیر آب تغلیظ شده به‌ویژه در محل‌های جوش باید حداقل از استیل 316L استفاده شود. در محل‌هایی غیر از محل‌های جوش می‌توان از استیل ۳۱۶ استفاده کرد.

برای آب‌های با TDS بیش‌تر از ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مسیر آب تغلیظ شده به‌ویژه برای لوله‌ها و خم‌ها و جاهایی که درز وجود ندارد باید از آلیاژ 904L استفاده شود. اما در محل‌های درزدار مانند فلنج‌ها، شیرها و پمپ‌ها باید از آلیاژ SMO254 یا آلیاژ مشابهی با حداقل مولیبدن ۶ درصد استفاده شود. این دو آلیاژ را می‌توان 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].

۳-۳-۱-۱-۶- آرایه سامانه‌های غشایی

در جهت افزایش ظرفیت تولید، نرخ بازیافت آب و یا دستیابی به خلوص بالاتر آب تولیدی، آرایه‌های مختلفی از سامانه‌های غشایی طرح و اجرا می‌شود. شکل (۳-۱۰) انواع آرایه‌های متداول سامانه‌های غشایی را نشان می‌دهد.





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.

۳-۱-۱-۳-۳- شستشوی غشا

پیش تصفیه سامانه‌های غشایی به منظور جلوگیری از بروز انواع رسوب گذاری 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 می‌شود. البته باید ابتدا مطمئن شد که این افت یا افزایش‌ها ناشی از کاهش دما یا تغییر شرایط عملیاتی واحد نباشد.

روش شستشوی شیمیایی بر اساس نوع گرفتگی انتخاب می‌شود و انتخاب درست این روش در عملکرد و عمر غشاها تاثیر به‌سزایی دارد. برای تشخیص درست عامل گرفتگی معمولاً مواردی مانند داده‌های ثبت عملکرد واحد، تجزیه آب تغذیه، داده‌های ثبت نتایج شستشوی شیمیایی قبلی، آثار گرفتگی روی فیلتر آزمون ^{SDI}، آثار روی کارتریج فیلترها و سطح داخلی خط آب تغذیه بررسی می‌شود.

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

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

۳-۱-۲-۳- سامانه‌های الکترودیالیز معکوس شونده

۳-۱-۲-۱-۳-۳- غشاها

غشاهای الکترودیالیز از نظر جنس، مشابه رزین‌های تعویض یونی بوده و دارای انواع کاتیونی و آنیونی هستند. غشاها با ضخامت کم و به‌طور معمول با ابعاد ۲۵×۲۳، ۵۰×۴۶ یا ۱۰۰×۴۶ سانتی‌متر ساخته می‌شوند.

در برخی از قسمت‌های داخل سامانه الکترودیالیز که اختلاف فشار وجود دارد، مانند قسمت‌هایی شامل الکتروود، به منظور شستشوی آن و پاک کردن رسوبات و لجن ایجاد شده، آب با فشار بیش‌تری جریان دارد، لذا از غشاهای با دو برابر ضخامت غشاهای معمولی استفاده می‌شود. این نوع غشاها به غشاهای سنگین معروف هستند.

ضخامت غشاها بستگی به فناوری تولید آن‌ها دارد و معمولاً در محدوده ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌متر هستند [۷۸].

۳-۱-۲-۱-۳-۳- محفظه غشای الکترودیالیز

محفظه، در برگیرنده الکتروودها و غشاها بوده و ساختمان آن‌ها بر اساس طراحی می‌تواند 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 الکتروود فلزی نیاز است که به جریان الکتریسیته DC متصل می‌شوند. الکترودها از تیتانیوم یا نیوبیوم با پوششی از پالادیمیا 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 الکتروود 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 316^L مانند آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شوند.
- تیوب‌شیت‌ها و صفحه‌های نگه‌دارنده در سامانه نمک‌زدایی MED نیز معمولاً از استیل 316^L ساخته می‌شوند.



- بدنه داخلی محفظه‌های تبخیر ناگهانی در سامانه نمک‌زدایی MSF با فولاد ضد زنگ و مقاوم در مقابل سایش پوشش داده شود تا آشفستگی جریان دوفازی عبورکننده از اوریفیس‌های محفظه‌های تبخیر ناگهانی ایجاد خوردگی نکند.
- جنس پروانه و پوسته پمپ‌های پساب و محصول باید از آلیاژ آلومینیوم-برنز و جنس شفت آن‌ها استیل ۳۱۶ باشد. همچنین جنس پروانه و پوسته پمپ آب کندانس باید از چدن و جنس شفت آن از استیل ۳۱۶ یا آلیاژهای مقاوم‌تر باشد.
- بدنه تبخیرکننده، تیوب‌شیت‌ها و نگه‌دارنده‌ها در MVC باید از جنس استیل ۳۱۶^L باشد. جنس لوله‌ها در این سامانه اغلب از Cu-Ni 90/10 است.

۳-۴- ملاحظات زیست‌محیطی سامانه‌های نمک‌زدایی

ملاحظات زیست‌محیطی نقش مهمی را در مراحل مختلف طراحی و اجرای پروژه‌های تصفیه آب بازی می‌کند. از زمانی که محل اجرای پروژه انتخاب و کار طراحی شروع می‌شود، کنترل موارد زیست‌محیطی نیز باید به‌طور 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 نمک‌زدایی، باید مجوزهای زیست‌محیطی مربوطه اخذ شود. فرایند گرفتن مجوزها بخش مهمی از کل فرایند اجرای پروژه است. در طی این فرایند، طراحان می‌توانند داده‌ها و تحلیل‌هایی که برای طراحی و نظارت خوب لازم است را جمع‌آوری نمایند. توجه به ملزومات زیست‌محیطی و مسایل بقا و لحاظ کردن آن‌ها در زمان طراحی یک واحد جدید یا توسعه و نوسازی یک واحد موجود بسیار ضروری است [۷۹]. جدول (۳-۲) مراحل بررسی مسایل زیست‌محیطی را در یک پروژه نشان می‌دهد.

جدول ۳-۲- مسایل زیست‌محیطی در اجرای پروژه [۸۰]

مسايل زيست‌محيطي مربوطه	فازهای اجرای پروژه	
معیارها و ملاحظات بازديد محل برای حفاظت از منابع مختلف امکان‌سنجی و بررسی محل دفع براساس معیارهای محیط‌زیست	انتخاب محل واحد	برنامه‌ریزی
ارزیابی واکنش‌های اولیه افراد مستقر در محل	محل دفع پساب	
بررسی قوانین و ملاحظات زیست‌محیطی منطقه	بازتاب عمومی	
توسعه معیارهای طراحی	طراحی فنی	طراحی
ارزیابی واکنش‌ها و توسعه اقدامات کاهنده	مجوزها و تاییدیه‌ها	
تعیین مجوزها و استانداردهای عملیاتی در اسناد مزایده یا مناقصه	اسناد مزایده یا مناقصه	پیشنهاد مزایده یا مناقصه
بازبینی و گزارش مسایل زیست‌محیطی	تجهیزات ساخت	ساخت‌مان‌سازی
بازبینی و گزارش مسایل زیست‌محیطی تداوم برآورده کردن ملزومات مجوزها	تجهیزات عملیات	شروع عملیات و اجرای فرایند

۳-۴-۱- تاثیرات 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- تاثیرات زیست‌محیطی حین عملکرد فرایندهای نمک‌زدایی

عملکرد فرایندهای نمک‌زدایی، از جنبه‌های مختلفی با محیط زیست در تعامل است و آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این تاثیرات 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 تاثیر قرار داده و

همچنین به‌عنوان یک مانع مصنوعی در برابر ماهی‌ها و سایر موجودات عمل کند و در دریا در مسیر کشتی‌ها و سایر تجهیزات دریایی اختلال ایجاد نماید [۴۸].

۳-۴-۲-۲- مصرف انرژی

فناوری‌های نمک‌زدایی عموماً از انرژی حرارتی یا الکتریسیته برای جداسازی نمک از آب استفاده می‌کنند. تاثیرات زیست‌محیطی استفاده از انرژی به منبع مورد استفاده برای انرژی بستگی دارد. جدول (۳-۳) میزان مصرف انرژی را در بعضی فناوری‌های نمک‌زدایی متداول نشان می‌دهد.

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	۱۰/۵۲ تا ۶/۱۵
MED	۳۸۰ تا ۲۰۰	۲/۳	۴۰۴ تا ۲۲۴	۵/۶ تا ۱۰/۱
SWRO بدون بازیافت انرژی	۰	۶/۵ تا ۳	۶۷ تا ۳۱	۱/۶۷۵ تا ۰/۷۷۵
SWRO با بازیافت انرژی	۰	**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 آلاینده‌ها در هوا در فرایند اسمز معکوس (با مصرف انرژی الکتریکی، علی‌رغم محاسبه انتشار آلاینده‌ها در نیروگاه تولید برق) کمتر از فناوری‌های 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 آلاینده‌های منتشر شده در هوا بین سامانه اسمز معکوس و روش‌های حرارتی باید به‌صورت موردی بررسی شود [۷۱].

۳-۴-۲-۳- جریان پساب

پسماندهای سامانه‌های نمک‌زدایی در هر سه حالت جامد، مایع، و گاز وجود دارد. هر سامانه باید به‌طور اختصاصی مورد بررسی قرار گیرد تا انواع ضایعات آن مشخص شود، سپس روش‌های مناسب برای تصفیه یا دفع آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. دفع پساب و ضایعات دیگر سامانه‌های نمک‌زدایی تاثیر چشم‌گیری بر محیط زیست دارد. ترکیب درصد جریان پساب با توجه به نوع سامانه نمک‌زدایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر می‌کند. بنابراین تاثیرات زیست‌محیطی آن‌ها هم با هم متفاوت است. با توجه به ظرفیت منابع آب خام، به‌ویژه دریاها و اقیانوس‌ها، در پذیرش پساب سامانه‌های نمک‌زدایی و عدم تراکم و تعداد کم‌تر این سامانه‌ها تا دو دهه قبل، می‌توان گفت که در دوره مورد نظر این سامانه‌ها تاثیرات مخرب زیادی بر محیط زیست نداشته‌اند. ولی امروزه با توسعه سریع صنعت نمک‌زدایی، اتخاذ روش‌های قابل قبول تخلیه پسماند از عوامل مهم محسوب می‌شود.

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، ضدسوبها، 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، ضدسوبها، 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 (با 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 آب‌های زیرزمینی در سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی که مقدار اکسیژن حل شده کمی دارند، مهم است. میزان اکسیژن حل شده در پساب تغلیظ شده این سامانه‌ها باید قبل از تخلیه بررسی شود تا از اثرات سوء آن بر محیط زیست مانند تاثیر بر رشد نامتعارف باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها جلوگیری به عمل آید. پساب ناشی از شستشوی سامانه‌های نمک‌زدایی معمولاً حاوی اسید، فلزات سنگین، مواد شیمیایی پاک‌کننده و آلودگی‌های حذف شده توسط سامانه است. مقدار این پساب نسبت به پساب سامانه‌ها کم‌تر است و همراه سایر پساب‌ها دفع یا تصفیه می‌شود [۸۱].

قبل از مخلوط‌سازی پساب‌ها با هم، ممکن است لازم باشد خاصیت اسیدی یا بازی محلول خنثی گردد تا از واکنش‌های ناخواسته جلوگیری شود و این اطمینان حاصل شود که مخلوط ضایعات با قوانین و مقررات زیست‌محیطی برای تخلیه پساب سازگار است.

جدول (۳-۴) مشخصات پساب ناشی از فرایندهای SWRO و حرارتی و تاثیرات زیست‌محیطی آن را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴- فرایند اسمز معکوس آب دریا جریان پساب در فرایندهای مختلف نمک‌زدایی و تاثیرات زیست‌محیطی آن‌ها [۷۱]

مشخصات پساب	SWRO	فرایند حرارتی	تاثیر زیست‌محیطی
غلظت نمک	۵ تا ۷ درصد	۵ درصد	افزایش غلظت نمک باعث افزایش دانسیته می‌شود. این ویژگی با دما اثر متقابل دارد. بنابراین، پساب خروجی اسمز معکوس تمایل بیش‌تری 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 می‌شود
اکسیژن	به علت استفاده از بی‌سولفیت سدیم کاهش می‌یابد.	بی‌سولفیت سدیم کاهش می‌یابد.	به علت کاهش میزان اکسیژن در آب میزان موجودات دریایی کاهش می‌یابد.
کلر	مشکل محسوب نمی‌شود زیرا کلر قبل از رسیدن به غشا حذف شده است.	۰/۲ تا ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر محدوده خطرناک غلظت: ۶ تا ۸ میلی‌گرم بر لیتر	محصولات جانبی کلر بر ارگانسیم‌ها اثر منفی دارند.
مواد آلی هالوژنه	می‌توانند 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 شده‌اند. شواهد محکمی برای تاثیر منفی آن‌ها بر محیط زیست ارائه نشده است اما باید در مورد آن‌ها با دقت عمل کرد.
منعقدکننده‌ها (Al ³⁺ , Fe ³⁺)	در پیش تصفیه استفاده می‌شوند.	در واحدهای بسیار بزرگ استفاده می‌شوند.	کدورت‌زدایی آب، دفن ارگانسیم‌ها در اعماق دریا
لخته‌سازها	در پیش تصفیه استفاده می‌شوند.	استفاده نمی‌شود	در حال حاضر تاثیری از این مواد شناسایی نشده است.
مواد ضد رسوب	۱ تا ۲ میلی‌گرم بر لیتر در آب ورودی	۱ تا ۲ میلی‌گرم بر لیتر در آب ورودی	خطر انباشتگی پلی‌سولفات‌ها، که لخته‌هایی تشکیل می‌دهند.
pH	۶ تا ۷	۶ تا ۷	
ضد کف	استفاده نمی‌شود	۲ میلی‌گرم در لیتر در آب ورودی	به علت تخریب‌پذیری بسیار کند برای مدت‌های طولانی در محیط زیست باقی می‌ماند، ولی تاکنون اثر ضد زیست‌محیطی از آن شناخته نشده است.
مواد شیمیایی شوینده	شوینده‌ها، چیلنت‌ها، مواد اکسیدکننده و ضد زیست‌ها	مواد ضد خوردگی و اسید	رهاسازی لجن‌ها می‌تواند مشکل‌زا 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



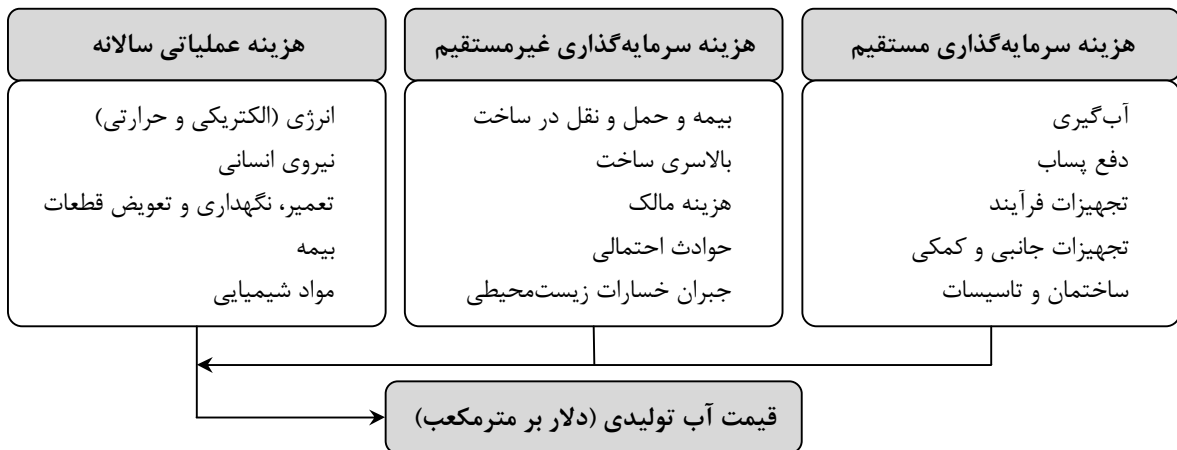
فرایندهای نمک‌زدایی دارد. غلظت پساب‌هایی که مقدار نمک بالایی دارند می‌تواند با مخلوط شدن با دیگر جریان‌هایی که درصد نمک کم‌تری دارند کاهش یابد.

جدول ۳-۵- مشخصات پساب فرایندهای نمک‌زدایی 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
مخلوط‌سازی پساب‌ها	امکان‌پذیر است ولی متداول نیست	متداول نیست ولی در آینده متداول می‌شود	با جریان خروجی از کندانسور در فصل‌های گرم
ضریب تغلیظ نهایی	۶/۷ تا ۲/۵	۱/۴ تا ۱/۸	کم‌تر از ۱/۵

۳-۵- مقایسه اقتصادی سامانه‌های نمک‌زدایی

معمولا هزینه‌ها به دو دسته هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل دو بخش مستقیم و غیرمستقیم و هزینه‌های عملیاتی سالانه تقسیم می‌شود. هر یک از این هزینه‌ها شامل پارامترهایی است که نیاز به محاسبه و برآوردی نسبی دارد. پس از محاسبه و برآورد پارامترهای مذکور در نهایت می‌توان قیمت آب تولید شده را محاسبه کرد. شکل (۳-۱۱) روش بررسی هزینه‌های فرآیند نمک‌زدایی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱- روش بررسی هزینه‌های فناوری‌های نمک‌زدایی [۸۲]

تحلیل اقتصادی فناوری‌های نمک‌زدایی با مشخص کردن منبع آب خام و مشخصات آن، ظرفیت واحد، مشخصات محلی و سایر ملاک‌های اقتصادی آغاز می‌شود.

ملاک‌های اقتصادی، پارامترهای کلیدی را که در محاسبه هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی اثر دارند مشخص می‌کنند. استفاده از فرم‌های استاندارد در آماده‌سازی اطلاعات اقتصادی به مقایسه طرح‌های موجود و اطمینان از این که همه جوانب در نظر گرفته شده‌اند، کمک می‌کند.



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.



۲-۱-۵-۳- هزینه سرمایه‌گذاری غیرمستقیم

- هزینه‌های غیرمستقیم به صورت درصدی از هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم محاسبه می‌شوند 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 هزینه‌ها 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 می‌کند، حساب می‌شود.
 - بالاسری ساخت: برای سامانه‌های غشایی حدود ۱۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری مستقیم است.
 - هزینه مالک: شامل هزینه‌های مدیریتی، مهندسی، قانونی، راه‌اندازی و مانند آن بسته به روش مالک متغیر است. معمولاً مقدار آن ۱۰ درصد هزینه سرمایه‌گذاری است، اما این مقدار بسته به نوع پروژه و ظرفیت متفاوت است.
 - حوادث احتمالی: در مراحل اولیه برنامه‌ریزی پروژه، موارد ناشناخته‌ای وجود دارد. حتی برای موارد مشخص هم همچنان که پروژه پیش‌تر پیش می‌رود هزینه‌های پیش‌بینی نشده‌ای به وجود می‌آیند. بنابراین لازم است، در بودجه‌بندی هزینه کلی پروژه، هزینه‌های احتمالی نیز در نظر گرفته شوند، که این هزینه‌ها در شروع پروژه زیاد هستند. همان‌طور که برنامه و طراحی پیش می‌رود، این هزینه‌ها ممکن است کاهش یابند. در مراحل اولیه برنامه‌ریزی، این هزینه معادل ۲۵ درصد هزینه ساخت و یا بیش‌تر تخمین زده می‌شوند. بعد از نهایی شدن طرح، هزینه‌های احتمالی حدود ۱۰ درصد می‌شوند [۸۲ و ۸۵].
- این هزینه‌ها با هزینه سرمایه‌گذاری مستقیم جهت به‌دست آوردن تخمینی از هزینه سرمایه‌گذاری کل جمع می‌شوند.

۳-۱-۵-۳- هزینه سرمایه‌گذاری استهلاک‌ناپذیر

- به هزینه‌هایی مانند زمین که از مقدار یا ارزش آن‌ها کاسته نمی‌شود سرمایه‌گذاری استهلاک‌ناپذیر گفته می‌شود.
- به موجودی مورد نیاز برای پرداخت‌های روزانه، سرمایه کاری گفته می‌شود 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 سرمایه‌گذاری کلی از جمع هزینه سرمایه‌گذاری مستقیم، هزینه سرمایه‌گذاری غیرمستقیم و هزینه سرمایه‌گذاری استهلاک‌ناپذیر به دست می‌آید.

۲-۵-۳- هزینه سالانه

- هزینه‌های سالانه مشتمل بر هزینه‌های عملیاتی و نگهداری را می‌توان به دو دسته هزینه‌های ثابت و هزینه‌های 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].

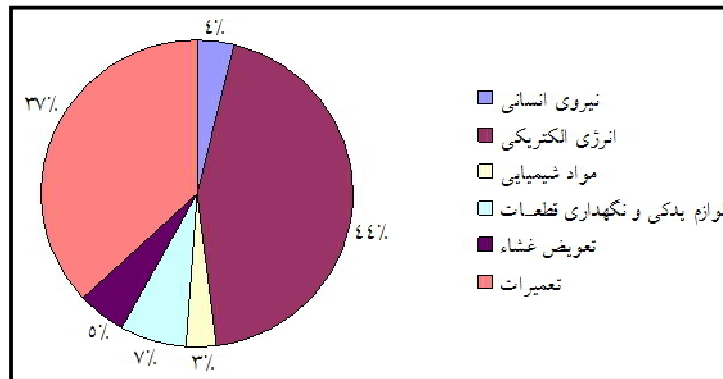
۳-۵-۲-۵- هزینه تعویض غشاها

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

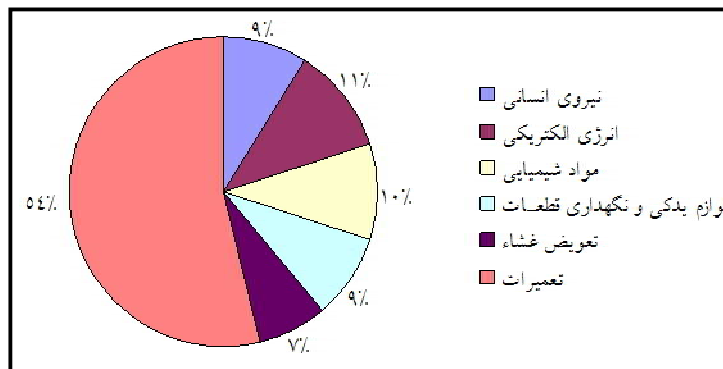


در مجموع می توان سهم هر یک از موارد فوق از کل هزینه های عملیاتی را در شکل های (۳-۱۲) و (۳-۱۳) مشاهده

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

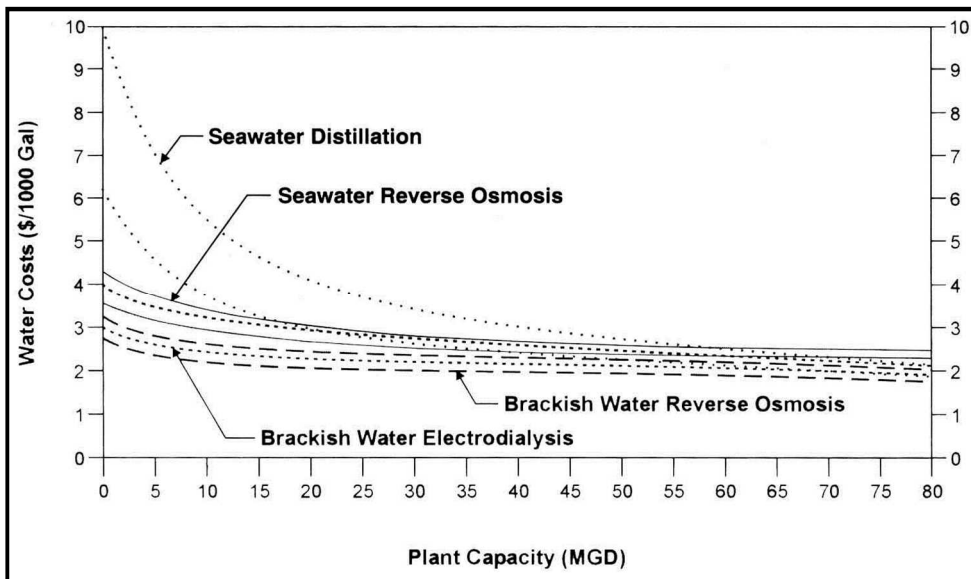
هزینه بیمه ۵٪ درصد هزینه سرمایه گذاری در نظر گرفته می شود.

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 نمک‌زدایی 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 نمک‌زدایی از آب دریا.
- هیبرید MSF/MED-RO: در این روش آب تغلیظ شده خروجی واحد RO به عنوان خوراک واحد حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش آب کم‌تری از دریا برداشت می‌شود. با افزایش درصد بازیافت کلی، هزینه‌ها کاهش می‌یابد.

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

۳-۶-۲- روش‌های نوین نمک‌زدایی

۳-۶-۲-۱- اسمز مستقیم یا پیش‌رونده (FO)

اسمز پدیده طبیعی است که در آن حلال از ناحیه‌ای با فشار اسمزی پایین‌تر با عبور از یک غشای تراوای گزینش‌پذیر به ناحیه‌ای با فشار اسمزی بالاتر حرکت می‌کند. در نمک‌زدایی آب دریا به روش اسمز مستقیم از محلولی با فشار اسمزی بیش از آب دریا به عنوان محلول کشنده استفاده می‌شود که به طور مصنوعی و از انحلال یک نمک با قابلیت جداسازی آسان با آب به دست می‌آید. مصرف انرژی در این فرآیند عموماً مربوط به جداسازی ماده کشنده از محصول و بازچرخانی آن می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به کاهش چشم‌گیر 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 می‌آید. 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 رطوبت‌زنی / رطوبت‌زدایی^۱

اساس فرآیند رطوبت‌زنی، هوایی است که می‌تواند با حجم قابل توجهی از رطوبت مخلوط شود. میزان رطوبتی که می‌تواند با هوا مخلوط شود با افزایش دما افزایش می‌یابد. در حقیقت ۱ کیلوگرم هوای خشک می‌تواند ۵/۰ کیلوگرم رطوبت را در صورت افزایش دما از ۳۰ به ۸۰ درجه سانتی‌گراد 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 می‌شود. در طرف دیگر در اثر مجاور کردن

1- Humidification- Dehumidification



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 فرآیند 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 فرآیند جداسازی با غشا است که در فاز گاز انجام می‌شود. در مورد محلول‌های حاوی مواد غیر فرار 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 کرووی شکل مدول و نوع میدان مغناطیسی از بین می‌رود [۱۰۰].

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

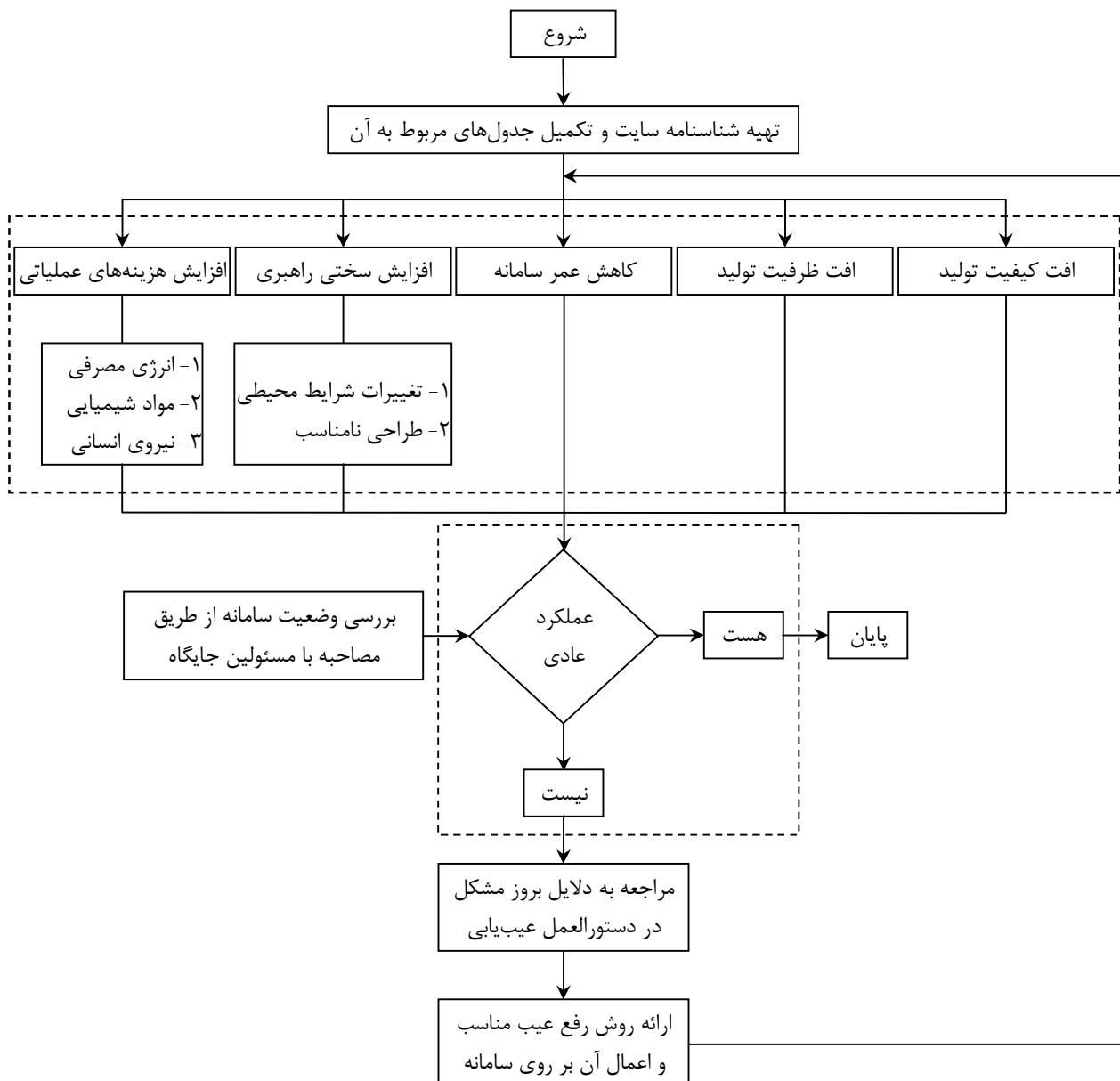
به‌طور کلی سه روش برای تعمیر و نگهداری سامانه‌های نمک‌زدایی وجود دارد که عبارتند از:

- **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 نمایش‌گرهای موضعی 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 اجتناب‌ناپذیر 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 نگه‌داشتن 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. در حالی که 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 میکروارگانسیم‌ها، 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- لوله‌ها، اتصالات و مخازن

با وجود توان سامانه‌های نمک‌زدایی در حذف میکروارگانسیم‌ها و گندزدایی در ابتدای مسیر ورود آب به آن‌ها، مشکلات متعدد و گوناگونی در قسمت‌های بعد از کلرزدایی این سامانه‌ها اتفاق می‌افتد. بدین منظور باید به‌گونه‌ای طراحی انجام گیرد که این مشکلات بروز نکند یا به حداقل برسد.

اولین اقدام این است که نباید بین نقطه کلرزدایی تا واحد نمک‌زدایی فاصله زیادی باشد. خطوط لوله در این فاصله باید کوتاه‌ترین مسیر و البته کم‌ترین انحنای 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 به‌عنوان ماده گندزدا نیز دیده شده است. علاوه بر این، باید حتماً برای تمام مخازن سرریز، شیر تخلیه و امکان شستشو در نظر گرفته شود. در نظر گرفتن شیرهای تخلیه، کلیه تجهیزات و خطوط را شامل می‌شود.

در این بین باید طراحی به‌گونه‌ای صورت گیرد که تا حد امکان وابستگی بخش‌های مختلف به هم کم‌تر 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 می‌توان به ۴ بخش راه‌اندازی، راهبری، آموزش و پایش پرداخت که تضمینی برای سلامت سامانه‌های نمک‌زدایی خواهند بود [۲ و ۱۰۱ و ۱۰۲].

۳-۷-۲-۱- راه‌اندازی

اگرچه راه‌اندازی این سامانه‌ها بر اساس دستورالعمل‌های دقیق به‌راحتی امکان‌پذیر است ولی برخی سهل‌انگاری‌ها در این مسیر به‌وفور دیده می‌شود. یکی از این موارد که باید در سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی توجه ویژه‌ای به آن شود، اطمینان از باز بودن مسیر آب محصول هنگام ورود آب خام به واحد است. بی‌توجهی به این مهم علاوه بر آسیب رساندن به غشاها، ترکیدگی خطوط لوله و حتی خراب شدن پمپ‌ها را هم به دنبال دارد.

نکته قابل توجه دیگر، هواگیری کامل دستگاه به‌عنوان گام‌های اولیه راه‌اندازی است. کوتاهی از این کار علاوه بر ایجاد مشکلاتی برای پمپ‌ها احتمال بروز ضربه قوچ را بالا می‌برد.

۳-۷-۲-۲- راهبری

اپراتورها باید دما، فشار، دبی‌ها، بازیافت، افت فشار و سایر پارامترها را در محدوده‌های تعیین‌شده و مجاز نگاه‌دارند و با تنظیم شرایط عملیاتی و بررسی‌های دقیق از عدم امکان رسوب نمک‌ها، 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	پایین
عادی		فشار ورودی
		فشار عملیاتی
		شدت جریان آب ورودی

ادامه جدول ۳-۶- موارد بازرسی دوره‌ای

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

۳-۷-۳-۲- توقف‌ها

توقف در واحدهای حرارتی مشکل‌چندانی ایجاد نمی‌کند ولی در واحدهای غشایی به معنی ایجاد شرایط مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها و رسوب‌گذاری است. به همین دلیل باید از ماده ضد زیست^۱ مناسب برای حفاظت از غشاها در توقف طولانی‌تر از ۲۴ ساعت استفاده شود. گندزدایی مناسب بخش پیش‌تصفیه در توقف‌های طولانی‌تر از چند ساعت نیز ضروری است. همچنین باید قبل از برگرداندن فیلترها به سرویس آن‌ها 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.

۳-۷-۳-۳- نگهداری

حساسیت سامانه‌های حرارتی نسبت به سامانه‌های غشایی کم‌تر است و بیش‌تر در مورد حفظ و نگهداری از آن در برابر خوردگی است؛ در سامانه‌های غشایی، در طول عمر دستگاه، چه در هنگام کار و چه در زمان‌های توقف، باید همیشه غشاها را خیس نگه‌داشت. در غیر این صورت غشاها خراب می‌شوند.

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 نگه‌داشتن مخازن و حوضچه آب خام و حتی بستن دریچه آدم‌رو مخازن به‌ویژه 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 نمک‌زدایی مناسب

بررسی و مقایسه معیارهای موثر در انتخاب فناوری نمک‌زدایی مناسب بر پایه پارامترهای متعددی صورت می‌پذیرد. مهم‌ترین معیارهای مقایسه‌ای 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		
۱-۱-۵- آب‌گیر	۱-۵- هزینه سرمایه‌گذاری	۵- هزینه‌ها
۲-۱-۵- پیش تصفیه		
۳-۱-۵- واحد نمک‌زدایی		
۱-۲-۵- انرژی	۲-۵- هزینه تعمیر و نگهداری	
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- تاثیرات 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 در بردارنده 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 فرآیندهای 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 فرآیند ندارد، ولی غلظت بالای کلر آزاد موجب خوردگی می شود.
نوسان بالای کیفیت آب تغذیه	بهراحتی 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 فرآیندهای 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 فرآیندهای 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 میلی‌گرم 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 میلی‌گرم 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- جمع‌بندی

- همان‌طور که ذکر شد، سه پارامتر کیفیت آب تغذیه، ظرفیت تولید و کیفیت آب تولیدی، پارامترهای تاثیرگذار در مرحله اول از فرایند تصمیم‌گیری هستند و می‌توانند محدوده فناوری‌ها و پارامترهای مرتبط با آن‌ها را محدود سازند. به عنوان مثال، استفاده از سامانه‌های نمک‌زدایی آب لب‌شور برای آب دریا ممکن نیست لذا بررسی سامانه نانوفیلتر یا الکترودیالیز معکوس‌شونده به عنوان سامانه نمک‌زدایی آب دریا منتفی خواهد بود و از چرخه فناوری‌های مورد بررسی حذف می‌گردد. مثال دیگر خارج شدن سامانه‌های حرارتی MED و MSF در ظرفیت‌های کوچک از گردونه رقابت است. جدول‌های (۳-۸) و (۳-۱۰) تا (۳-۱۳) به گزینش فناوری‌های متناسب با این سه پارامتر کمک می‌کند. در نهایت این سه پارامتر برخی از فناوری‌ها را حذف می‌کنند تا تصمیم‌گیری از بین سایر فناوری‌های باقی‌مانده صورت پذیرد.
- بررسی سایر پارامترها با توجه به شرایط منطقه‌ای، نیازها و محدودیت‌های کارفرما و مواردی از این دست بستگی دارد. در فرآیند تصمیم‌گیری صنعتی، معمولاً پارامتر اقتصادی بودن، سهم قابل توجهی را دارد و سایر پارامترها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. این مساله منجر به بی‌توجهی به سایر پارامترها و گاه بروز مشکلات اساسی می‌شود. برای مقایسه پارامترهای تاثیرگذار در انتخاب، بدون حذف غیرمنطقی یا فراموش کردن و در نظر نگرفتن آن‌ها نیاز به استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد.
- در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ابتدا خود پارامترها نسبت به هم وزن‌دهی می‌شوند تا اهمیت هر یک نسبت به سایر پارامترها مشخص گردد. به عنوان مثال در این مرحله سهم هزینه‌ها از کل مشخص می‌گردد و به وضوح دیده می‌شود 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 می‌گردد. این وزن‌دهی و امتیازبندی باید توسط متخصصین صورت پذیرد تا سلیقه‌ای و یا ناشی از ناآگاهی و ناآشنایی با فناوری‌ها یا شرایط محیطی و پروژه نباشد. نتیجه این اقدامات دستیابی به یک فناوری به عنوان فناوری بهینه نمک‌زدایی متناسب با تمام شرایط و پیش‌فرض‌های حاکم بر منطقه و پروژه است. قاعدتاً روش مورد استفاده در تصمیم‌گیری نیز شرایطی را در حل مساله حاکم می‌سازد که باید مورد توجه قرار گیرد.
- در این روش هیچ یک از پارامترها به طور ناخواسته یا تحت تاثیر سایر پارامترها از قلم نمی‌افتد و نتیجه آن منحصر به یک فرآیند، مستدل و قابل اثبات خواهد بود. جدول‌های (۳-۹) و (۳-۱۴) تا (۳-۱۷) به امتیازدهی پارامترها کمک می‌کند.



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، حتما 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 متاثر 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 در حالی که برای آب لب‌شور بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است.



میزان ذرات جامد معلق و BOD در پساب به‌دلیل حذف در سیستم‌های پیش‌تصفیه، معمولاً پایین‌تر از ۵ میلی‌گرم بر لیتر است. با این حال اگر پساب ناشی از پیش‌تصفیه نیز به پساب نهایی اضافه و تخلیه گردد، میزان این پارامترها و کدورت افزایش پیدا می‌کند [۳۷].

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

۴-۲- مدیریت پساب‌ها

مدیریت پساب به دو بخش عمده دفع و بازیافت تقسیم می‌شود. یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده برای ساخت سامانه‌های نمک‌زدایی، وجود مکان با شرایط مناسب برای تخلیه یا بازیافت پساب حاصل از این تجهیزات در آن است.

۴-۲-۱- دفع پساب

روش‌های متداول دفع پساب بدون تصفیه ثانویه را می‌توان در چند روش زیر خلاصه کرد [۳۷]:

- تخلیه به آب‌های سطحی
- تخلیه به فاضلاب بهداشتی
- تخلیه به چاه‌های جذبی
- تخلیه به حوضچه‌های تبخیری
- استفاده برای آبیاری
- دفن در زمین

۴-۲-۱-۱- تخلیه به آب‌های سطحی و آزاد

در صورتی که مقررات حفاظت از محیط‌زیست و مدیریت جامع منابع آب اجازه دهد، یکی از متداول‌ترین روش‌های دفع پساب سامانه‌های نمک‌زدایی، تخلیه به آب‌های سطحی اعم از آب‌های فصلی یا دائمی، دریاچه‌های طبیعی یا مصنوعی، تالاب‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها، رودخانه‌ها و مانند آن است. دفع به آب‌های سطحی می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم صورت گیرد. کیفیت پساب دفعی، آب سطحی که پساب به آن دفع می‌شود و مهم‌تر از آن‌ها محدودیت‌های زیست‌محیطی و برآوردهای اقتصادی، نوع و محل دفع را تعیین می‌کنند.

عواملی چون حجم، غلظت و کیفیت پساب، در دسترس بودن آب‌های سطحی و تحمل تغییرات دبی و غلظت در آن، خصوصیات فیزیکی و زمین‌شناسی محل تخلیه نسبت به محل تولید پساب، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی، محدودیت‌های زیست‌محیطی و مقبولیت عمومی در تخلیه پساب به آب‌های 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 رقیق‌سازی (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 رقیق‌سازی 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 مدل‌سازی‌های هیدرولیکی تعیین می‌شود. مدل انتخابی برای تعیین مرزهای تخلیه پساب سامانه نمک‌زدایی باید از جریان پخش پساب تحت شرایط مختلف بهره‌برداری و ترکیب‌های متفاوت دیفیوژرها 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 به‌علت 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 آب‌گیر تصفیه‌خانه
- تعیین آستانه تحمل ارگانسیم‌های 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 می‌کند یا نه [۳۷]
- در تخلیه غیرمستقیم، از فرایندهای پیشرفته و یا ساده تصفیه همچون تانک‌های ته‌نشینی، کربن فعال یا فیلترهای مختلف استفاده می‌شود تا کیفیت آب برای دفع به آب‌های سطحی بهبود یابد و به حد مجاز تعریف شده برسد. همچنین می‌توان از همین پساب برای شستشوی معکوس و تمیز کردن تجهیزات پیش تصفیه استفاده نمود. البته در این حالت نیز بر میزان ناخالصی‌های نهایی افزوده می‌شود ولی از تولید پساب مضاعف پیش‌گیری می‌گردد [۱۰۷].
- در تخلیه پساب به اقیانوس معمولاً از یکی از روش‌های زیر استفاده می‌کنند:
 - تخلیه مستقیم به دریا از طریق خروجی جدید
 - تخلیه از خروجی یک تصفیه‌خانه 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 می‌دهد، با این حال این منطقه ظرفیت محدودی برای انتقال پساب تخلیه شده به دریای باز دارد. اگر مقدار شوری پساب تخلیه شده بیش‌تر 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 می‌شود.
- برای سامانه‌های نمک‌زدایی کوچک (به‌طور مثال ظرفیت نمک‌زدایی با ۴۰۰ مترمکعب بر روز یا کم‌تر)، خروجی پساب معمولاً به صورت لوله‌هایی که بیش‌تر از ۱۰۰ متر در ناحیه جزر و مدی دریا پیشرفته است، ساخته می‌شود. این تخلیه‌ها بر ظرفیت تلاطم منطقه که موجب اختلاط و پخش سریع پساب و در نتیجه تبدیل شوری پساب به شرایط محیط می‌شود، استوار است.

برای خروجی پساب سامانه‌های نمک‌زدایی با ظرفیت بالا معمولاً لوله‌هایی تعبیه می‌شود که بسیار فراتر از منطقه جزر و مدی در دریا پیش رفته و معمولاً انتهای آن‌ها با دیفیوزرهایی تجهیز می‌گردد. این کار به منظور ایجاد اختلاط لازم برای جلوگیری از انباشته شدن مواد موجود در پساب در مجاورت محل تخلیه صورت می‌گیرد. 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. به طوری که 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 ارگانوسم‌های 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. ارگانوسم‌های 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؛ به طوری که 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 آب‌گیر برای سامانه نمک‌زدایی و خروجی آن پرهیز شده بنابراین هزینه کل نمک‌زدایی کاهش می‌یابد.
- شوری پساب حاصل از نمک‌زداها به خاطر اختلاط و رقیق شدن با آب خروجی از نیروگاه کاهش می‌یابد.
- دمای آب خروجی از نیروگاه به علت ترکیب با پساب حاصل از تاسیسات نمک‌زداها کاهش می‌یابد که این تا حدود زیادی از اثرات نامطلوب آلودگی حرارتی این پساب‌ها بر دریا می‌کاهد.
- ترکیب پساب خروجی از سامانه نمک‌زدایی با آب خروجی از نیروگاه باعث پخش سریع‌تر و بهتر شوری و دمای آب ترکیبی می‌شود [۳۷].

۴-۲-۱-۲- تخلیه پساب به فاضلاب بهداشتی

تخلیه به سامانه جمع‌آوری فاضلاب مجاور، در صورتی که پساب مورد نظر قابلیت استفاده‌ی مجدد را نداشته باشد، یکی از روش‌های متداول در تخلیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی از آب‌های لب‌شور است. با این حال این روش دفع پساب فقط برای سامانه‌های نمک‌زدایی با ظرفیت بسیار پایین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با ظرفیت بالا به کار می‌رود؛ زیرا این پساب‌ها با TDS بالا بر روی عملکرد تصفیه‌خانه تاثیر منفی می‌گذارند.

۴-۲-۱-۳- تخلیه به چاه‌های جذبی

این روش دفع شامل تزریق پساب حاصل از نمک‌زدایی به درون یک چاه عمیق در زیر لایه آب‌های زیرزمینی است. در این روش چاه‌های عمیق برای دفع پساب شامل یک مجموعه چاه مشاهده‌ای می‌باشند که برای اطمینان از عدم نشت پساب‌ها به سفره‌های آبی مجاور حفر می‌شوند.

چاه‌های عمیق جذبی برای پساب معمولاً برای تمام ظرفیت‌های نمک‌زداهای آب لب‌شور استفاده می‌شود در حالیکه چاه‌های تخلیه ساحلی فقط برای سامانه‌های نمک‌زدایی آب دریا با ظرفیت متوسط استفاده می‌شود.

استفاده از روش تزریق به اعماق زمین به موقعیت زیست‌محیطی منطقه، میزان ناخالصی پساب و امکانات موجود بستگی دارد. البته محلی که تزریق انجام می‌شود باید دارای ساختار مناسب زمین‌شناسی از لحاظ تخلخل و قابلیت پذیرش پساب و نیز ظرفیت مناسب تزریق تا مدت زمان مورد انتظار باشد. همچنین بین محل تزریق و سفره‌های زیرزمینی آب یک لایه ناتراوا وجود داشته باشد تا این پساب‌ها به‌سادگی به آب‌های زیرزمینی نفوذ نکرده و موجب آلودگی آن نشود.

این روش برای مناطقی که دارای فعالیت زمین‌لرزه بالا هستند و یا در کنار گسل‌های زمین‌شناسی که امکان دارد از لحاظ هیدرولیکی باعث ارتباط پساب با سفره آب زیرزمینی شود، مناسب نیست. همچنین باید توجه ویژه‌ای به شکاف‌های لایه‌های زیرزمینی شود. با افزایش حجم تزریق، سطح ایستایی آب در محل تزریق بیش‌تر می‌شود و ممکن است راهی برای رسیدن به سفره آب‌های 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 میلی‌گرم 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- آبیاری مستقیم

این روش نیز یکی از روش‌های قابل استفاده در شرایط اضطرار است. در این روش از پساب سامانه نمک‌زدایی آب لب‌شور برای آبیاری محصولاتی استفاده می‌شود که نسبت به شوری تحمل بالایی دارند. این روش محدودیت‌های زیادی مانند عدم نیاز دائمی گیاهان به آبیاری، محدودیت گونه‌های گیاهی شورزی و احتمال اثرات منفی بر خاک و آب‌های زیرزمینی داشته و فقط برای نمک‌زداها با ظرفیت پایین کاربرد دارد. استفاده از این روش به‌ویژه اگر پساب حاوی آرسنیک، نیترات و یا فلزات سنگین باشد، احتیاج به توجه ویژه دارد [۱۱۱].

۴-۲-۱-۵-۲- آبیاری بارانی

پساب سامانه‌های نمک‌زدایی آب لب‌شور را می‌توان برای آبیاری بارانی فضای سبز استفاده نمود. برای این کار کفایت 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 لایه‌های زیرزمینی جلوگیری می‌شود و ناخالصی‌های موجود در پساب جذب لایه‌های سطحی خاک شده و راهی برای نفوذ به آب‌های زیرزمینی یا ورود به آب‌های سطحی و آزاد پیدا نمی‌کنند. مخاطرات زیست‌محیطی برای میزان ناخالصی و آلودگی آب مورد استفاده برای آبیاری بارانی کم‌تر از محدودیت‌های زیست‌محیطی اعمال شده برای ورود آن به آب‌های سطحی و آزاد است. استفاده از این روش به شرایط زیست‌محیطی منطقه و امکانات موجود بستگی دارد [۱۰۷].

۴-۲-۱-۶- دفن در زمین

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای دفع دوغاب‌ها 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 نمی‌شود. در اکثر موارد به دوغابی اجازه دفن داده می‌شود که حداقل ۵۰ درصد وزنی آن را جامدات تشکیل داده باشند. همچنین برای دفن معمولاً باید مکان‌های خاص دفن طراحی شوند که هزینه‌های دفن را افزایش می‌دهد. دفن باید در محلی انجام گیرد که احتمال انتشار ناخالصی‌ها تحت تاثیر باران و آب‌های سطحی قرار نگیرد و به آب‌های زیرزمینی نفوذ نکند.

از دفن برای پساب‌های غلیظ نهایی سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی و غشایی استفاده می‌شود که معمولاً گزینه قابل رقابت در مقابل کریستال‌سازی است. البته اکثر اوقات پسماند نهایی کریستال‌سازی نیز از روش دفن در زمین دفع می‌شود [۱۰۵ و ۱۰۸].

۴-۲-۲- تصفیه پساب

روش‌های تصفیه پساب را می‌توان به ۴ دسته عمده روش‌های شیمیایی، نمک‌زدایی مجدد، روش‌های بدون پساب و روش‌های نوین تقسیم کرد.



۴-۲-۲-۱- روش‌های شیمیایی

۴-۲-۲-۱-۱- لخته‌سازی و فیلتراسیون

بازیافت 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 ضدروسوب‌ها 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 ضدروسوب 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 ضدروسوب‌ها، 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 ضدروسوب‌ها و ضدزیست‌ها از بین رفت، جریان تحت عملیات رسوب‌دهی قرار می‌گیرد. در این مرحله به کمک افزودن عوامل رسوب‌گذاری مانند آهنک 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].



۴-۲-۱-۳- فنتون

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].

۴-۲-۲-۲- نمک‌زدایی مجدد

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 نور خورشید، 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

1- Natural Treatment Systems (NTSs)



- نکه 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 نکه 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

۴-۲-۲-۲-۲-۲ 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 مقدراری 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 pH های 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 می‌شود. کارکرد در pH های بالا این مزیت را دارد که احتمال رسوب سیلیکا بر سطح غشا را به حداقل ممکن می‌رساند. برای از بین بردن سختی آب از روش متداول سختی‌گیری آهک سودا و تبادل یونی کاتیونی اسید ضعیف استفاده می‌شود. فناوری HERO نسل جدیدی از سامانه‌های اسمز معکوس محسوب می‌شود که هزینه‌های مربوط به غشا و گرفتگی را تا حد بسیار بالایی کاهش می‌دهد ولی هزینه عملیاتی و مواد مصرفی شیمیایی بالاتری دارد [۱۰۵ و ۱۰۸].

- - - - 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 می‌شود تا غلظت بالایی از ناخالصی‌ها را فراهم نماید. در این روش افزودن ترکیباتی همچون انیدروس کلسیم دی‌سولفات به منظور تولید دانه‌های کریستال و جذب ترکیبات مستعد گرفتگی، ضروری است. در سامانه چرخشی پساب خروجی از اسمز معکوس، جداساز سیکلونی هم تعبیه شده تا دانه‌های تشکیل شده بزرگ را از سامانه جدا نماید. این فناوری اولین بار در سال ۲۰۰۶ در مقیاس نیمه‌صنعتی به کار گرفته شده است ولی هنوز برای استفاده در مقیاس بزرگ صنعتی دغدغه‌هایی دارد [۹۵].

۴-۲-۲-۵- بسترهای تبادل یونی

تبادل یون، یک واکنش برگشت پذیر است که در آن یون‌های یک محلول با یون‌های دارای بار الکتریکی مشابه موجود روی رزین تعویض می‌شوند. مهم‌ترین ترکیباتی که در پساب سامانه‌های نمک‌زدایی موجود است، همین یون‌های با حلالیت بالا در آب هستند. وقتی که رزین یون‌های قابل تبادل خود را از دست داد، نیاز به احیا دارد. یون‌های دو و سه ظرفیتی بیش از یون یک ظرفیتی توسط رزین جذب می‌شوند. ضریب‌گزینش یون‌های 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 فسفات‌ها باشد توصیه شده است [۱۱۳].

۴-۲-۲-۶- الکترودیالیز

یکی از راه‌های نمک‌زدایی مجدد پساب‌ها الکترودیالیز است. مبنای تصفیه فرایند در الکترودیالیز جداسازی 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].

۴-۲-۳-۲-۴ 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].

۴-۲-۳-۲-۴-۱- 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

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

سامانه BCRS بر پایه رطوبت‌زنی و رطوبت‌زدایی کار می‌کند. منبع تامین حرارت در این فرایند می‌تواند خورشید باشد. تنها انرژی مصرفی این سامانه، انرژی الکتریکی مورد نیاز برای جریان هوا بر سر حوضچه است. این طرح در مقیاس نیمه‌صنعتی استفاده شده و نتایج نویدبخش بوده است؛ اما هنوز برای صنعتی شدن نیاز به کار و طراحی‌های بیش‌تری دارد. از این طرح برای هر میزان غلظتی از ناخالصی پساب سامانه‌های نمک‌زدایی می‌توان 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 می‌کند [۱۱۹].

۴-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲ کریستال‌سازها

کریستال‌سازها برای استخراج نمک‌های با حلالیت بالا از آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش پساب سامانه نمک‌زدایی در ستون‌های عمودی جریان می‌یابد و آب آن به صورت بخار جدا می‌شود. کیفیت آب تولیدی از این روش بسیار بالاست. معمولاً باقی‌مانده نهایی در کریستال‌سازها، فیلم نمکی است که تنها ۱۵ درصد آب دارد. این روش بیش‌تر 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 می‌رود.

این روش از روش‌های پرهزینه محسوب می‌شود؛ به‌ویژه هزینه مصرف انرژی در آن چند برابر هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و تجهیزات مورد نیاز است [۳۷].

۴-۲-۲-۲-۲-۲-۲-۲ فرایند SAL-PROC

فرایند SAL-PROC متشکل از چند فرایند متوالی تبخیر و تقطیر فیزیکی و شیمیایی است که برای پساب‌های سامانه‌های نمک‌زدایی و دوغاب‌های مختلف می‌تواند 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 می‌شود و هم ناخالصی‌های موجود در پساب که غالباً نمک‌های معدنی ارزشمند هستند به صورت دوغاب غلیظ به دست می‌آیند. طراحی می‌تواند به نحوی باشد که محصول تولیدی به شکل بلور باشد. هرچند گاهی این فرایند جزء روش‌های ZLD نام برده می‌شود ولی در واقع با توجه به تعریف‌ها می‌توان آن را جزء روش‌های نمک‌زدایی بدون پسماند برشمرد [۹۵].



۴-۲-۲-۳-۵- 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].

۴-۲-۲-۳-۶- 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 «روش‌های نوین نمک‌زدایی» آمده است. این روش از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و انرژی عملیاتی کم‌تری نسبت به تبخیرکننده‌ها نیاز دارد ولی هنوز هم برای استفاده در مقیاس‌های صنعتی بزرگ دغدغه‌هایی وجود دارد [۹۸ و ۱۱۸].

۴-۲-۲-۸- کریستال‌سازی با انجماد

زمانی که آب به همراه ناخالصی باشد و در دمای پایین قرار گیرد، یخ‌های ابتدایی تشکیل شده آب خالص هستند که به سطح آب می‌آیند و آب باقی‌مانده حاوی غلظت بیش‌تری از ناخالصی می‌شود. بدین ترتیب می‌توان آب خالص و دوغاب غلیظ تهیه نمود. از این روش در صنایع مختلف از جمله استخراج فلزات سنگین، صنایع داروسازی، شیمیایی و غذایی استفاده می‌شود. استفاده از این روش در صنایع بزرگ برای تصفیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی عملی نیست ولی در مقیاس‌های کوچک‌تر در مناطق سردسیر کاربرد دارد [۱۲۱].

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

مبدل حرارتی با بستر سیال‌سان توسط Watervap LLC طراحی شده است. در این روش تبخیر به کمک مبدل حرارتی انجام می‌گیرد و طراحی مبدل به نحوی است که رسوب نمک روی آن ایجاد نشده و سطح مبدل پاک می‌ماند. بدین ترتیب کارایی مبدل برای تبخیر آب‌های با ناخالصی بالا مهیا می‌شود. می‌توان این نوع مبدل‌ها را در تبخیرکننده‌های بازگشتی تلفیق کرد و تبخیرکننده‌ای با بازدهی بالا برای پساب‌های سامانه‌های نمک‌زدایی تهیه نمود [۱۱۸].

۴-۲-۲-۴- روش‌های نوین

۴-۲-۲-۱- اسمز مستقیم یا پیش‌رونده

توضیحات این فرایند در بخش روش‌های نوین نمک‌زدایی (بند ۳-۶-۲-۱) آمده است. این فرایند هنوز به لحاظ اقتصادی کاربرد صنعتی برای تصفیه پساب سامانه‌های نمک‌زدایی پیدا نکرده است.

۴-۲-۲-۲- انعقادسازی الکتریکی

در این روش از میدان الکتریکی برای به هم پیوستن یون‌ها استفاده می‌شود. نظر به این که یک میدان الکتریکی ضعیف توانایی به هم پیوستن یون‌ها را دارد، نسبت به انعقادسازی شیمیایی، هم سرعت بالاتری دارد و هم هزینه کم‌تری نیاز دارد. از این روش برای پیش‌تصفیه سامانه‌های غشایی همچون اسمز معکوس استفاده شده است ولی برای تصفیه پساب سامانه‌های

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



– روش‌های متداول دفع پساب بدون تصفیه ثانویه را می‌توان در دو روش زیر خلاصه کرد [۳۷]:

- تخلیه به آب‌های سطحی
- تخلیه به فاضلاب بهداشتی



فصل ۵

کنترل کیفیت آب شرب تولیدی با

سامانه‌های نمک‌زدایی



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 آب‌های ساحلی به‌عنوان آب اختلاط، امکان افزایش آلودگی با هیدروکربن‌های نفتی و به تبع آن پایین آمدن کیفیت فیزیکی و گاه شیمیایی را موجب می‌شود. استانداردهای آب آشامیدنی در جدول‌های (پ.۲-۱) تا (پ.۲-۶) پیوست شماره ۲ آمده است.

۵-۲- تنظیم کیفیت آب خروجی

۵-۲-۱- کدورت‌زدایی

حذف کدورت پس از تولید آب، تنها در فرآیند EDR مورد نیاز است و سایر فرایندهای نمک‌زدایی آبی کاملاً شفاف تولید می‌کنند. زمانی که کنترل کدورت آب تولیدی فرآیند EDR طی فرآیند پیش‌تصفیه اقتصادی نباشد، حذف ذرات معلق به‌عنوان یک فرآیند تصفیه تکمیلی مدنظر قرار می‌گیرد.

۵-۲-۲- گندزدایی

آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی باید بلافاصله مورد گندزدایی قرار گیرد. این گندزدایی در فرایندهای حرارتی به‌دلیل بالا بودن دما در حین تولید کم‌تر مورد نیاز است. در فرآیند EDR به دلیل حضور مواد مغذی و حذف کلر باقی‌مانده در طول فرآیند، میزان باکتری‌ها در آب تولیدی بیش‌تر از آب ورودی خواهد بود. در صورت استفاده از آب اختلاط برای تنظیم کیفیت، زمان ماند بعد از کلرزی باید حداقل به مدت ۳۰ دقیقه باشد. کلرزی آب اختلاط روشی ایده‌آل برای کلرزی آب تولیدی نهایی نیز هست. در برخی از سامانه‌ها، آب دریا برای تولید هیپوکلریت مورد استفاده در گندزدایی هیدرولیز می‌شود و سپس با میزان حدود ۱ درصد با آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی مخلوط می‌شود. این روش به‌دلیل تولید مقادیر زیادی برم و ارگانوهالوژن‌ها یا محصولات جانبی هالوژنه فرآیند گندزدایی حتی در مقادیر کم (۱ درصد) اختلاط، می‌تواند از حد مجاز استانداردهای آب شرب برای برم (بیشینه 10^0 ppb) فراتر رود. کلرزی آب مقطر باید بلافاصله قبل از ورود آب به شبکه توزیع صورت گیرد.

۵-۲-۳- گاززدایی

هوادهی به‌منظور افزایش pH و حذف گازهای نامطلوب بدون افزودن مواد شیمیایی انجام می‌شود. آب تولیدی فرآیند اسمز معکوس ممکن است حاوی گاز دی‌اکسید کربن و یا سولفید هیدروژن (H_2S) باشد. آب تولیدی فرآیند EDR نیز ممکن است حاوی گاز دی‌اکسید کربن باشد. سولفید هیدروژن باید در پیش‌تصفیه فرایندهای EDR و نمک‌زدایی حرارتی حذف گردد و لذا در آب تولیدی آن‌ها نمی‌تواند 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 ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر باشد تا در ترکیب هوادهی و کلرزی، 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 بی‌کربنات 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 می‌کند کمک خواهد کرد.

همچنین کمبود کلسیم و کربنات قلیایی از آن جایی که لایه محافظ کربنات کلسیم نمی‌تواند بر روی دیواره لوله‌ها در شبکه توزیع تشکیل شود سبب افزایش خوردگی می‌شود. فلزات سنگینی که به‌دلیل خوردگی دیواره‌ها وارد آب تولیدی می‌شوند 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 انسان‌ها مضر خواهند بود.

روش‌های متعددی در فرآیند تصفیه‌ی تکمیلی برای افزودن سختی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش‌ها شامل افزودن آهک، تماس از طریق عبور دادن آب از فیلترهای آهکی (مانند کلسیت یا دولومیت) و یا اختلاط است. آهک آب‌دیده (هیدروکسید کلسیم) به‌منظور تامین کلسیم و قلیائیت و همچنین تنظیم pH به آب خالص افزوده می‌شود. زمانی که آهک به آب خالص اضافه می‌شود باید میزان حلالیت کربنات کلسیم که به pH، دما و قدرت یونی وابسته است در نظر گرفته شود. به‌طور کلی میزان حلالیت کربنات کلسیم در آب بسیار کم بوده و آهک به‌سادگی در آب حل نخواهد شد؛ در نتیجه ممکن است سبب بروز کدورت در آب گردد. وجود کدورت در مراحل تصفیه‌ی تکمیلی نامطلوب است. تعداد کمی راهکار برای افزایش حلالیت آهک آب‌دیده در آبی که دمای بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد دارد، موجود است.

فیلترهای آهکی که به‌طور گسترده در اروپا و خاورمیانه به کار برده شده‌اند، اغلب باعث افزودن اسیدکربنیک شده و متعاقباً سبب تنظیم pH، قلیائیت و CCPP به‌منظور تامین سختی مورد نیاز و ایجاد شرایط پایدار در آب تولیدی می‌شود. تکه سنگ‌های آهکی (مانند سنگ‌های کلسیت و دولومیت) به‌طور گسترده در این روش استفاده می‌شوند. تکه سنگ‌های کلسیت تنها سختی کلسیمی را فراهم می‌کنند، در حالی که دولومیت، کلسیم و منیزیم را به آب اضافه می‌کند. یکی دیگر از روش‌های تنظیم سختی، مخلوط کردن آب تولیدی با آب خوراک است. این کار به‌طور معمول برای آب‌های لب‌شور و واحدهای نمک‌زدایی حرارتی انجام می‌شود 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 سامانه‌های نمک‌زدایی معمولاً با استفاده از یکی از روش‌های تصفیه‌ی تکمیلی زیر انجام می‌شود:

- 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 بی‌کربنات



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

افزایش سختی (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر CaCO_3)	کاهش CO_2 (میلی‌گرم بر لیتر)	افزایش قلیائیت (بر حسب میلی‌گرم بر لیتر CaCO_3)	ماده شیمیایی (تزریق ۱ میلی‌گرم در لیتر)
تأثیری ندارد	۱/۰۸	۱/۲۳	سود سوزآور (۹۸ درصد)
تأثیری ندارد	تأثیری ندارد	۰/۰۶	بی‌کربنات سدیم (۱۰۰ درصد)
تأثیری ندارد	۰/۴۱	۰/۹۴	بی‌کربنات سدیم یا نمک قلیا (۹۹ درصد)
۱/۶۱	۰/۴۱	۱/۶۱	آهک زنده (۹۰ درصد)
۱/۲۶	۱/۱۱	۱/۲۶	آهک هیدراته
۰/۹	تأثیری ندارد	تأثیری ندارد	کلرید کلسیم

این اطلاعات نشان می‌دهد که همه مواد شیمیایی قادر به افزایش توامان 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. انسان‌ها به‌طور روزانه مقدار متوسطی از بور را جذب و دفع می‌کنند. مطابق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (بازنگری سال ۱۹۹۸) میزان مجاز بور در آب آشامیدنی حداکثر ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر است.

در اغلب سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی آب دریا، به‌دلیل 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 میلی‌گرم بر لیتر بور داشته باشد، نیاز به تصفیه‌ی تکمیلی بور خواهد بود. کارایی غشاها برای دفع بور در دماهای پایین‌تر افزایش می‌یابد و محاسبات باید در حداکثر دمای آب ورودی انجام گیرد.

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

اخیراً با توسعه دانش نمک‌زدایی، غشاهایی به بازار ارائه شده است که توانایی دفع بیش‌تر بور را دارند.

۵-۲-۶- حذف برومید

بیش‌تر ترکیبات شیمیایی به‌طور قابل توجهی به‌وسیله سامانه‌های نمک‌زدایی حذف می‌شوند؛ اگرچه مقداری از کلرید سدیم و برومید در آب تولیدی سامانه‌های اسمز معکوس و سامانه‌های تقطیری قدیمی باقی می‌مانند. با توجه به اهمیت سلامت آب شرب، از مهم‌ترین مواد شیمیایی بور است؛ چرا که در فرآیند اسمز معکوس نسبت به سایر ترکیبات شیمیایی کم‌ترین جداسازی را دارد.

مقدار برومید در آب دریا تا حدی قابل توجه است (۷۰ تا ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر) که حتی با جداسازی بیش‌تر از ۹۵ درصد نیز بخشی از آن (۱ میلی‌گرم بر لیتر یا بیش‌تر) در آب تولیدی باقی خواهد ماند. برومید غیرآلی در آب‌های سطحی در حد میلی‌گرم وجود دارد. در صورت وجود برومید باقی‌مانده کافی در آب و استفاده از روش ازن‌زنی برای گندزدایی، برومات تشکیل می‌شود که مقدار آن از استاندارد سازمان بهداشت جهانی یعنی ۱۰ میکروگرم بر لیتر بیش‌تر خواهد بود. این مشکل در تولید آب‌های بسته‌بندی از منابع آب حاوی برومید زیاد، به‌وفور دیده شده است. تولید کلر به روش الکترولیز آب دریا نیز مقدار زیادی برومات تولید می‌کند.

طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی و فائو با فرض ۱ میلی‌گرم برومید به‌ازای هر کیلوگرم از بدن انسان و با در نظر گرفتن یک جوان ۶۰ کیلوگرمی که در روز ۲ لیتر آب می‌نوشد؛ مقدار مجاز برای برومید ۶ میلی‌گرم بر لیتر اعلام شده است.

در هر حال، برومید غیرآلی موجود در آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی تهدیدی برای سلامت افراد نیست ولی بهتر آن است که مقادیر بیش از حد آن حذف شوند.



۵-۲-۷- تنظیم فلورئور

فلورئور 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 فلورئوردار است، آب چاه ممکن است تا میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و یا بیش‌تر حاوی فلوراید باشد.

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

افزودن فلورئور 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 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 نیتراته 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.



در سامانه‌های نمک‌زدایی، واکنش‌های شیمیایی سبب تجزیه لوله‌های فلزی که در تماس مستقیم با آب هستند، می‌شود. این واکنش‌ها 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 ویژگی‌های آب، مانند کل نمک محلول، نقش مهم‌تری در فرآیند خوردگی دارند، به همین دلیل در این مبحث فقط به آن‌ها پرداخته شده است.

جدول ۵-۲- پارامترهای تاثیرگذار بر خوردگی در آب نمک‌زدایی شده

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

۵-۲-۹-۱- شاخص‌های خوردگی

پایداری و پتانسیل خوردگی آب به وسیله شاخص‌هایی که نشان‌دهنده امکان تشکیل رسوب یا بروز خوردگی است تعیین می‌شوند. شاخص‌های خوردگی ناشی از کربنات و سولفات کلسیم (پایداری) همان شاخص‌های رسوب‌گذاری، مانند LSI و $CCPP$ هستند که در بند (۱-۳-۶) از فصل (۱) همین گزارش مورد بررسی قرار گرفتند.

۵-۲-۹-۲- روش‌های کنترل خوردگی

رایج‌ترین روش کنترل خوردگی شامل قرار دادن مانع فیزیکی بین آب و سطح لوله‌های فلزی به منظور محافظت لوله از ویژگی‌های 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 لوله‌ها به منظور کنترل خوردگی ناشی از آب آشامیدنی تولیدی از سامانه‌های نمک‌زدایی استفاده می‌شود. نکته مهم این است که میزان ته‌نشینی 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.

۵-۲-۹-۳- تاثیر تصفیه تکمیلی بر خوردگی

۵-۲-۹-۳-۱- 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.



۵-۲-۹-۲-۲- کلرید آمونیوم

گندزدایی آب دریا با کلرین باعث می‌شود که کلر باقی مانده کافی برای جلوگیری از رشد پاتوژن‌ها و میکروب‌ها در شبکه توزیع باشد. به کار بردن ترکیبی از کلرین و آمونیاک در شرایطی که غلظت برمید بالاتر از ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر است سبب سرعت گرفتن تجزیه کلر باقی مانده در آب تولیدی می‌شود. تاثیر ناپایدارکننده برمید در فرآیند افزودن کلرید آمونیوم می‌تواند با استفاده از کلرزی مجدد جبران شود.

انتقال طولانی آب نمک‌زدایی شده سبب ایجاد مشکلاتی از قبیل خوردگی و کلردار شدن به‌ویژه در نواحی گرمسیری می‌شود. از دست دادن مواد گندزدای باقی مانده یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های چنین سامانه‌هایی است. این مشکل با استفاده از کلرزی با مقادیر بالا یا تزریق مجدد کلرین در طول خطوط لوله (زمانی که مقدار کلر باقی مانده موجود کم‌تر از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر باشد) حل می‌شود. راهکار دیگر استفاده از کلرید آمونیوم است که به دلیل نرخ تجزیه پایین می‌تواند 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 لوله‌های 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 سامانه‌های موجود احتمالاً لوله‌ها با آب ورودی به شرایط تعادل رسیده‌اند. این شرایط می‌تواند با ورود آب نمک‌زدایی شده با ویژگی‌های متفاوت وارد مرحله جدیدی گردد. میزان باکتری‌های موجود در آب تولیدی و در شبکه توزیع سنجش و پایش می‌گردد.

۵-۲-۹-۴- تاثیر یون‌ها و نمک‌های محلول بر خوردگی

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

۵-۲-۹-۴-۱- آلومینیوم

یون آلومینیوم بر رسوب‌گذاری در شبکه توزیع و رنگ‌دهی آهن به آب تاثیر می‌گذارد. به‌طور کلی از نمک‌های آلومینیوم در فرآیند لخته‌سازی استفاده می‌شود. اخیراً با آگاهی از تاثیر این یون بر مغز، استفاده از آن در تصفیه آب شرب به‌طور غیررسمی ممنوع یا کنترل شده است. به همین دلیل و با توجه به تاثیرهای قابل توجه نمک‌های آلومینیوم بر لخته‌سازی در تصفیه آب، کنترل مقدار خروجی این نمک‌ها از فرآیند تصفیه باید مد نظر قرار گیرد.



۵-۲-۹-۴-۲- آمونیاک

حدود ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر آمونیاک در pH قلیایی، تولید بو و حدود ۳۵ میلی‌گرم 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 میلی‌گرم 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 به‌دلیل 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 میلی‌گرم 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 میلی‌گرم بر لیتر، به‌ویژه با گرم کردن آب، رسوب‌گذاری را به همراه خواهد داشت. همچنین آب با سختی کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ظرفیت بافتری 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 میلی‌گرم بر لیتر است. در آب شرب نیز می‌توان مقادیر کمی آهن را به‌دلیل 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 ۰/۰۵ تا ۰/۱ گرم بر لیتر تخمین زده می‌شود. گوگرد در حضور اکسیژن و آب‌های کلردار به سرعت به سولفید تبدیل می‌شود. به‌طور معمول مقدار سولفید هیدروژن در آب بسیار کم است. در شبکه‌های توزیع که مقادیر اکسیژن محلول آن بسیار کم است بوی تخم مرغ فاسد شده به‌راحتی 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 لوله‌ها در شبکه توزیع می‌شود.

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 سامانه‌های نمک‌زدایی شامل لوله‌ها، اتصالات، آب‌بندی و پوشش داخلی دیواره لوله‌ها باعث نشت موادی به داخل آب می‌شوند. فرایندهایی که باعث پدیده نشت می‌شوند شامل خوردگی، حل شدن دیواره لوله، نفوذ و جدا شدن ذرات دیواره است. مشکلات بو و طعم آب در بسیاری از موارد می‌تواند ناشی از پدیده نشت باشد. به این دلیل که اغلب موادی که درون آب نشت کرده و ایجاد طعم و بوی بد می‌کنند 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. مهم‌ترین آن‌ها نشت سرب از لوله‌های سربی است. پایش سرب در آب شهر و جایگزینی خطوط لوله سربی از توصیه‌های مهم استانداردهای شبکه توزیع است.

از دیگر موادی که پتانسیل نشت در شبکه توزیع را دارد می‌توان لوله‌های PVC را نام برد که قبل از سال ۱۹۷۷ ساخته شده‌اند. همچنین لوله‌های ساخته شده از سیمان به‌صورت بسیار نادر ترکیبات آلومینیوم را به آب وارد کرده که باعث مرگ بیماران دیالیزی می‌شود. 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 نگه‌داشتن کیفیت آب تولیدی است. با پایش پارامترهای فیزیکی - شیمیایی و بیولوژیکی آب می‌توان از تغییرات ایجاد شده در طول شبکه توزیع اطلاع حاصل کرد و در صورت وجود علائم



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) 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 به‌عنوان 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 نقطه‌ی انتهایی خطوط توزیع باید توان اندازه‌گیری کدورت تا مقادیر بسیار پایین (کم‌تر از ۱ NTU) را داشته باشد. گندزدایی 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 به‌طور متناوب در آزمایشگاه‌های کنترل کیفی در واحدهای تصفیه آب انجام شوند:

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

لازم به ذکر است، در صورتی که واحدهای پیش‌تصفیه 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 آزمون‌های مورد نظر بر روی آب خام و تصفیه شده در جدول (۳-۵) آمده است.

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

عنوان	آب تولیدی
دبی	لحظه‌ای
درجه حرارت	لحظه‌ای
pH	سالانه
هدایت الکتریکی	سالانه
آمونیاک	ماهانه
نیترات	ماهانه
COD	فصلی
TOC	فصلی
محصولات جانبی حاصل از گندزدایی	فصلی
آزمون بیولوژیکی	هفتگی
آزمون باکتری‌شناسی	روزانه
آنالیز کامل فیزیک-شیمیایی	ماهانه

۵-۴- جمع‌بندی

۵-۴-۱- تثبیت کیفیت آب برای حداقل کردن احتمال افت کیفی در طول مسیر، قبل از توزیع آب تولیدی به‌عنوان مثال، استفاده مناسب از بازدارنده‌های فسفات، کنترل pH و قلیائیت می‌تواند خوردگی ناشی از لوله‌های سربی، مسی و آهنی که باعث به وجود آمدن آب رنگی می‌شود، را به حداقل برساند. به علاوه، اطمینان از وضعیت میکروبیولوژی آب با حذف تمامی کربن‌های آلی، تاثیر مثبتی بر کیفیت آب عبوری در لوله‌ها از محل تولید تا مصرف کننده خواهد داشت.

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

در عین حال که شاید وجود هتروتروف‌ها در آب خطری برای بهداشت عمومی محسوب نشود ولی رشدشان در آب سبب ایجاد بوی و طعم بد می‌گردد. در نتیجه میزان نیاز به گندزداها افزایش یافته و در نهایت احتمال خوردگی افزایش می‌یابد. بیوفیلیم‌ها همچنین محل مناسبی برای رشد پاتوژن‌ها هستند و این مورد در هنگام طراحی و ساخت شبکه لوله‌کشی به‌ویژه در جاهایی که زمان ماند زیاد است حایز اهمیت بوده زیرا زمان طولانی سبب تجزیه گندزداها و بی‌اثر



E.Coli شدن آن‌ها می‌شود و متعاقبا احتمال رشد باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم افزایش می‌یابد. به علاوه، کلیفرم‌ها به جز 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.۲-۱- کلیات

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

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

استاندارد												واحد اندازه‌گیری	پارامتر
EC ^۶		FPTC ^۵		NHMRC ^۴		ISIRI ^۳		USEPA ^۲		WHO ^۱			
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
---	---	---	---	---	---	---	۳ ^(د)	۳	---	---	---	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

ه- باید برای مصرف‌کننده قابل قبول باشد.

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

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 _۳
---	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 [۱۳۱ تا ۱۳۷]

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 [۱۳۱ تا ۱۳۷]

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	آنتیمون
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 اندازه‌گیری 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 مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)		
---	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۳	---	۰/۰۰۴	---	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	---	تتراکلرایدکربن	آلکان‌های کلرینه شده ^۱
---	۰/۰۵	---	۰/۰۰۴	---	۰/۰۲	---	۰/۰۰۵	۰/۰۲	---	دی کلرومتان	
۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۳	---	۰/۰۳	---	۰/۰۰۵	۰/۰۳	---	۱ و ۲- دی کلرواتان	
---	---	---	۰/۰۰۶	---	۰/۰۵	---	---	۰/۰۵	---	۱ و ۲- دی کلرواتان	اتن‌های کلرینه شده ^۲
۰/۰۰۱*	---	---	---	---	۰/۰۲	---	---	۰/۰۲	---	تری کلرواتان	
---	---	---	۰/۰۵	---	۰/۰۴	---	---	۰/۰۴	---	تتراکلرواتان	
۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۱	---	۰/۰۱	---	۰/۰۰۵	۰/۰۱	---	بنزن	هیدروکربن‌های آروماتیک ^۳
---	---	۰/۰۲۴	۰/۸	۰/۰۲۵	۰/۷	۰/۰۲۴	۱	۰/۷	۰/۰۲۴	تولوئن	
---	---	۰/۳	۰/۶	۰/۰۲	۰/۵	۰/۰۲	۱۰	۰/۵	۰/۰۲	زایلین‌ها	
---	---	۰/۰۰۲۴	۰/۳	۰/۰۰۳	۰/۳	۰/۰۰۲	۰/۷	۰/۳	۰/۰۰۲	اتیلبنزن	
---	---	---	۰/۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۰۴	۰/۱	۰/۰۲	---	استیرن	
۰/۰۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۰۱	---	۰/۰۰۰۰۷	---	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۷	---	شاخص بنزوال‌آپیرن	
---	۰/۰۸	۰/۰۳	---	---	---	۰/۰۱	---	۰/۳	۰/۰۱	مونوکلروبنزن	بنزن‌های کلرینه شده ^۴
---	۰/۲	۰/۰۰۳	۱/۵	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۶	۱	۰/۰۰۱	۱ و ۲- دی کلروبنزن	
---	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰۳	۰/۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۷۵	۰/۳	۰/۰۰۰۳	۱ و ۴- دی کلروبنزن	
---	---	---	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۵*	---	۰/۰۱	---	۰/۰۰۲*	---	۱ و ۲- تری کلروبنزن	
---	---	---			---	۰/۰۰۵	۰/۰۷		۱ و ۲- تری کلروبنزن		
---	---	---			---	۰/۰۵	---		۱ و ۳ و ۵- تری کلروبنزن		
---	---	---	۰/۰۱	---	۰/۰۰۸	---	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	---	دی (۲- اتیل هگزیل) فتالات	
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۲	---	۰/۰۰۰۵	---	---	۰/۰۰۰۰۵	---	اکریل آمید	سایر
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۵	---	۰/۰۰۰۴	---	---	۰/۰۰۰۴	---	اپی کلروهیدرین	
---	---	---	۰/۰۰۰۷	---	۰/۰۰۰۶	---	---	۰/۰۰۰۶	---	هگزاکلروپوتادین	
---	---	---	۰/۲۵	---	۰/۶	---	---	۰/۶	---	اتیلن دی آمین تترااستیک اسید	
---	۰/۴	---	۰/۲	---	۰/۲	---	---	۰/۲	---	نیتروپلوتری استیک اسید	
---	۰/۰۲	---	---	۰/۰۵	۰/۰۰۶	---	---	۰/۰۰۶	---	دی متوات	
---	---	---	---	---	۰/۰۵	---	---	۰/۰۵	---	۱ و ۴- دیوکسان	
---	---	۰/۰۱۵	---	---	---	۰/۰۱۵	---	---	۰/۰۱۵	متیلترشربوتیلاتر	
---	۰/۰۰۱۵	---	۰/۰۰۱۳	---	۰/۰۰۱	---	---	۰/۰۰۱	---	میکروکیستین	
۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲	---	۰/۰۰۰۳	---	۰/۰۰۰۳	---	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۳	---	وینیل کلراید	

* کل تری کلروبنزن

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 ویژگی‌های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان ملی استاندارد ایران (۱۰۱۱) [۴]

نوع آب	نوع باکتری	حد مجاز در ۱۰۰ میلی لیتر
کلیه آب‌های آشامیدنی	اشربیشیاکلی یا کلی‌فرم‌های گرم‌پای ^۱	منفی
آب آشامیدنی برای استفاده در سیستم توزیع	اشربیشیاکلی یا کلی‌فرم‌های گرم‌پای	منفی
آب تصفیه شده موجود در سیستم توزیع	اشربیشیاکلی یا کلی‌فرم‌های گرم‌پای	منفی

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

نوع آب	نوع باکتری	حد مجاز در ۱۰۰ میلی لیتر
کلیه آب‌های آشامیدنی	اشربیشیاکلی	صفر
	انتروکوک ^۲	صفر
	سودوموناس آرجینوزا ^۳	صفر
	کلی‌فرم مدفوعی	صفر

استانداردهای ارائه شده از طرف آژانس بین‌المللی حفاظت از محیط زیست مشابه سازمان بهداشت جهانی و سازمان ملی استاندارد ایران بوده و حضور هیچ یک از گونه‌های کلی‌فرم‌های مدفوعی، انتروکوک و سودوموناس در آب شرب و سیستم‌های توزیع و آب‌های شرب بسته‌بندی را در هر ۱۰۰ میلی لیتر نمونه آب مجاز نمی‌داند. لازم به ذکر است که در این راستا استفاده از آزمایش‌های حضور/غیاب^۴ را برای تشخیص کیفیت میکروبی آب به دلیل هزینه کم‌تر توصیه می‌کند. در جدول‌های (پ.۲-۷) تا (پ.۲-۱۲) استاندارد زیست‌محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب آورده شده است.

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

مواد آلوده‌کننده	تخلیه به آب‌های سطحی (میلی‌گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی‌گرم بر لیتر)	مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی‌گرم 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
برلیوم	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 (میلی‌گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی‌گرم بر لیتر)	مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی‌گرم 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 گوآرشی (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 BOD_5 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 محصولاتی 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

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

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

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

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

گندزدا	محصول جانبی	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر مجاز (ppm)	
کلر / اسید هیپوکلرو	کلروفلها	۲- کلروفل	۰/۰۰۰۱	
		۲ و ۴- دی کلروفل	۰/۰۰۰۳	
		۲ و ۴ و ۶- تری کلروفل	۰/۰۰۰۲	
	تری هالومتانها*	بروموفرم	---	۰/۱
		دی بروموکلرومتان	---	۰/۱
		برومو دی کلرومتان	---	۰/۰۶
		کلروفرم	---	۰/۳
	کلرو استیک اسیدها	دی کلرو استیک اسید	---	۰/۰۵
		تری کلرو استیک اسید	---	۰/۲
	مونو کلرو استات			
کلر یا کلرآمینها	کلرو استو نیتریلها	---	۰/۰۲	
	دی برومو استو نیتریل	---	۰/۰۷	
	سیانوژن کلراید	---	۰/۰۷	
	N- نیتروس دی متیل آمین	---	۰/۱	

* مجموع نسبت غلظت بروموفرم به بروموفرم استاندارد، دی بروموکلرومتان به دی بروموکلرومتان استاندارد، برومو دی کلرومتان به برومو دی کلرومتان استاندارد و کلروفرم به کلروفرم استاندارد باید کم تر یا مساوی ۱ باشد.

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

حداقل مقدار مجاز کلر آزاد باقی مانده (ppm)	pH
۰/۵	کم تر از ۸
۰/۶	۸ تا ۹

جدول پ.۲-۱۲- میزان مجاز کلر باقی مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشامیدنی

در سیستم های مختلف آبرسانی و محل برداشت [۵]

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



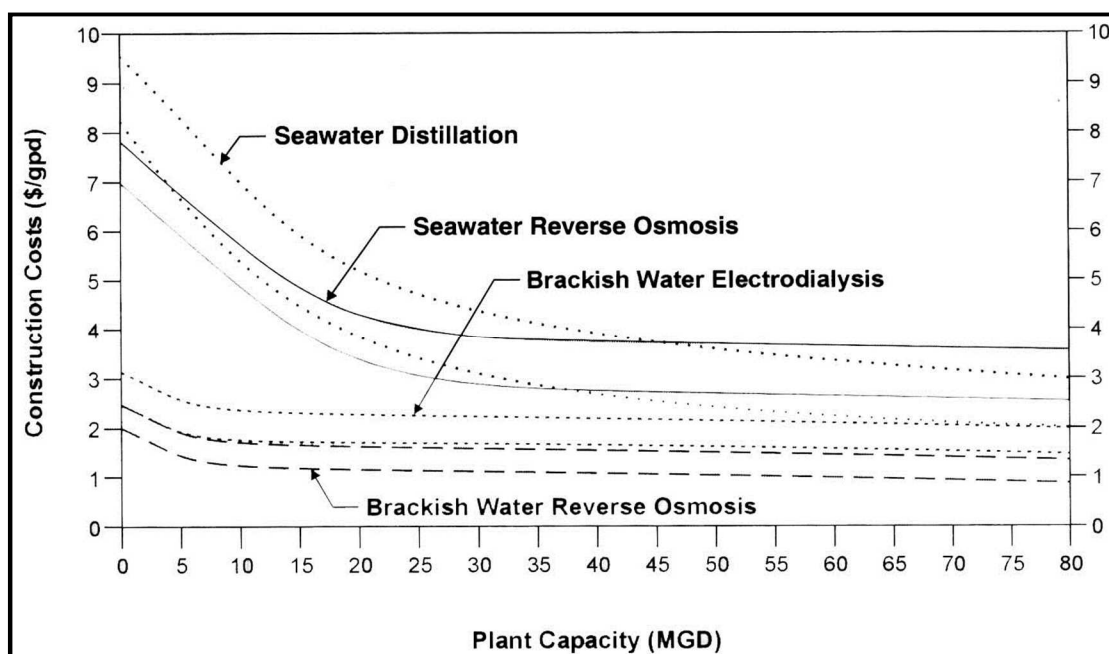
پیوست ۳

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.



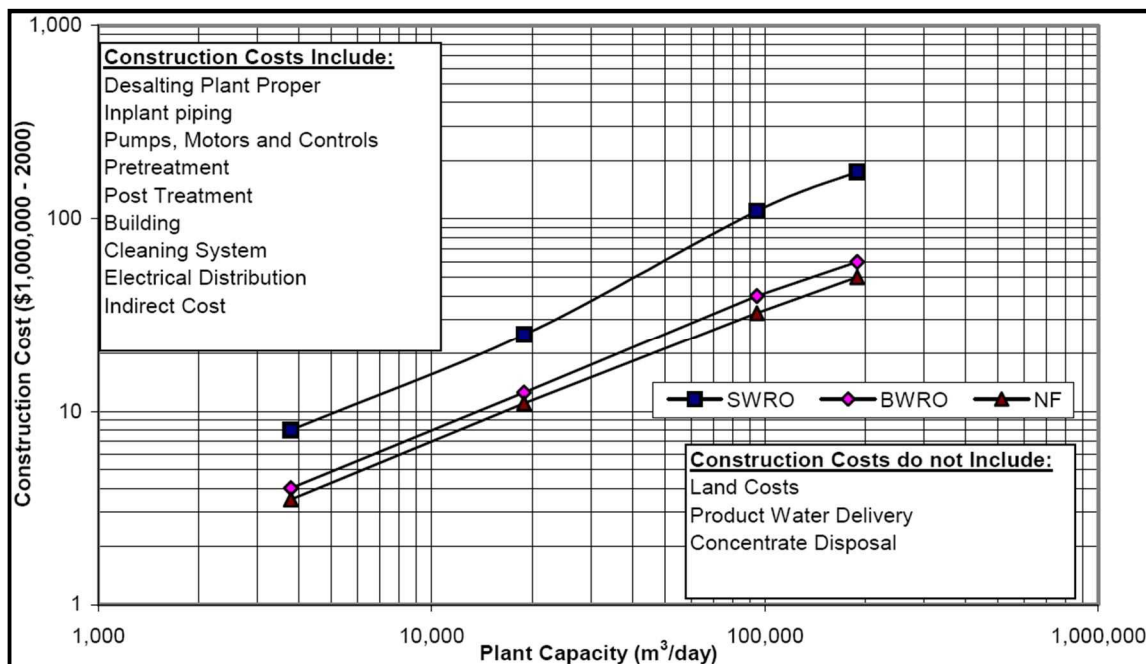
شکل پ.۳-۱- نمودار هزینه ساخت واحدهای نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور برای ظرفیت‌های مختلف [۸۳]

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].

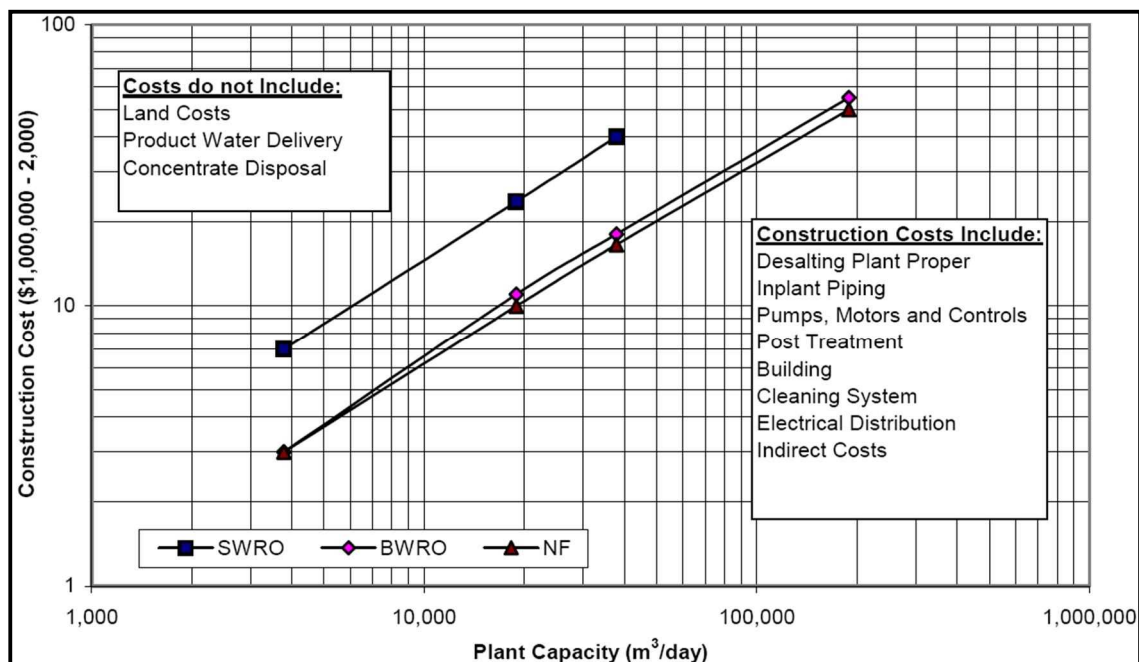
شکل‌های (پ.۳-۲) تا (پ.۳-۲۲) نمودار هزینه ساخت و تجهیزات را برای فرایندهای مختلف نمک‌زدایی نشان

می‌دهند. [۸۴]



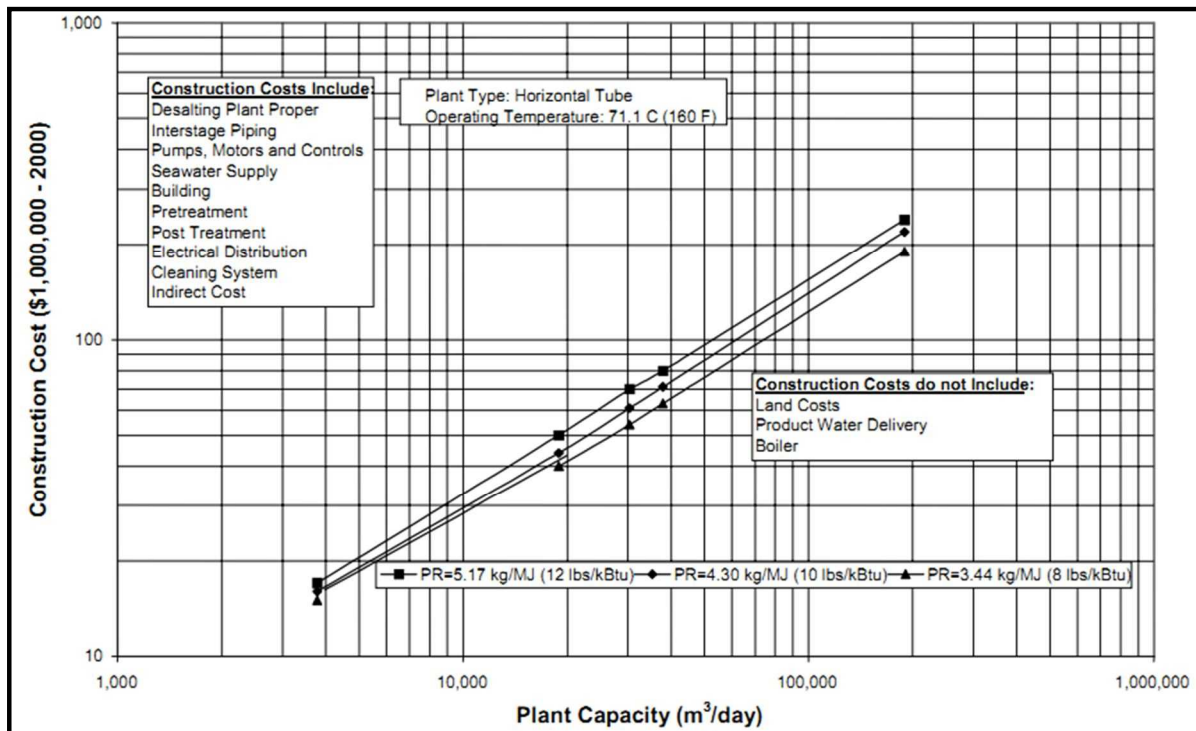


شکل پ.۳-۲- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

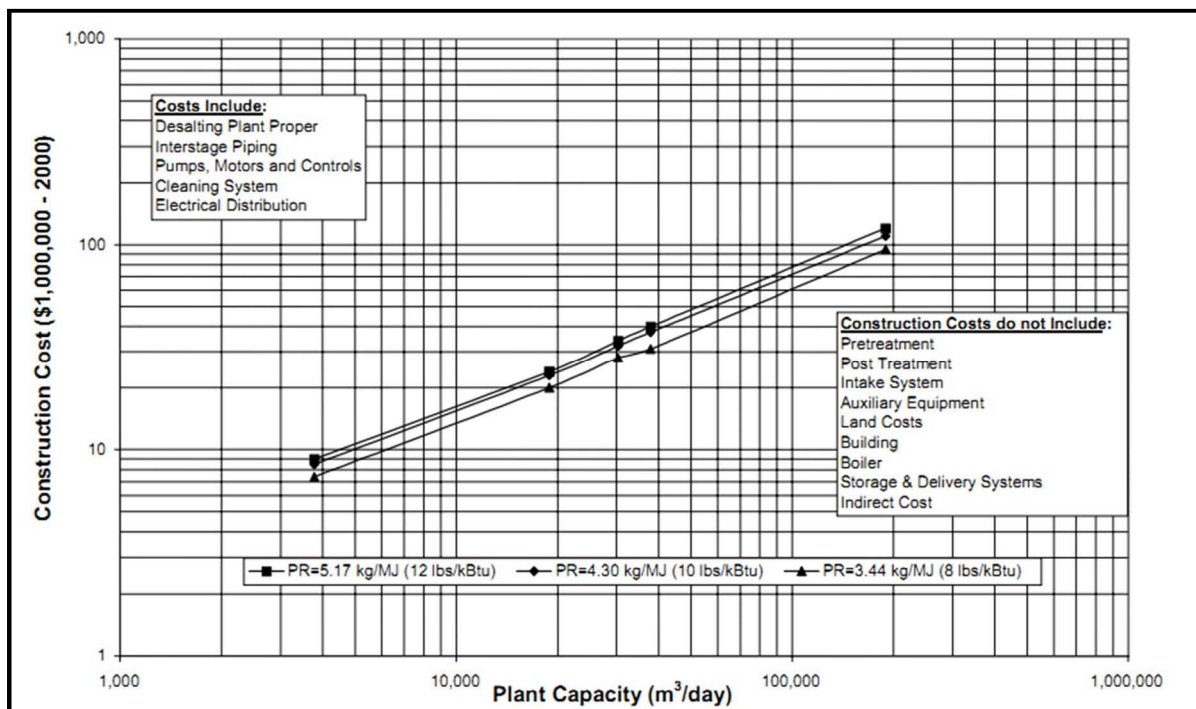


شکل پ.۳-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



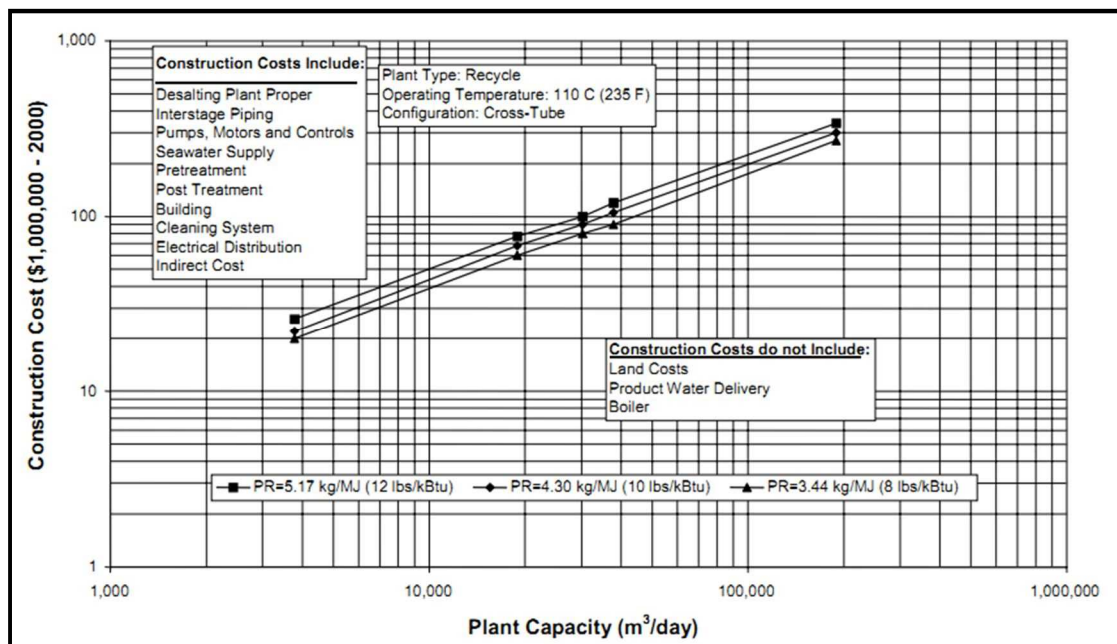


شکل پ.۳-۴- هزینه ساخت فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

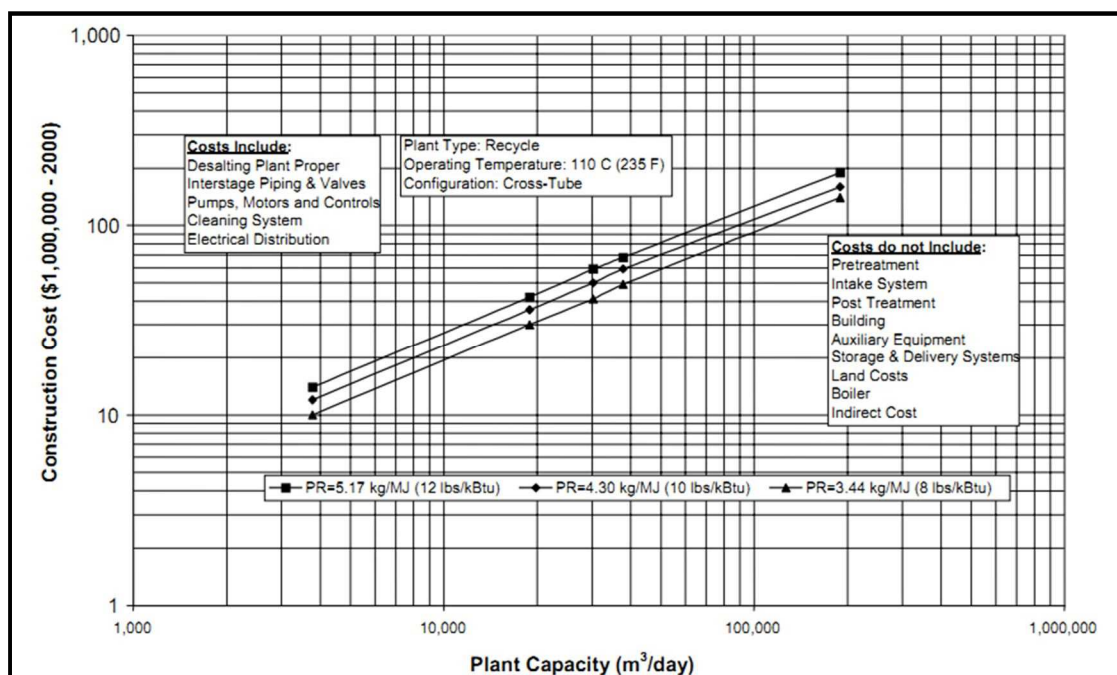


شکل پ.۳-۵- هزینه تجهیزات فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



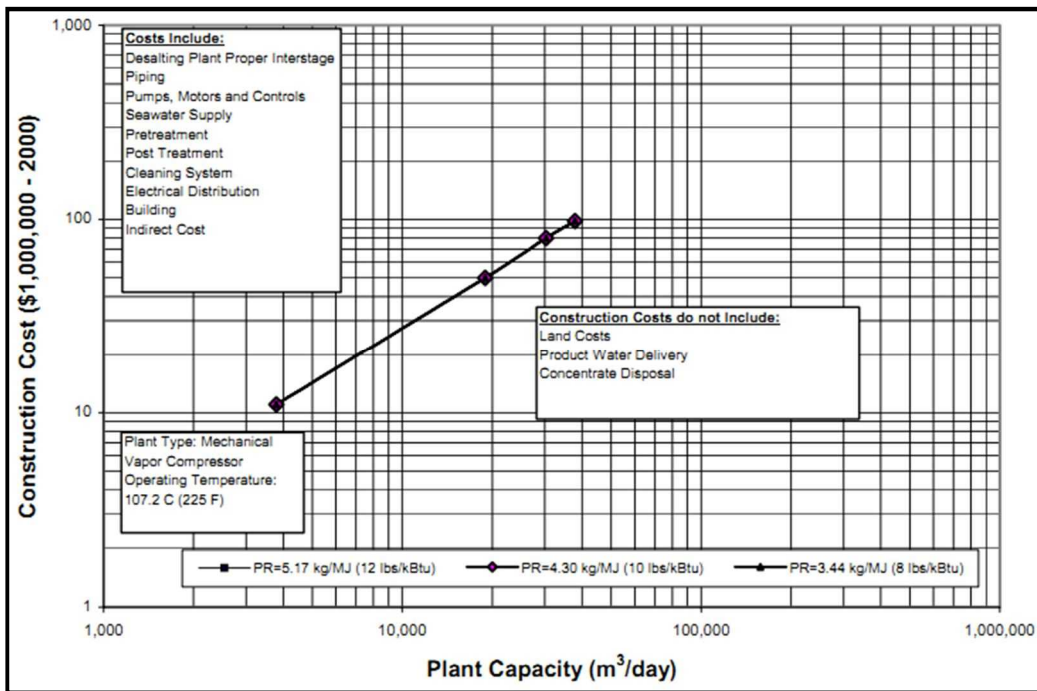


شکل پ.۳-۶- هزینه ساخت فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

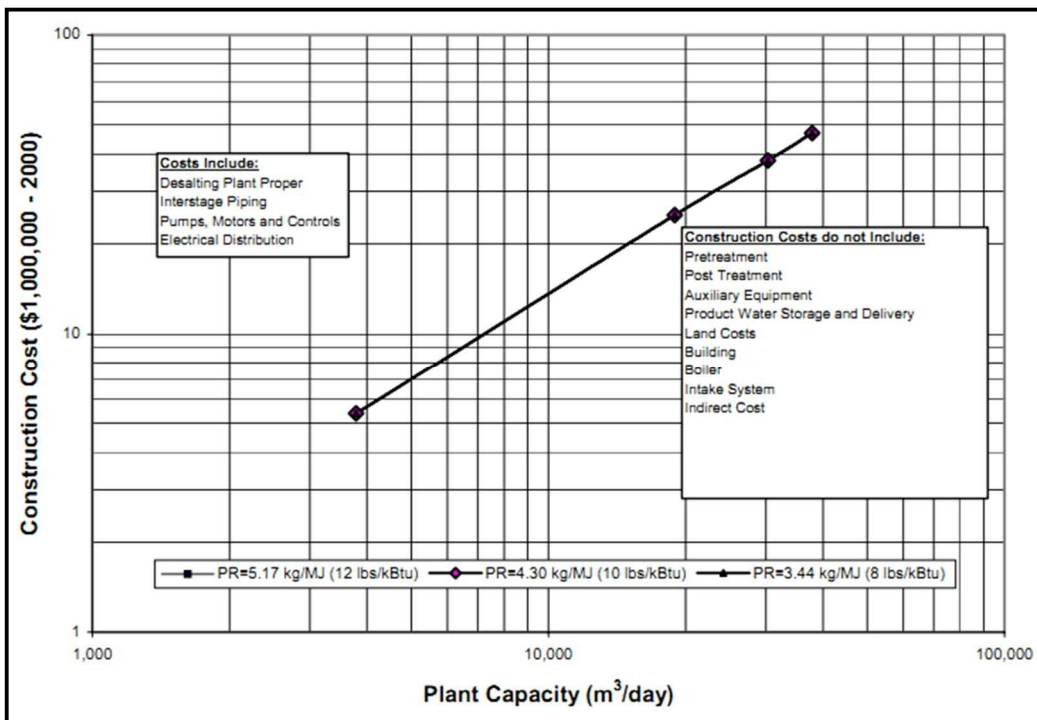


شکل پ.۳-۷- هزینه تجهیزات فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



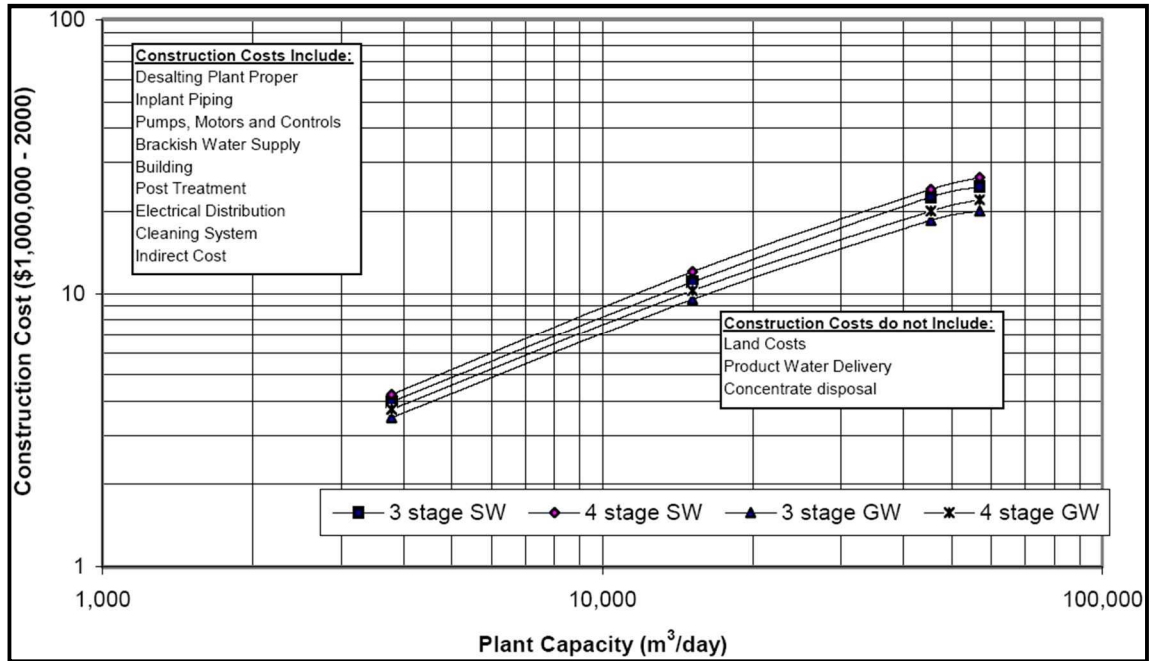


شکل پ.۳-۸- هزینه ساخت فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

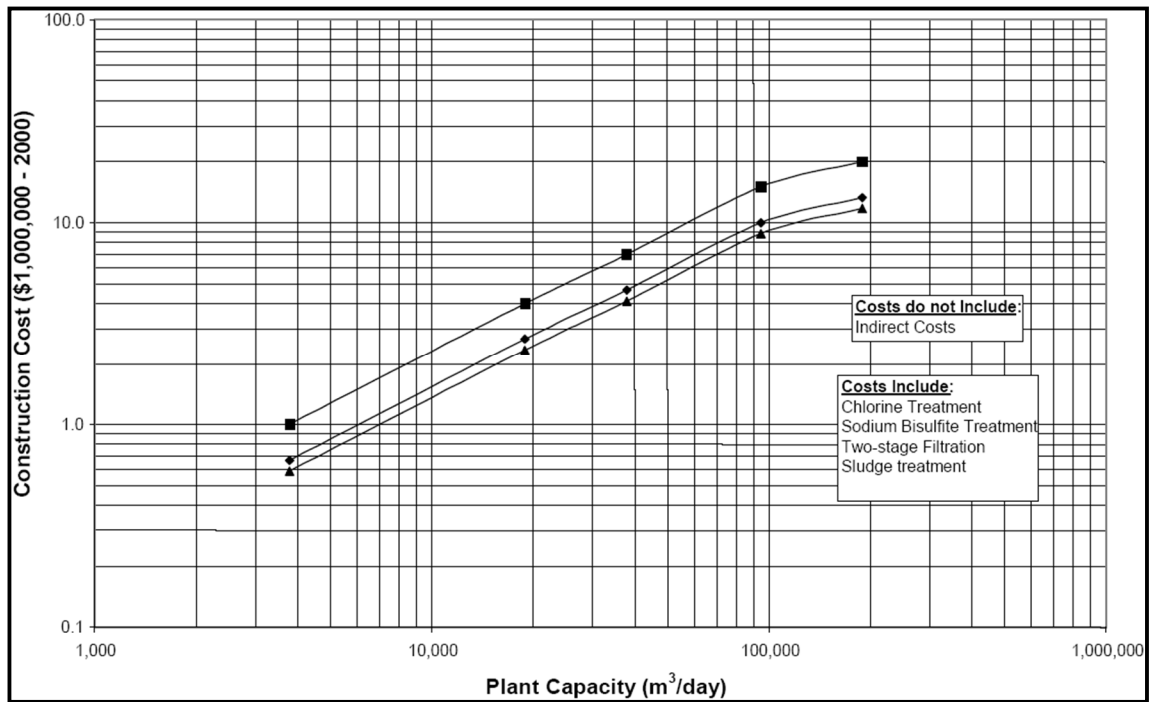


شکل پ.۳-۹- هزینه تجهیزات فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



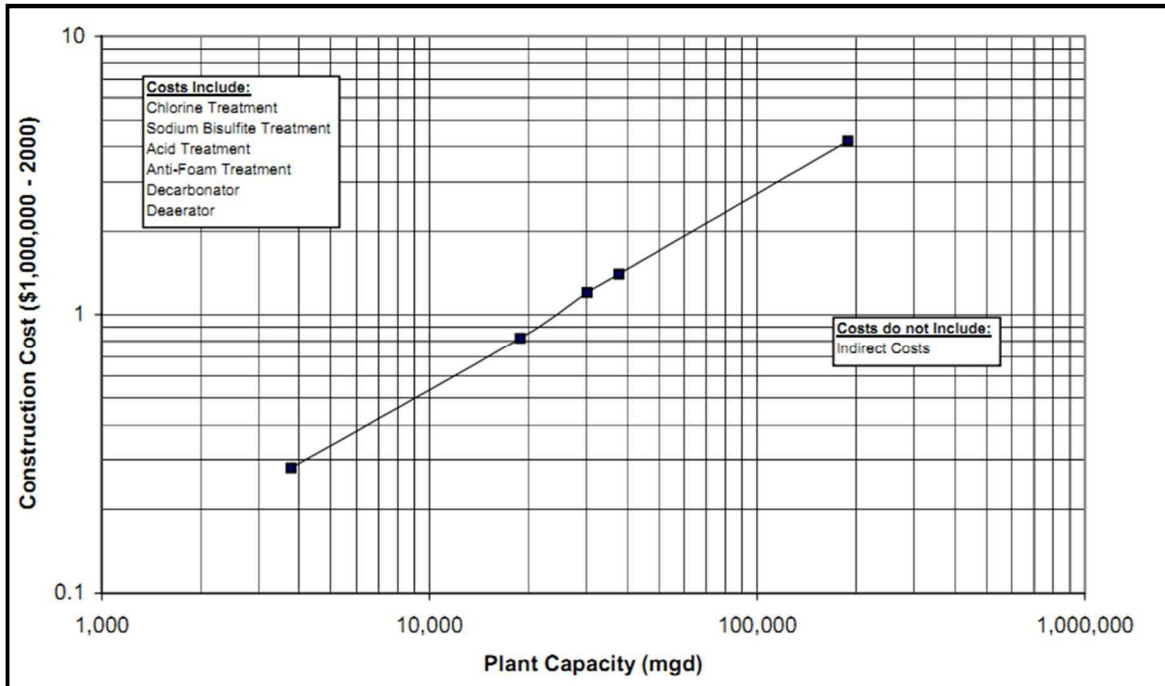


شکل پ.۳-۱۰- هزینه ساخت فرآیندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده برای آب های سطحی و چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

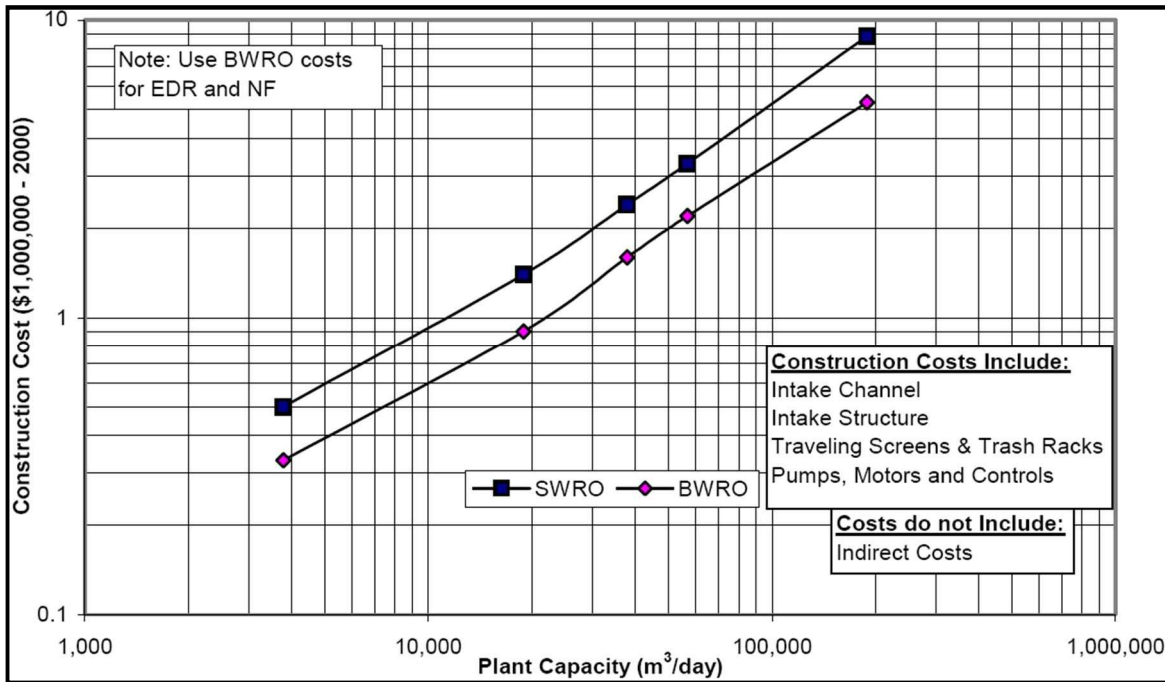


شکل پ.۳-۱۱- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای غشایی برای آب های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



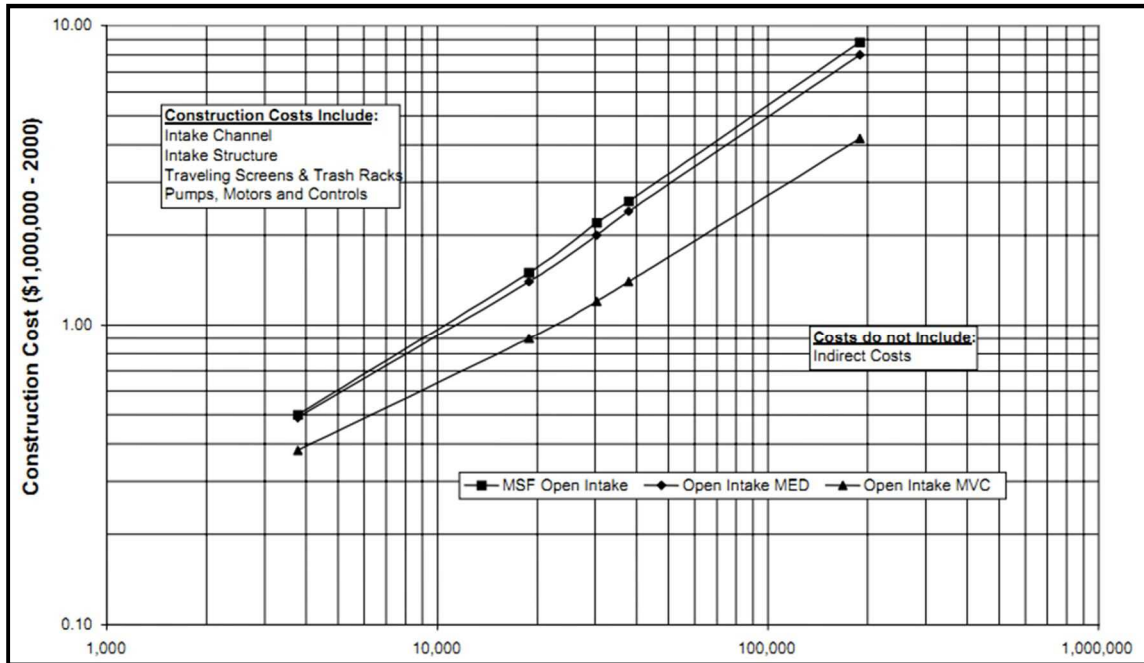


شکل پ.۳-۱۲- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

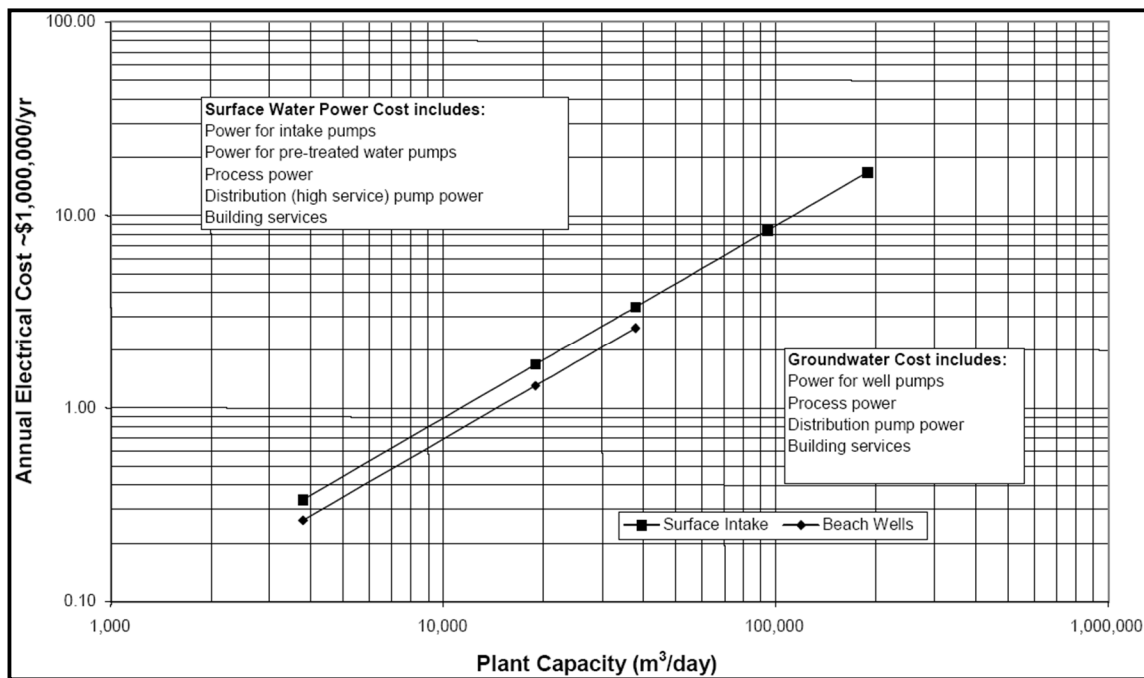


شکل پ.۳-۱۳- هزینه ساخت آب‌گیر فرآیندهای غشایی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



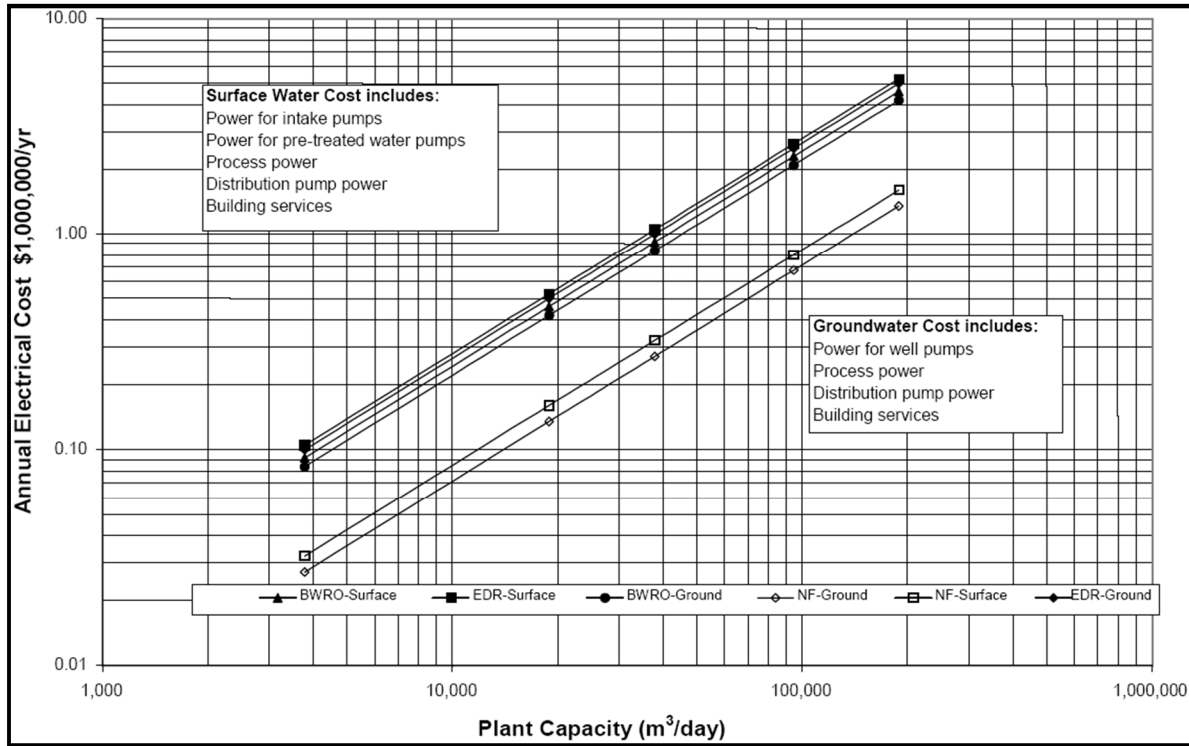


شکل پ.۳-۱۴- هزینه ساخت آب گیر فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

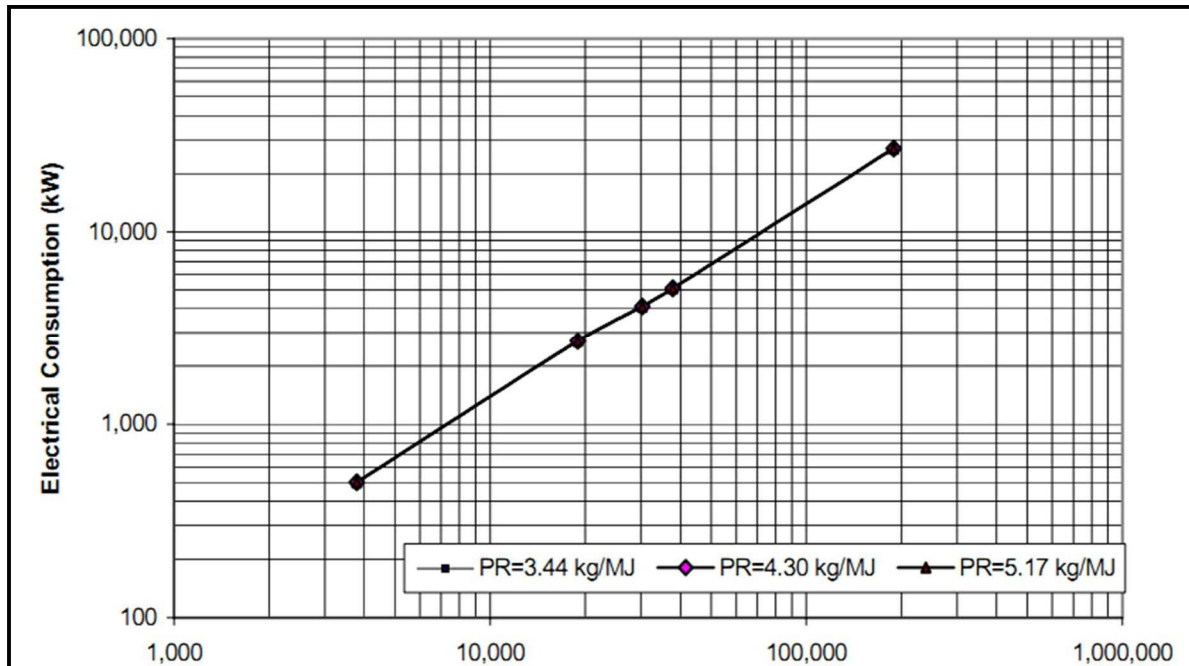


شکل پ.۳-۱۵- هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند SWRO، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



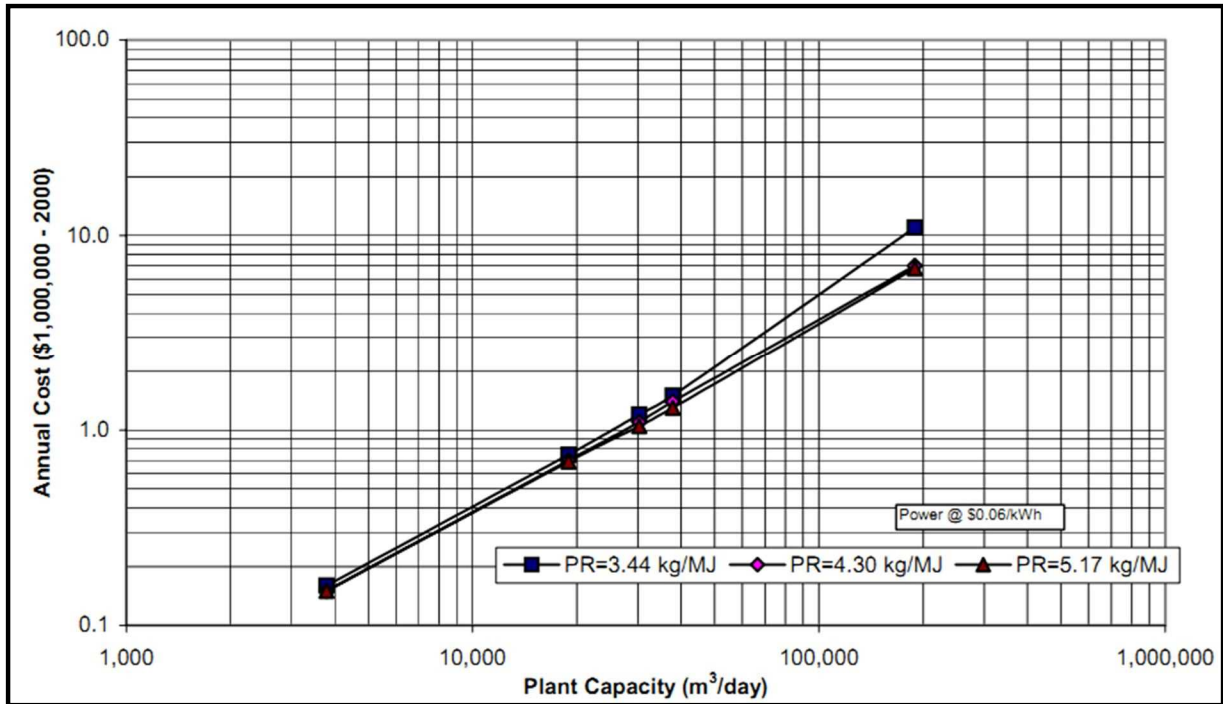


شکل پ. ۳-۱۶- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند BWRO و EDR، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

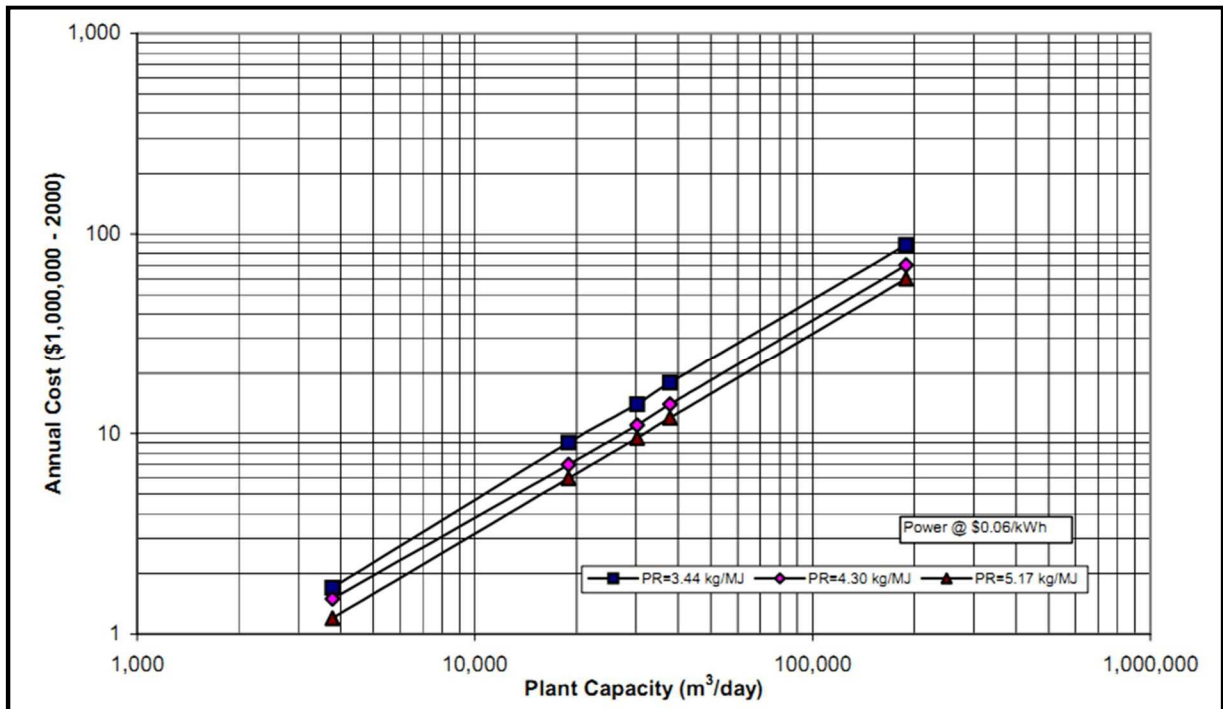


شکل پ. ۳-۱۷- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



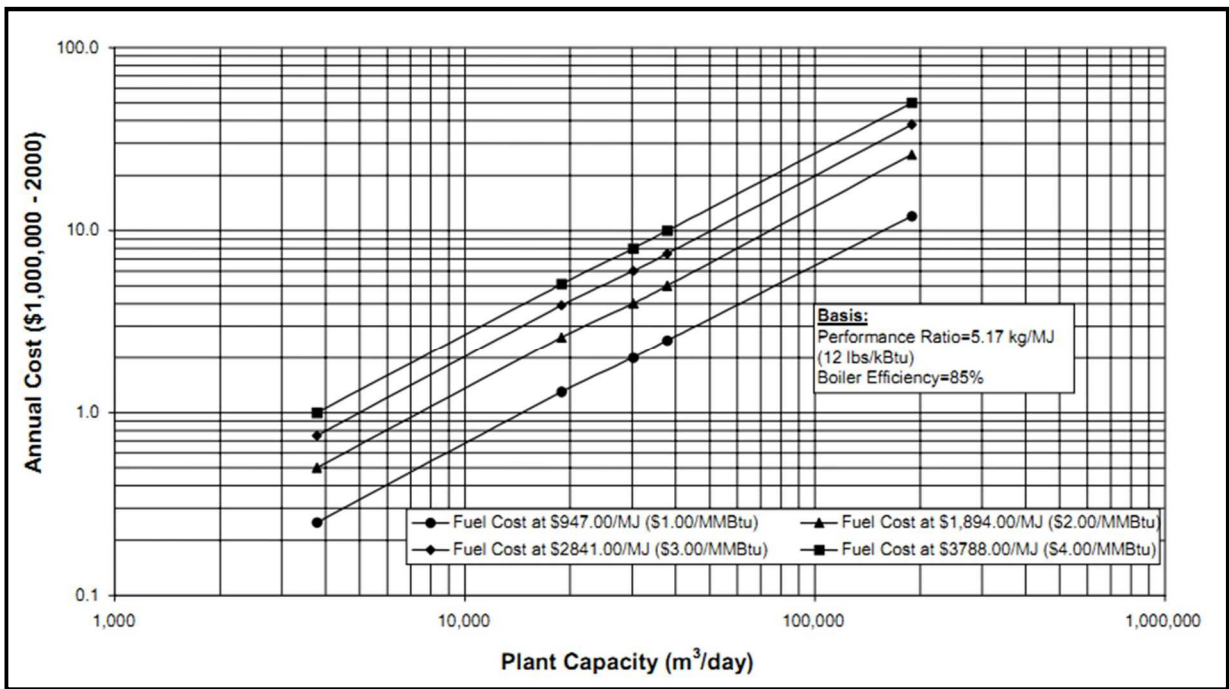


شکل پ.۳-۱۸- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

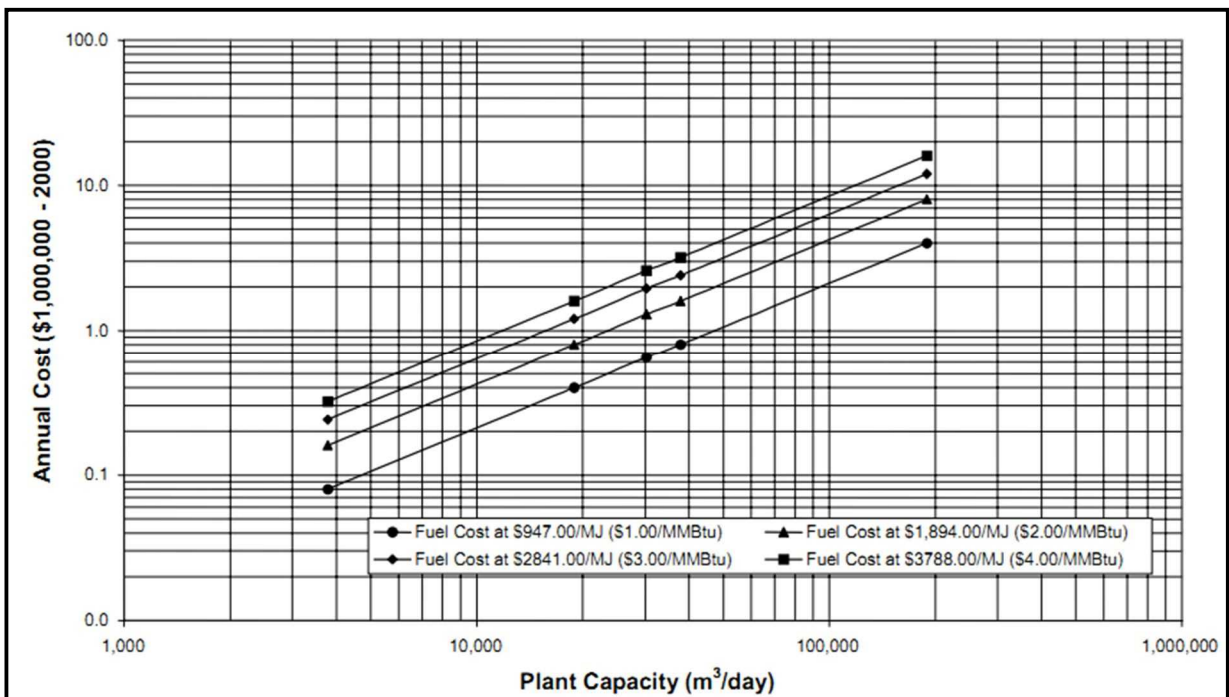


شکل پ.۳-۱۹- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



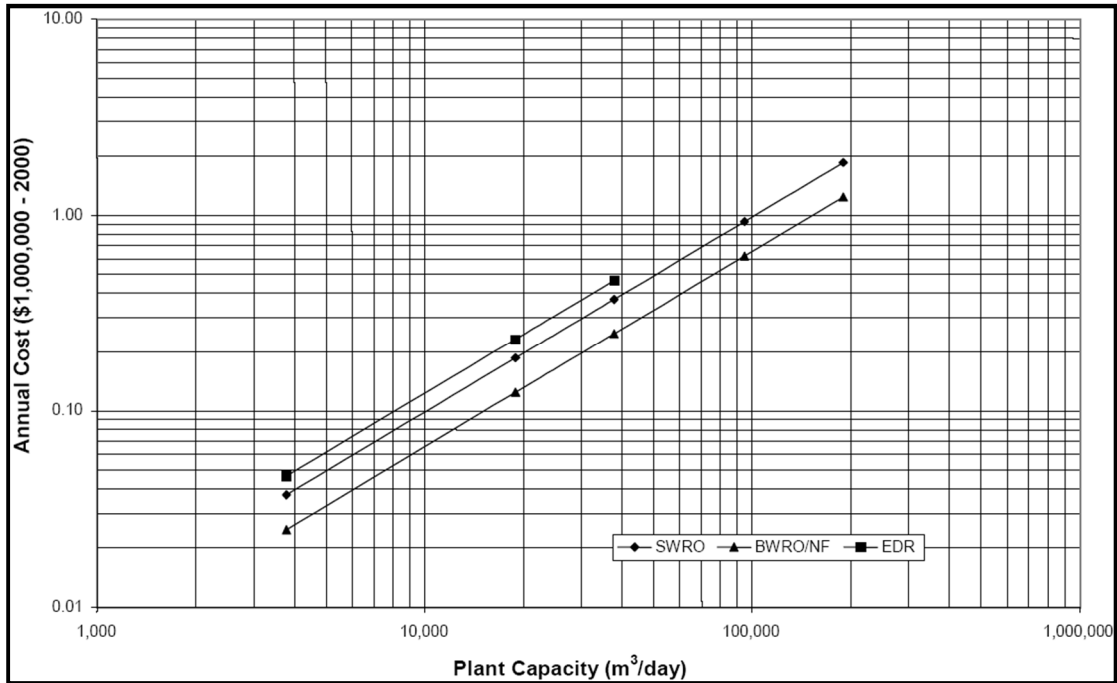


شکل پ.۳-۲۰- هزینه بخار - واحد یک منظوره، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



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 لب شور
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 معکوس شونده
Hollow Fiber	الیافیا فیبر توخالی
Oxidation Reduction Potential (ORP)	شاخص ظرفیت کاهش اکسیداسیون
Enterococci	انتروکوکی
Endotoxin	اندوتوکسین
Anhydrous Calcium Disulfate	انیدروس کلسیم دی سولفات



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 (NTSSs)	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 دانسیته‌ی 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 باکتری‌های 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	فعال‌سازی مجدد نوری
Thin Hollow Fiber	فیبرهای توخالی باریک
Granular Media Filter	فیلتر دانه‌ای
Bag Filter	فیلتر کیسه‌ای
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	لخته‌سازی
Fluidized Bed Heat Exchanger (FBHX)	مبدل حرارتی با بستر سیال‌سان
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 رقیق‌سازی
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	نمک‌زدایی با میدان مغناطیسی
Zero Discharge Desalination (ZDD)	نمک‌زدایی بدون پسماند
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن



Chemical Oxygen Demand (COD)	نیاز شیمیایی به اکسیژن
Nitrification	نیتراته کردن
Wetland	نی‌زار
Hazen Unit (HU)	هازن
Haloacetonitrile (HAN)	هالواستونیتریل
Haloacetic Acid (HAA)	هالواستیک‌اسید
Heterotrophic	هتروتروف
Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی
Co-Location	هم‌محل
Aromatic hydrocarbons	هیدروکربن‌های آروماتیک
Capacitive Deionization	یون‌زدایی 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 همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری و شرکت آب و فاضلاب کشور، امکان‌سنجی استفاده از تکنولوژی اسمز معکوس به منظور تامین بخشی از آب شرب کشور، ویرایش اول، ۱۳۸۵
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو (۱۳۸۸)، «راهنمای آب‌گیری از رودخانه و حفاظت آن»، ش ۵۰۹
- استاندارد ملی شماره ۱۰۵۳: ۱۳۸۸، تجدید نظر پنجم، آب آشامیدنی - ویژگی‌های 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 اندازه‌گیری 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 - ویژگی‌های میکروبیولوژی

منابع و مراجع

- ۱- دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان حفاظت‌محیط زیست (۱۳۷۹)، مجموعه قوانین و مقررات حفاظت محیط‌زیست، جلد اول و دوم
- ۲- دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری و شرکت آب و فاضلاب کشور، امکان‌سنجی استفاده از تکنولوژی اسمز معکوس به‌منظور تامین بخشی از آب شرب کشور، ویرایش اول، ۱۳۸۵
- ۳- راهنمای آب‌گیری از رودخانه و حفاظت آن؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، نشریه شماره ۵۰۹، ۱۳۸۸.
- ۴- استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۱:۱۳۸۶، تجدید نظر ششم، آب آشامیدنی - ویژگی‌های میکروبیولوژی
- ۵- استاندارد ملی شماره ۱۰۵۳:۱۳۸۸، تجدید نظر پنجم، آب آشامیدنی - ویژگی‌های 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 اندازه‌گیری 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*, Wiley, 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. 66Initial 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- Clescerl, 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 Toutouchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezanali	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 Esmaeeli	National Water & Wastewater Engineering Company.	M.Sc. in Civil Environmental Engineering
Abbas Haj Hariri	Freelance Expert	M.Sc. in Industrial Management
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 Toutouchi	Iran-Ab Consulting Engineers	M.Sc. in Civil Engineering
Abbas Haj Hariri	Freelance Expert	M.Sc. in Industrial Management
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

Ministry of Energy
Water and Wastewater Standards and Projects
Bureau

nezamfanni.ir

seso.moe.org.ir



omoorepeyman.ir

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.

