



وزارت نیرو

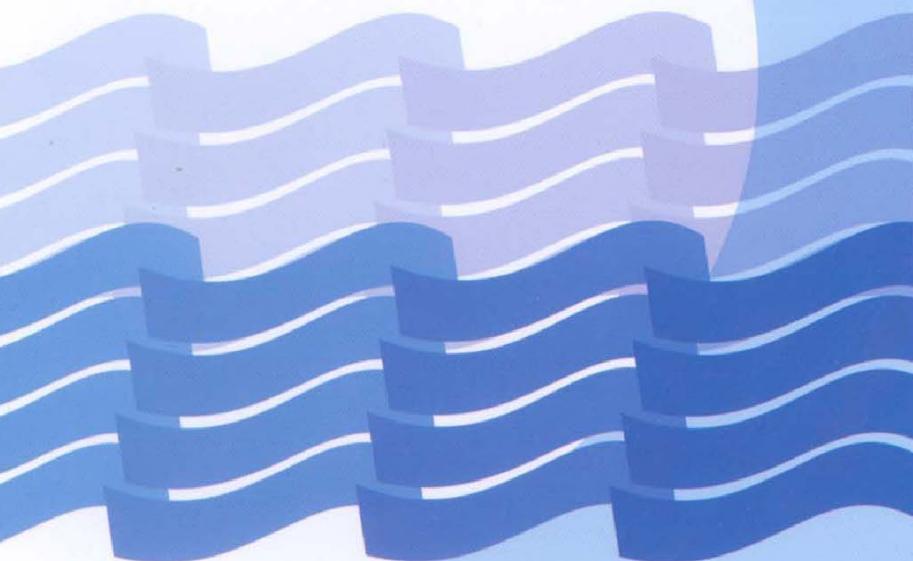
معاونت امور آب و آبفا

دفتر استانداردهای فنی، مهندسی،
اجتماعی و زیست محیطی آب و آبفا

پیش‌نویس

راهنمای انتخاب و به کارگیری سامانه‌های آب

شیرین کن به منظور تامین آب شرب



آذر ماه ۱۳۹۴

ضابطه شماره ۴۳۵-الف

پیش‌نویس

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

آذر ماه ۱۳۹۴

ضابطه شماره ۴۳۵ - الف

بسمه تعالی

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب و آبفا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو با همکاری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به منظور تامین اهداف زیر اقدام به تهیه استانداردهای صنعت آب و آبفا نموده است:

- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها

- پرهیز از دوباره کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور

تدوین استانداردهای صنعت آب و آبفا با در نظر داشتن موارد زیر صورت می‌گیرد:

- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی

- استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی

- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت

- توجه به اصول و موازین مورد عمل سازمان ملی استاندارد ایران و سایر موسسات معتبر تهیه کننده استاندارد استانداردها ابتدا به صورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات دریافتی پس از بررسی تیم تهیه کننده و گروه نظارت در نسخه نهایی منظور خواهد شد.

امید است کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشتہ از صنعت آب و آبفا مرتبط می‌باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرارداده و با ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزنده خود به دفتر طرح، این دفتر را در تنظیم و تدوین متن نهایی یاری و راهنمایی فرمایند.

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

[نشریه شماره ۴۳۴ - الف]

مجری: شرکت مهندسین مشاور مددآب تهران

مولف اصلی: علی جعفریان دهکردی دانشگاه تربیت مدرس

اعضاي گروه تهیه کننده:

دکترای مهندسی مکانیک	کارشناسی مهندسی شیمی	شرکت مهندسین مشاور مددآب تهران	مهندسی بنکداری
	کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	شرکت مهندسین مشاور مددآب تهران	علیرضا بهرامی جوین
	دکترای مهندسی مکانیک	دانشگاه تربیت مدرس	علی جعفریان دهکردی
- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط‌زیست		شرکت مهندسین مشاور مددآب تهران	امیرحسین صدیقی
- دکترای مهندسی عمران - محیط‌زیست		دانشگاه صنعت آب و برق	مجتبی فاضلی

اعضاي گروه نظارت:

کارشناسی ارشد مهندسی عمران	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	حسین ابوتراب
- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی محیط‌زیست	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	کامران اسماعیلی
کارشناسی مهندسی شیمی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	مینا زمانی
کارشناسی ارشد تبدیل انرژی	کارشناس آزاد	سیداحمد علوی

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

کارشناسی ارشد هیدرولوژی	شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور	نعمت الله الهی پناه
کارشناسی ارشد راه و ساختمان	شرکت مهندسین مشاور ایراناب	ابوالقاسم توونچی
کارشناسی ارشد راه و ساختمان	کارشناس آزاد	علیرضا تولایی
کارشناسی ارشد مدیریت صنایع	کارشناس آزاد	عباس حاج حریری
کارشناسی ارشد مهندسی عمران	شرکت تهران میراب	حسن صادقپور
- کارشناسی مهندسی عمران - بهره‌برداری از سد و شبکه‌های آبیاری	شرکت مدیریت منابع آب ایران	سیدعباس صادقیان
کارشناسی ارشد میکروبیولوژی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	الهام عزیززاده آرائی
کارشناسی ارشد تبدیل انرژی	کارشناس آزاد	سید احمد علوی
دکترای مهندسی محیط‌زیست	دانشگاه صنعت آب و برق	مجتبی فاضلی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
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	۱-۲- عوامل فیزیکی منابع آب
۶	۱-۲-۱- مواد جامد معلق
۶	۱-۲-۲- کدورت
۷	۱-۲-۳- رنگ
۷	۱-۴- بو و مزه
۷	۱-۵- عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی
۸	۱-۳- عوامل شیمیایی
۸	۱-۳-۱- هدایت الکتریکی (EC)
۸	۱-۲-۳-۱- کل جامدات محلول (TDS)
۹	۱-۳-۳- سختی
۱۰	۱-۴-۳-۱- pH
۱۰	۱-۵-۳-۱- قلیائیت
۱۱	۱-۶-۳-۱- شاخص‌ها
۱۴	۱-۷-۳-۱- مواد آلی
۱۵	۱-۸-۳-۱- انواع مواد شیمیایی
۱۶	۱-۹-۳-۱- عملکرد سامانه‌های نمک‌زدایی
۱۶	۱-۴- ریزجانداران و عوامل زنده
۱۷	۱-۵-۱- انواع آب‌گیری
۱۸	۱-۱-۵-۱- آب‌گیری از دریاچه‌ها
۲۱	۱-۲-۵-۱- آب‌گیری از دریاچه‌ها
۲۱	۱-۳-۵-۱- عوامل موثر در تعیین نوع آب‌گیری

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۳	فصل دوم- انتخاب پیش تصفیه مناسب
۲۵	۱-۱- کلیات
۲۶	۲-۲- کیفیت منابع آب خام
۲۶	۱-۲-۱- آب سطحی
۲۷	۲-۲-۲- آب زیرزمینی
۲۷	۳-۲- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های نمکزدایی
۲۸	۴-۲- کنترل گرفتگی و رسوب‌گذاری
۲۹	۴-۲-۱- روش‌های شیمیایی
۳۳	۴-۲-۲- روش‌های فیزیکی
۳۵	۵-۲- جمع‌بندی
۳۷	فصل سوم- انتخاب فناوری نمکزدایی مناسب
۳۹	۱-۳- کلیات
۳۹	۱-۱-۱- فرایندهای حرارتی
۳۹	۱-۲-۱- فرایندهای غشایی
۴۱	۲-۳- تشریح نحوه عملکرد
۴۱	۳-۲-۱- اساس کار اسمز معکوس
۴۱	۳-۲-۲- نانوفیلتراسیون
۴۱	۳-۲-۳- الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس‌شونده
۴۲	۴-۲-۳- فرآیند تقطیر چند مرحله‌ای (MED)
۴۴	۵-۲-۳- تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای (MSF)
۴۴	۶-۲-۳- فرآیند تراکم بخار
۴۵	۳-۳- مصالح و تجهیزات مناسب
۴۵	۱-۳-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات سامانه‌های غشایی
۵۱	۲-۳-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات سامانه‌های حرارتی
۵۲	۴-۳- ملاحظات زیست‌محیطی سامانه‌های نمکزدایی
۵۳	۴-۳-۱- تاثیرات زیست‌محیطی حین ساخت فرایندهای نمکزدایی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۵۳	۲-۴-۳- تاثیرات زیست محیطی حین عملکرد فرایندهای نمکزدایی
۵۸	۳-۴-۳- مقایسه اثرات زیست محیطی ضایعات سامانه های نمکزدایی حرارتی و غشایی
۵۹	۵-۳- مقایسه اقتصادی سامانه های نمکزدایی
۵۹	۱-۵-۳- هزینه سرمایه گذاری
۶۱	۲-۵-۳- هزینه سالانه
۶۳	۳-۵-۳- قیمت آب
۶۴	۶-۳- روش های نوین و هیبرید در سامانه های نمکزدایی
۶۴	۱-۶-۳- هیبرید فرایندهای نمکزدایی
۶۵	۲-۶-۳- روش های نوین نمکزدایی
۶۷	۷-۳- راهنمایی های کلیدی در راهبری و نگهداری از سامانه های نمکزدایی
۶۸	۱-۷-۳- کلیدهای طلایی پیشگیرانه
۷۱	۲-۷-۳- کلیدهای طلایی در فاز راهبری
۷۲	۳-۷-۳- کلیدهای طلایی در فاز نگهداری
۷۳	۸-۳- مقایسه تطبیقی و انتخاب فناوری نمکزدایی مناسب
۷۷	۹-۳- جمع بندی
۷۹	فصل چهارم - مدیریت پساب
۸۱	۱-۴- پساب سامانه های نمکزدایی
۸۲	۲-۴- مدیریت پساب ها
۸۲	۱-۲-۴- دفع پساب
۸۸	۲-۲-۴- تصفیه پساب
۹۸	۳-۴- جمع بندی
۹۹	فصل پنجم - کنترل کیفیت آب شرب تولیدی با سامانه های نمکزدایی
۱۰۱	۱-۵- کلیات
۱۰۲	۲-۵- تنظیم کیفیت آب خروجی
۱۰۲	۱-۲-۵- کدورت زدایی
۱۰۲	۲-۲-۵- گندزدایی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۰۲	۳-۲-۵- گاززادایی
۱۰۳	۴-۲-۵- سختی دهی و تنظیم قلیائیت
۱۰۶	۵-۲-۵- حذف بور
۱۰۶	۶-۲-۵- حذف برومید
۱۰۷	۷-۲-۵- تنظیم فلوئور
۱۰۷	۸-۲-۵- کنترل نیتریت و نیترات
۱۰۷	۹-۲-۵- خوردگی
۱۱۲	۳-۵- شبکه توزیع
۱۱۲	۱-۳-۵- نشت
۱۱۲	۲-۳-۵- پایش
۱۱۴	۴-۵- جمع‌بندی
۱۱۴	۱-۴-۵- ثابتیت کیفیت آب برای حداقل کردن احتمال افت کیفی در طول مسیر، قبل از توزیع آب تولیدی
۱۱۴	۲-۴-۵- حداقل کردن رشد میکروبی و ایجاد بیوفیلم در شبکه توزیع
۱۱۵	۳-۴-۵- انتخاب صحیح گندزدaha جهت محافظت از سلامت عمومی
۱۱۵	۴-۴-۵- بهروزرسانی استانداردهای مورد استفاده در خصوص جنس لوله‌ها در شبکه توزیع جهت بهبود تاثیر آن بر کیفیت آب
۱۱۷	پیوست ۱- واحدهای سختی و روش تبدیل آن‌ها
۱۲۱	پیوست ۲- استانداردها
۱۳۱	پیوست ۳- نمودارهای مبحث اقتصاد نمک‌زادایی
۱۴۵	پیوست ۴- واژه نامه
۱۵۳	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۹	جدول ۱-۱- ضریب تبدیل هدایت الکتریکی به TDS
۱۳	جدول ۱-۲- مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری
۱۴	جدول ۱-۳- دسته‌بندی آب‌ها بر اساس مقدار BOD
۲۱	جدول ۱-۴- مزایا و معایب آب‌گیرهای مستقیم و غیرمستقیم
۲۸	جدول ۲-۱- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های اسمز معکوس
۳۰	جدول ۲-۲- قدرت نسبی اکسیداسیون در مقایسه با کلر
۳۲	جدول ۲-۳- حداکثر مجاز عوامل بازدارنده در گندزدایی با پرتو فرابنفش
۳۵	جدول ۴-۱- توان روش‌های مختلف پیش‌تصفیه در حل مشکلات و محدوده ظرفیت کاربردی آن‌ها
۴۸	جدول ۳-۱- فشار مورد نیاز جریان ورودی RO براساس نوع غشا
۵۳	جدول ۳-۲- مسایل زیست‌محیطی در اجرای پروژه
۵۴	جدول ۳-۳- مقایسه مصرف انرژی در فرایندهای مختلف
۵۷	جدول ۳-۴- فرایند اسمز معکوس آب دریا جریان پساب در فرایندهای مختلف نمکزدایی و تاثیرات زیست‌محیطی آن‌ها
۵۸	جدول ۳-۵- مشخصات پساب فرایندهای نمکزدایی مختلف
۷۲	جدول ۳-۶- موارد بازررسی دوره‌ای
۷۳	ادامه جدول ۳-۶- موارد بازررسی دوره‌ای
۷۴	جدول ۳-۷- مهم‌ترین معیارها در مقایسه و انتخاب فناوری نمکزدایی مناسب
۷۴	جدول ۳-۸- کاربرد فناوری‌های نمکزدایی غشایی و حرارتی براساس منابع آب
۷۵	جدول ۳-۹- کاربرد فناوری‌های نمکزدایی غشایی و حرارتی براساس پارامترهای کیفی آب
۷۵	جدول ۳-۱۰- محدوده کاربرد فرایندهای نمکزدایی غشایی و حرارتی بر اساس شوری آب تغذیه
۷۵	جدول ۳-۱۱- محدوده ظرفیت تولید فرآیندهای مختلف نمکزدایی
۷۵	جدول ۳-۱۲- حداقل دبی آب تولیدی توصیه شده برای فرآیندهای مختلف نمکزدایی
۷۶	جدول ۳-۱۳- کیفیت آب تولیدی در فرآیندهای مختلف نمکزدایی
۷۶	جدول ۳-۱۴- میزان مصرف انرژی به تفکیک نوع آن در فرآیندهای نمکزدایی
۷۶	جدول ۳-۱۵- درصد بازیافت فرآیندهای مختلف نمکزدایی آب دریا
۷۶	جدول ۳-۱۶- درصد بازیافت فرآیندهای مختلف نمکزدایی آب لب‌شور

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۶	جدول ۳-۱۷- میزان حذف آلودگی‌ها در فرآیندهای مختلف نمکزدایی
۱۰۵	جدول ۱-۵- اثر تزریق مواد شیمیایی معدنی روی کیفیت آب
۱۰۸	جدول ۲-۵- پارامترهای تاثیرگذار بر خوردگی در آب نمکزدایی شده
۱۱۴	جدول ۳-۵- تناوب و آزمون‌های مورد نظر بر روی آب تصفیه شده
۱۱۹	جدول پ.۱-۱- واحدهای سختی و روش تبدیل آن‌ها
۱۲۳	جدول پ.۱-۲- مقایسه‌ی استانداردهای معتبر برای پارامترهای فیزیکی آب شرب
۱۲۳	جدول پ.۲-۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی
۱۲۴	جدول پ.۲-۳- حداکثر مجاز مواد شیمیایی معدنی سمی موجود در آب آشامیدنی
۱۲۵	جدول پ.۴-۲- حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی آلی موجود در آب آشامیدنی
۱۲۶	جدول پ.۵-۲- استاندارد ویژگی‌های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان ملی استاندارد ایران (۱۰۱۱)
۱۲۶	جدول پ.۶-۲- استاندارد ویژگی‌های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی (WHO)
۱۲۶	جدول پ.۷-۲- استاندارد زیستمحیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب
۱۲۸	جدول پ.۸-۲- پیش‌نویس استاندارد ایزو (ISO-DIS-21348) در خصوص تابش‌های خورشیدی
۱۲۸	جدول پ.۹-۲- حداکثر مجاز و مطلوب برخی از گندزدایان در آب آشامیدنی
۱۲۹	جدول پ.۱۰-۲- حداکثر مجاز و مطلوب برخی محصولات جانبی گندزدایی در آب آشامیدنی
۱۲۹	جدول پ.۱۱-۲- نسبت pH با حداقل مجاز کلر آزاد باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشامیدنی
۱۲۹	جدول پ.۱۲-۲- میزان مجاز کلر باقی‌مانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشامیدنی در سیستم‌های مختلف آبرسانی و محل برداشت

فهرست شکل‌ها و نمودارها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۱	شکل ۱-۱- رابطه pH با قلیائیت
۱۱	شکل ۱-۲- وضعیت نسبی آب با توجه به پارامترهای pH و قلیائیت
۳۵	شکل ۱-۲- چینش کلی روش‌های پیش‌تصفیه متداول و جایگزین
۴۲	شکل ۱-۳- اساس کار فرایند الکترودیالیز
۴۳	شکل ۲-۳- سامانه نمکزدایی تقطیری تک مرحله‌ای

فهرست شکل‌ها و نمودارها

صفحه	عنوان
۴۴	شکل ۳-۳- یک مقطع از محفظه تبخیر ناگهانی
۴۵	شکل ۳-۴- سامانه تراکم بخار مکانیکی
۴۶	شکل ۳-۵- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی صفحه‌ای (چپ)
۴۶	شکل ۳-۶- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی الیافی (چپ)
۴۷	شکل ۳-۷- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی حلزونی (چپ)
۵۰	شکل ۳-۸- انواع آرایه‌های متداول سامانه‌های غشایی
۵۹	شکل ۳-۹- روش بررسی هزینه‌های فناوری‌های نمکزدایی
۶۲	شکل ۱۰-۳- سهم هر هزینه از کل هزینه‌های عملیاتی در نمکزدایی آب دریا
۶۳	شکل ۱۱-۳- سهم هر هزینه از کل هزینه‌های عملیاتی در نمکزدایی آب لب‌شور
۶۳	شکل ۱۲-۳- هزینه آب تولیدی واحدهای نمکزدایی آب دریا و آب لب‌شور
۶۸	شکل ۱۳-۳- مدل راهبری، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های نمکزدایی
۱۳۳	شکل پ.۳-۱- نمودار هزینه ساخت واحدهای نمکزدایی آب دریا و آب لب‌شور برای ظرفیت‌های مختلف
۱۳۴	شکل پ.۳-۲- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب‌های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۴	شکل پ.۳-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسمز معکوس برای آب چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۵	شکل پ.۳-۴- هزینه ساخت فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۵	شکل پ.۳-۵- هزینه تجهیزات فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۶	شکل پ.۳-۶- هزینه ساخت فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۶	شکل پ.۳-۷- هزینه تجهیزات فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۷	شکل پ.۳-۸- هزینه ساخت فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۷	شکل پ.۳-۹- هزینه تجهیزات فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۸	شکل پ.۳-۱۰- هزینه ساخت فرآیندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده برای آب‌های سطحی و چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۸	شکل پ.۳-۱۱- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای غشایی برای آب‌های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۹	شکل پ.۳-۱۲- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۳۹	شکل پ.۳-۱۳- هزینه ساخت آب‌گیر فرآیندهای غشایی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

فهرست شکل‌ها و نمودارها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۴۰	شکل پ.۳-۱۴- هزینه ساخت آبگیر فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۰	شکل پ.۳-۱۵- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند SWRO، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۱	شکل پ.۳-۱۶- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند BWRO و EDR، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۱	شکل پ.۳-۱۷- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۲	شکل پ.۳-۱۸- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۲	شکل پ.۳-۱۹- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۳	شکل پ.۳-۲۰- هزینه بخار- واحد یک منظوره، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۳	شکل پ.۳-۲۱- هزینه بخار- واحد دو منظوره در کنار نیروگاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا
۱۴۴	شکل پ.۳-۲۲- هزینه تعویض سالانه غشاها، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا

مقدمه

امروزه استفاده از فناوری‌های نمک‌زدایی به عنوان روشی مناسب و قابل اعتماد برای تولید آب آشامیدنی در حال گسترش بوده و راه حلی برای رفع کمبود آب در مناطق مختلف محسوب می‌شود. بروز مشکلات متعدد 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 راهنمای، 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 انتهای 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 نوبن 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 انتهای نیز بر مبنای مقایسه تطبیقی، مدل انتخاب فناوری نمک‌زدایی مناسب ارائه شده است.

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

با توجه به تمرکز این راهنما بر تهیه آب شرب، فصل پنجم به مباحث کنترل کیفیت ازدو دیدگاه سلامت و بهداشت عمومی و خوردنگی 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 راهنمای انتخاب و به کارگیری سامانه های آب شیرین کن به منظور تامین آب شرب از سامانه های آب شیرین کن به منظور انتخاب و بهره گیری از سامانه های آب شیرین کن است.

- دامنه کار -

این راهنمای انتخاب و به کارگیری سامانه های نمکزدایی اعم از آبگیری و تامین آب، پیش تصفیه و تصفیه تکمیلی، انتخاب و به کارگیری سامانه های نمکزدایی و مدیریت پساب سامانه های مذکور را در بر می گیرد.

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 زردمايل به قهقهه‌ای در آن‌ها ظاهر می‌شود.

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

آب چاههای خیلی عمیق معمولاً عاری از میکروب‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌های است 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، رادیواکتیو 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].

۱-۲- 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، نیترات و ریزآلایندها
- امکان حضور بور بهویژه در آب دریا
- احتمال بروز اوتوفیکاسیون، 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 بر شمرده 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 به صورت معلق باقی می‌مانند. از میان مواد معلق به باکتری‌ها، گل و لای، روغن، رنگ، سیلیس کلوئیدی، جلبک‌ها و موجودات ریز زنده می‌توان اشاره کرد. اندازه‌ی این ذرات معمولاً بزرگ‌تر از $0.1\text{ }\mu\text{m}$ میکرون است [۱۸ تا ۱۱]. 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 لحن (SDI)^۱ امکان گرفتگی غشاهای و فیلترها را مشخص می‌کند. این شاخص امکان گرفتگی ناشی از کلوئیدهای 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 کلوئیدی در آب است. رابطه‌ی تجربی کدورت با مواد جامد معلق در ذیل آمده است:

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

1- Silt Density Index (SDI)

2- Turbidity

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

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

۳-۲-۱- 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.

۴-۲-۱- بو و مزه

عوامل مختلفی مانند جلبک‌ها، تجزیه‌ی گیاهان آبزی، آب انتهای 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 گزنه 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 کلوروبا غلظت ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، مزه‌ی شور آب محسوس است؛ اما اگر غلظت یون کلورور تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و یون مرتبط با آن به جای سدیم، کلسیم یا منیزیم باشد، ممکن است مزه‌ی شور آشکار نشود. اتحال برخی از گازها در آب نیز در طعم و مزه‌ی آن سهم دارد. برای نمونه، اتحال اکسیژن موجب گوارا شدن آب می‌شود و حل شدن سولفید هیدروژن آب را بدبو می‌کند [۱۱ تا ۱۸].

۴-۲-۱- 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.

1- Hazen Unit (HU)

2- Volatile Organic Compound (VOC)

در سامانه های نمک زدایی غشایی، از جمله نانوفیلتراسیون (NF)^۱ و اسمز معکوس (RO)^۲ حتی بخش قابل توجهی از یون ها نیز از آب حذف می شوند و قاعده اماکن عبور سایر مواد وجود نخواهد داشت. تنها مواد موثر بر پارامترهای فیزیکی آب که امکان عبور از نانوفیلترها و اسمز معکوس را دارند گازها هستند. البته باید به این نکته توجه داشت که وجود آلاینده های فیزیکی در ورودی این دو روش موجب کاهش عمر و بالا رفتن هزینه های آن ها خواهد شد.

اما سامانه هی اولترافیلتراسیون قابلیت حذف ۹۹/۸ درصدی کلورید های سیلیس، آهن و آلومینیوم، تمام جامدات معلق، ۹۹/۹۹۹ درصد باکتری ها، ویروس ها و اندوتوكسین ها و ۷۰ درصد کل کربن آلی (TOC)^۳ را دارد. این سامانه ها کدورت را به کمتر از یک NTU می رسانند. اگرچه از اولترافیلتراسیون برای تصفیه ای آب های سطحی با شوری بسیار کم و تولید آب قابل شرب استفاده می شود ولی نقش اصلی آن در صنعت نمک زدایی به عنوان پیش تصفیه ای روش های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس است.

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

۱-۳-۱- عوامل شیمیایی

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

۱-۳-۱- هدایت الکتریکی (EC^۴)

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

۱-۳-۲- کل جامدات محلول (TDS^۵)

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

1- Nanofiltration (NF)

2- Reverse Osmosis (RO)

3- Total Organic Carbon (TOC)

4- Electrical Conductivity

5- Total Dissolved Solids (TDS)

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

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 به عنوان پیش‌فرض در نظر گرفته شده است. همچنین با 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 [۱۸ تا ۱۱]. جدول (۱-۱) مقادیر نسبی K را به طور تقریبی بیان کرده است.

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

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

۳-۳-۱- 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 [۱۹ تا ۱۱].

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 سولفات‌هه، نیترات‌هه و کلرور‌هه 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 نمک های کلسیم و منیزیم را سختی کل (TH)^۱ می نامند و گاهی به تفکیک سختی کل کلسیم و سختی کل منیزیم بیان می کنند. سختی در کنار قلیائیت و pH نشان دهنده قابلیت خورندگی یا رسوب گذاری آب است.

pH - ۴-۳-۱

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

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

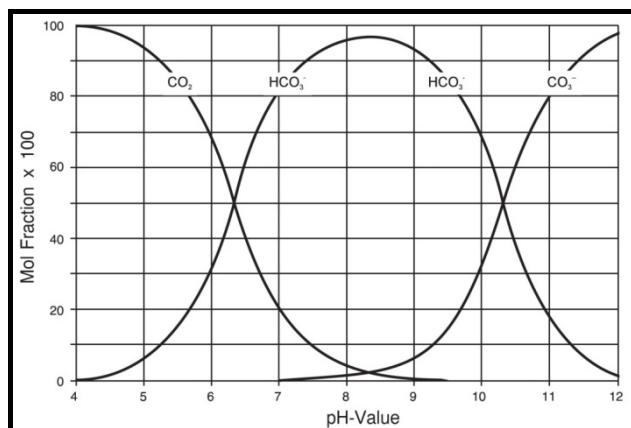
۴-۳-۱-۵- قلیائیت^۲

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

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

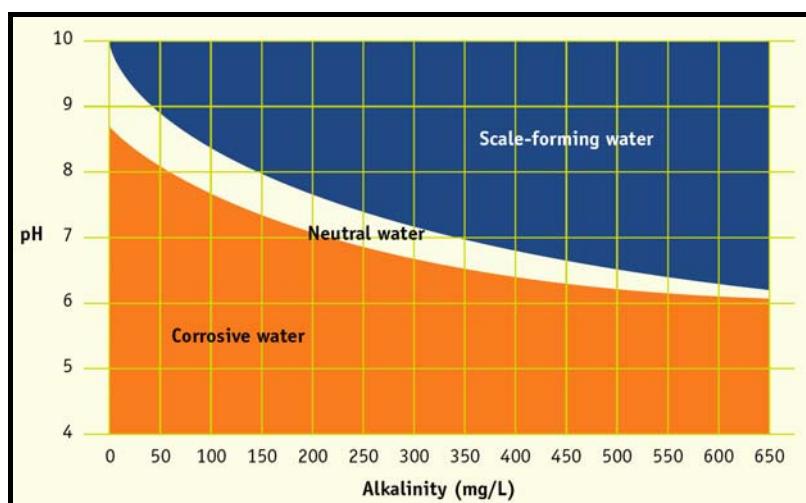
1- Total Hardness (TH)

2- Alkalinity



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

اما آنچه دارای اهمیت و تاثیرگذار است، رابطه سه عامل pH، قلیائیت و سختی است. این رابطه در میزان رسوب‌گذاری یا خورندگی آب مشاهده می‌شود و روش‌ها و شاخص‌های متعددی برای محاسبه آن وجود دارد. شکل (۲-۱) وضعیت نسبی آب را با توجه به عوامل فوق برای قلیائیت در محدوده صفر تا ۶۵۰ میلی‌گرم بر لیتر نشان می‌دهد [۱۹ تا ۱۱].



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

۳-۱- شاخص‌ها

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

شاخص لانژلیه (LSI)^۱ اختلاف بین pH محلول و pH کربنات کلسیم اشباع در آب را نشان می دهد. از این روش می توان برای آب های لب شور با TDS کمتر از ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر استفاده کرد. همچنین این روش برای آب های حاوی فسفات و قلیائیت سدیمی پایین و سیستم های با سرعت کم جریان آب مناسب است. علاوه بر این، این روش نسبت به آسودگی چربی و روغن، جلبک ها و میکرو اورگانیزم ها تاثیر پذیری قابل توجهی دارد [۲۳ و ۲۴].

شاخص استیف و دیویس (S&DSI)^۲ برای جبران مشکل شاخص لانژلیه در آب های با TDS بیشتر از ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر توسعه یافته است و اثر متقابل یون ها برای ایجاد رسوب را در نظر می گیرد [۲۵].

LSI تنها تمايل محیط به تشکیل رسوب یا خوردگی را نشان می دهد 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)^۳ مطرح شده است که بین دو نوع آب مورد بحث تمايز ایجاد می کند.

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

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

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

شاخص پتانسیل رسوب کربنات کلسیم (CCPP)^۴ شاخصی واقعی از ظرفیت آب برای تهنشینی کربنات کلسیم است. این شاخص مفیدترین ابزار محاسباتی برای طراحی روش های کنترل خوردگی و تصفیه ای تکمیلی برای آب نمک زدایی شده از آب دریا است.

شایان ذکر است که شاخص های فوق به دلیل ارتباط تنگاتنگ با pH، رابطه نزدیکی با دما دارند [۳۰].

-
- 1- Langelier Saturation/Stability Index (LSI)
 - 2- Stiff & Davis (Calcite) Saturation Index (S&DSI)
 - 3- Ryznar Stability Index (RSI)
 - 4- Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP)

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)^۱ 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^۲ 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 ۸/۵ تا ۶/۵ است [۳۲].

شاخص شدت خوردگی (AI)^۳ 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 (۲-۱) مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱- مقایسه نتایج شاخص‌های رسوب‌گذاری

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

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

1- Gypsum

2- Skillman Index

3- Aggressive Index (AI)

۷-۳-۱- 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 کلؤئیدی در آب معلق می‌ماند و قسمت دیگری از آن در آب محلول است. برای اندازه‌گیری مقدار این مواد در آب شاخص‌های مختلفی وجود دارد که معتبرترین و دقیق‌ترین آن‌ها نیاز بیوشیمیایی به اکسیژن (BOD)^۱، نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD)^۲ و کل کربن آلی (TOC) است [۱۹ تا ۱۱۹].

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

آزمایش BOD آزمایشی شیمیایی برای اندازه‌گیری مقدار اکسیژن محلول مورد نیاز میکرواوگانیزم‌های هوایی 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 پنج روزه 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

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

۱-۷-۳-۲- نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD)

این روش برای اندازه‌گیری مقدار ترکیبات آلی موجود در آب، به ویژه آب‌های سطحی است. اکسیژن مورد نیاز برای انجام واکنش مورد نظر و تبدیل مواد آلی به دی‌اکسید کربن، آمونیاک و آب بیان گر نتیجه آزمایش خواهد بود. اکسیدکننده مورد استفاده در آزمایش COD (دی‌کرومات پتابسیم) قادر به اکسید کردن آمونیاک به نیترات نیست و به همین دلیل، مقدار اکسیژن به دست آمده، اکسیژن مورد نیاز برای تبدیل آمونیاک به نیترات (نیتراته کردن) را در بر نمی‌گیرد. برخی از آب‌ها حاوی مقادیر زیادی از مواد اکسیدشونده هستند که دی‌کرومات پتابسیم را به مصرف می‌رسانند. از جمله موادی که در آزمایش COD دخالت می‌کنند می‌توان به کلرور، نیتریت، آهن دو ظرفیتی، سولفید و ترکیبات

1- Biochemical Oxygen Demand (BOD)

2- Chemical Oxygen Demand (COD)

منگنزدار 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 به ندرت 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.

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.

۸-۳- ا نوع مواد شیمیایی

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

۱-۸-۳- 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 هوایی، منجر به کاهش اکسیژن می‌شود. ولی باکتری‌های بی‌هوایی با مصرف بعضی ناخالصی‌های موجود در آب، گاز متان، آمونیاک یا هیدروژن سولفوره 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.

۲-۸-۳- 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 می کنند. به همین دلیل نمک های معدنی به دو دسته غیرسمی و سمی تقسیم می شوند.

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

۳-۸-۳-۱ مواد آلی

به مواد غیرمعدنی که در ساختار مولکولی خود کربن دارند مواد آلی می گویند که عمدترین آنها هیدروکربن های آلیفاتیک و هتروترووفیک است. مقدار مجاز این مواد بر طبق استانداردها در پیوست شماره ۲ قابل مشاهده است.

۳-۹-۱ عملکرد سامانه های نمک زدایی

در سامانه های نمک زدایی حرارتی، تمام مواد شیمیایی حذف شده و تنها مقدار بسیار اندکی از نمکها مانند کلرور سدیم به همراه بخار حمل می شود. این مقدار بسته به نوع طراحی حداکثر تا حدود ۲۰ میلی گرم 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 روش های نمک زدایی غشایی، روش های نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در حذف گازها توانایی خاصی ندارند و گازها به راحتی از آنها عبور می کنند. توانایی اصلی این روش ها در حذف یون هاست که بسته به نوع غشا و سازنده آن کارآیی های متفاوتی دارند. بالاترین درصد جداسازی در فرآیند اسمز معکوس ۹۹/۸ درصد و در فرآیند نانوفیلتراسیون ۹۷ درصد است. نانوفیلتراسیون درصد بالایی از یون های دو ظرفیتی را جدا می کند؛ در حالی که در مورد یون های تک ظرفیتی قابلیت محدودی دارد.

۴-۱ ریز جانداران و عوامل زنده

آب در مصارف گوناگون باید از نظر کیفیت تابع استانداردهای تدوین شده جهانی باشد. به طور کلی به منظور 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.

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

به طور کلی میکروارگانیسم‌های موجود در اکوسیستم‌های آبی را می‌توان به دوبخش اتوتروف و هتروتروف تقسیم کرد. میکروارگانیسم‌های اتوتروف با مصرف انرژی خورشیدی و با استفاده از مواد ساده معدنی در دسترنس، 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 آبزیان به دسته‌های مختلف باکتری‌ها، ویروس‌ها، جلبک‌ها، حیوانات و گیاهان تقسیم می‌شوند. در میان باکتری‌های آبزی، باکتری‌های هتروتروف شامل مجموعه‌ای از باکتری‌های هوایی و بی‌هوایی اختیاری هستند. این باکتری‌ها عموماً عامل گرفتگی بیولوژیکی در سامانه‌های غشایی هستند. قارچ‌ها، کرم‌ها و حشرات عموماً در مراحل پیش‌تصفیه حذف می‌شوند. گیاهان آبزی، خزه‌ها و جلبک‌ها نیز از عوامل عمدۀ گرفتگی فیلترها در پیش‌تصفیه سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی هستند. آمیب‌ها می‌توانند به صورت 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 به راحتی 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 نشتی 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 آبزی شامل جلبک‌ها، خزه‌ها، گیاهان آبزی، لارو و ماهی‌های مختلف می‌تواند بر روی کلیه سامانه‌های پیش‌تصفیه از برداشت آب تا فیلتراسیون ماسه‌ای و فیلترهای غشایی تراوا (کارتريج 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 عمدۀ از هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و ساخت رابه خود اختصاص می‌دهد.

به عنوان اولین گام در فرآیند پیش‌تصفیه، نوع آب‌گیر استفاده شده می‌تواند بر روی محدوده کیفی پارامترهای منبع آب و عملکرد تجهیزات تصفیه پایین دست تاثیر بگذارد. طرح، احداث، نظارت و سایر موارد مرتبط به آب‌گیرها ممکن است به اندازه ۲۰ تا ۴۰ درصد هزینه کل پروژه‌های نمک‌زدایی باشد. یک طرح آب‌گیر مناسب نه تنها از تجهیزات

پایین دست حفاظت می کند و اثرات مخرب بر روی اکوسیستم آبی را کاهش می دهد، بلکه بازدهی و عملکرد فرآیند نمک زدایی آب را بالا برد و هزینه های بهره برداری و نگهداری را نیز کاهش می دهد. اصولاً یک آب گیر مناسب کمترین آشفتگی را در محیط آب گیری ایجاد می کند و دارای عمق مناسب بوده و از ورود گل و لای و آب زیان جلوگیری می کند. آب گیرها با توجه به منابع آبی به سه بخش آب گیری از دریاها، رودخانه ها و دریاچه ها تقسیم می شود که آب گیری از دریا و دریاچه در ادامه می آید.

۱-۵-۱- آب گیری از دریاها

عموماً دو نوع آب گیری از آب دریا برای نمک زدایی وجود دارد:

- آب گیرهای مستقیم: معمول ترین نوع آب گیر است که آب را مستقیماً توسط کانال های انتقالی باز و یا خطوط لوله در کف دریاها و روش های دیگر جمع آوری می کنند. این آب گیرها به دو نوع سطحی و عمیق تقسیم می شوند.
- آب گیرهای غیرمستقیم: از لوله های دفن شده یا چاه هایی تشکیل شده که در کنار ساحل یا کف اقیانوس ایجاد شده اند. این نوع آب گیرها خود به ۴ دسته هی چاه های عمودی، چاه های آب گیر افقی، سامانه زه کشی ساحلی و آب گیر با فیلتراسیون کف دریا تقسیم می شوند [۳۴].

۱-۵-۱-۱- آب گیرهای مستقیم

اکثر واحدهای نمک زدایی از آب گیرهای مستقیم برای برداشت آب خام استفاده می کنند، این نوع آب گیرها عموماً از یک آشغال گیر در ورودی آب گیر برای جلوگیری از ورود مواد زاید بزرگ و ماهی ها، استفاده می کنند. اندازه منافذ این آشغال گیرها بستگی به مقدار و نوع مواد معلق در آب دارد. در حال حاضر سه نوع فناوری برای این نوع آشغال گیرها موجود است:

- کلاهک های کاهنده سرعت: این کلاهک ها از یک صفحه بر روی لوله عموی که از کف دریا خارج شده، تشکیل شده است که با تبدیل جریان عمودی آب اطراف لوله آب گیر به جریان افقی، سرعت در آب گیر را کاهش می دهد و تا حدود زیادی از ورود جانوران دریایی جلوگیری می کند [۳۵].
- آشغال گیرهای متحرک: این نوع آشغال گیرها از صفحات مشبك فلزی تشکیل شده است که حول دو قرقه محرك و هادی می چرخد و مانع از ورود مواد زاید معلق به آب گیر می شود [۳۵].
- آشغال گیرهای مشبك استوانه ای: این آشغال گیرها طوری طراحی شده اند که قادر به آب گیری حجم زیادی از آب با سرعت کم هستند. اندازه منافذ این آشغال گیرها حدود ۰/۵ تا ۱۰ میلی متر است و توانایی بالایی در کاهش مواد زاید معلق در آب ورودی دارند [۳۵].

۱-۱-۱-۱- 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].

۱-۱-۱-۲- آب‌گیرهای مستقیم- عمیق

این آب‌گیرها معمول‌ترین نوع آب‌گیر برای سامانه‌های نمک‌زدایی و به شکل خطوط لوله نصب شده 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].

۱-۱-۱-۳- آب‌گیرهای غیرمستقیم

در مواردی که به‌دلیل 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].

۱-۱-۲- 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 مشبك 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].

۱-۱-۲- چاه‌های آب‌گیر افقی

چاه‌های آب‌گیر افقی نزدیک به یک قرن است که به عنوان 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].

چاه های جمع کننده افقی برای پروژه هایی که دارای سواحل پایدار ماسه ای شنی می باشند، گزینه هی بسیار مناسبی هستند. هنگامی که چاه هایی با ظرفیت بالا مورد نیاز است، تعدادی چاه باید به صورت پشتیبان در نظر گرفته شود تا هنگامی که چاه های دیگر تعمیر می شوند از آن ها استفاده گردد [۴۱].

۱-۵-۲-۳- آب گیرهای زه کش ساحلی

آب گیرهای ساحلی شامل ساخت و طراحی فیلتر مصنوعی در زیر صفحه جزر و مدى ساحل است. این آب گیرها از آنجا که با انرژی مکانیکی موج ها به صورت پیوسته تمیز می شوند، گزینه با دوامی هستند. عملکرد این روش آب گیری به جز از نقطه نظر خودشویی، مشابه فیلتر شنی سریع است. ساحل هایی با حداقل ۳ متر ضخامت ماسه غیرمتراکم و پایداری قابل قبول می توانند گزینه مناسبی برای ساخت این نوع آب گیرها محسوب شوند [۳۵]. پیش از طراحی این گونه آب گیرها، باید مطالعات اقیانوس شناسی و حوزه های آبی زیرزمینی انجام گیرد [۳۶].

۱-۵-۲-۴- آب گیر با فیلتراسیون کف دریا

آب گیری به روش فیلتراسیون کف دریا بسیار مشابه آب گیر ساحلی است اما از لحاظ روش خودشویی متفاوت است. در این آب گیرها یک سامانه فیلتراسیون بر بستر دریا، دورتر از خط ساحل که مشابه فیلتراسیون ماسه ای کند در تصفیه خانه های آب عمل می کنند، ساخته می شود [۳۵ و ۴۲]. این نوع آب گیرها احتیاج به آزمایش های میدانی خاص برای پی بردن به ویژگی های حوزه آب گیر ندارد. با این حال بررسی های دریایی و اقیانوس شناسی شامل بررسی تاریخچه طوفان ها، بررسی اطلاعات مربوط به محدوده جزرومدمی، بررسی جانوران کف دریا و بررسی میزان تهشیینی برای ساختن این نوع آب گیرها نیاز است [۳۸].

۱-۵-۳- مقایسه اقتصادی آب گیرهای مستقیم با غیرمستقیم

در تمامی فرایندهای نمک زدایی، آب خام قبل از ورود به فرایند اصلی باید پیش تصفیه و فیلتر شود. استفاده از آب گیرهای غیرمستقیم می تواند عمل اتمام فرایندهای پیش فیلتراسیون را حذف کند زیرا این نوع آب گیرها فرایندهای فیلتراسیون را نیز در بر می گیرند. بر اساس داده های جمع آوری شده از پروژه های مختلف، هزینه سرمایه گذاری در آب گیرهای غیرمستقیم می تواند تا ۲ برابر بیشتر از آب گیرهای مستقیم باشد. البته هزینه آب گیری بعضی پروژه ها که از آب گیرهای مستقیم استفاده می کنند، به دلایلی (از جمله مسافت طولانی لوله گذاری در بستر دریا)، از آب گیرهای غیرمستقیم به طور قابل ملاحظه ای بیشتر می شود. از طرفی وقتی از یک آب گیر غیرمستقیم استفاده می شود، بسته به طراحی سیستم پیش تصفیه، هزینه بهره برداری کلی سامانه می تواند ۱۰ تا ۳۰ درصد کمتر از سامانه با آب گیر مستقیم باشد. بنابراین، هزینه های سرمایه گذاری اضافه شده احتمالی برای طراحی و ساخت آب گیرهای غیرمستقیم با هزینه کاسته شده از فرایندهای پیش تصفیه و عملیات بهره برداری جبران می شود [۴۳].

۱-۵-۴- مزايا و معایب آب‌گيرهای مستقیم و غیرمستقیم

در جدول (۱-۴) تعدادی از مزايا و معایب اين دو روش آب‌گيری به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۱-۴- مزايا و معایب آب‌گيرهای مستقیم و غیرمستقیم [۴۴]

نوع آب‌گير	معایب	مزايا
مستقیم	کیفیت پایین‌تر و متغیر آب احتیاج به تجهیزات پیش‌تصفیه گران قیمت	جریان با ظرفیت بالا 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
	آسیب پذیری نسبت به جذر و مد	
غیرمستقیم	حدودیت از لحاظ ظرفیت آب‌گيری (به جز موارد استفاده از چاه‌های چندگانه یا چاه‌های جمع‌کننده افقی)	کیفیت آب بهتر و پایدار‌تر به طور کلی نیاز کم‌تر به تجهیزات پیش‌تصفیه
	ریسک بالاتر برای ظرفیت جریان ناکافی	از لحاظ تجهیزات پیش‌تصفیه سرمایه‌گذاری کم‌تر از لحاظ انرژی و مواد شیمیایی هزینه‌های بهره‌برداری کم‌تر
	وابستگی جدی به ملاحظات هیدرولوژیکی	اثرات مخرب زیست‌محیطی کم‌تر در حین بهره‌برداری (به غیر از اثرات ظاهری بر محیط زیست)
	سرعت اولیه پایین در برداشت پیچیدگی در ساخت نگهداری مشکل (فرسایش تا بسته شدن)	فراهم کردن انعطاف‌پذیری بیش‌تر در حین بهره‌برداری

۱-۵-۲- آب‌گيری از دریاچه‌ها

تجهیزات آب‌گير در دریاچه‌ها در صورتی که میزان رسوب گذاري پایین باشد، می‌تواند در بستر آب قرار گيرد. يك لوله ساده با تکيه‌گاه فونداسیون که در زیر سطح آب دریاچه با سطح پایدار پیش می‌رود يك طرح مناسب آب‌گيری برای اين نوع منابع آب محسوب می‌شود. انتهای تاسیسات آب‌گير به منظور جلوگیری از ورود آشغال‌ها و ماهی‌ها همواره باید آشغال‌گير داشته باشد. در طراحی و به کارگیری آب‌گيرها در اين نوع منابع آب باید موارد زير را مدنظر قرار گيرد:

- خطر فرسایش بیولوژیکی آب‌گير توسط گیاهان و جانوران آبزی
 - غلظت رسوبات معلق در عمق‌های مختلف در ستون آب و تغییرات فصلی در غلظت [۴۰]
- انواع ديگر آب‌گيرها برای دریاچه‌ها عبارتند از آب‌گير شناور، برج آب‌گيربا برداشت انتخابی از عمق‌های مختلف و آب‌گير غیرمستقیم که مشابه آب‌گيری از دریا است.

۱-۵-۳- عوامل موثر در تعیین نوع آب‌گير

عوامل اساسی در تعیین نوع آب‌گير، میزان برداشت آب و تغییرات آن در فصول مختلف در دوره بهره‌برداری است. اما عوامل بيرونی شرایط و امكاناتی است که هریک از آن‌ها در طی زمان بنا بر عوامل پیچیده دیگری تغییرمی‌کند. طرح ساختمان آب‌گير 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 وجهت سرعت جریان، شب 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.

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].

٢ فصل

انتخاب پیش‌تصفیه مناسب

۱-۲- کلیات

نمکزدایی روشی مناسب و قابل اعتماد برای تولید آب آشامیدنی است. حداکثر مجاز TDS آب ورودی به واحدهای نمکزدایی 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 نمکزدایی، روش‌های پیش‌تصفیه، دفع پساب و بازیابی کیفیت محصول را تعیین می‌کند [۴۵].

روش‌های مختلف نمکزدایی را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی بررسی نمود که متدالوی ترین تقسیم‌بندی بر اساس نوع عملکرد سامانه شامل فرایندهای حرارتی و غشایی است. فرایندهای نمکزدایی حرارتی دارای قدمتی نزدیک به ۶۰ سال و فرایندهای نمکزدایی غشایی قدمتی در حدود ۴۰ سال دارند [۴].

روش‌های متدالوی نمکزدایی حرارتی شامل روش‌های تقطیر به روش «تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای» (MSF)، «تقطیر چند مرحله‌ای» (MED) و تقطیر به روش «تراکم بخار» (VC) 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 میان، به آب شیرین تبدیل می‌گردد [۴]. در سال‌های اخیر پیشرفت جدی در سامانه MED و انرژی مصرفی کمتر آن در مقایسه با MSF استفاده از این روش را بیشتر کرده است.

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

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

فناوری‌های نمکزدایی غشایی شامل اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز هستند. در فرآیند الکترودیالیز از خاصیت انتخابی غشا نسبت به بار یون‌ها برای حذف نمک‌ها استفاده می‌شود. به طور معمول، از این روش برای نمکزدایی آب‌های لب‌شور استفاده می‌شود [۴].

نانوفیلتراسیون به تنها یک نمی‌تواند غلظت نمک آب دریا را به حد استانداردهای آب آشامیدنی کاهش دهد. اما این روش به طور موفقیت‌آمیزی برای تصفیه آب‌های لب‌شور و سخت به کار گرفته شده است. به طور کلی این روش برای حذف

1- Multi-Stage Flash (MSF)

2- Multi Effect Distillation (MED)

3- Vapor Compression (VC)

یون های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم که منجر به سختی آب می شود و همچنین مواد معدنی محلول استفاده می گردد.

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

۲-۲- کیفیت منابع آب خام

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

۱-۲-۱- آب سطحی

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

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

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

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

۲-۲-۲- آب زیرزمینی

منابع آب زیرزمینی سفره‌های طبیعی نمک و یا آب‌های زیرزمینی هستند که به‌دلیل نفوذ آب دریا و یا تاثیرات اسمز در تماس با طبیعت (آبیاری، استعمال مفرط) شور شده‌اند. آب‌های زیرزمینی محدوده گسترده‌ای از TDS (۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰) 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]. به‌دلیل شوری پایین این آب‌ها، در فرآیند تصفیه از روش‌های حرارتی استفاده نمی‌شود.

آلینده‌ها به‌طور طبیعی و یا در نتیجه دخالت بشر در منبع‌های آبی وجود دارند. آلینده‌هایی مانند فلزات سنگین، بور، نوکلوئیدها، 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 آلینده‌ها در داخل جریان تغییض شده باقی می‌مانند و قبل از دفع باید تصفیه شوند [۴۸].

۳-۲- محدودیت‌های آب ورودی به سامانه‌های نمک‌زدایی

سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی به‌دلیل وابستگی بسیار کم به شرایط آب ورودی، نسبت به سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی مقاومت بالاتری در برابر تغییر مشخصات آب ورودی داشته و به پیش‌تصفیه کمتری نیاز دارند. پیش‌تصفیه مورد نیاز برای سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی عموماً شامل آشغال‌گیری، تزریق و حذف مواد گندزدا، ضدرسوب و ضدکف است. همچنین در این سامانه‌ها، حوضچه آب‌گیر زمانی برای تهنشینی عوامل تولید دورت آب فراهم می‌نماید. مواردی مانند عوامل جلبکی و کشنند 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 پیش‌تصفیه این سامانه‌ها شامل مراحل متعددی است. محدودیت‌های آب ورودی به سامانه اسمز معکوس به عنوان یکی از حساس‌ترین سامانه‌های نمک‌زدایی غشایی در جدول (۱-۲) آمده است.

سامانه‌های نمک‌زدایی حرارتی حساسیت چندانی در برابر تغییرات فصلی ندارند. البته تغییرات دمایی در طول سال موجب می‌شود تا تمهدیات خاصی اندیشه 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 ۲-۱- محدودیت های آب ورودی به سامانه های اسمز معکوس [۵۱ و ۵۲ و ۱۹]

توضیح	مقدار	واحد	پارامتر
	۴۰ تا ۱۰	°C	دما
	۱۲ تا ۲		pH
کمتر از ۳ بهتر است	کمتر از ۵		SDI
بهترین مقدار $0/3$ است. بر میزان تزریق ضد رسوب موثر است.	کمتر از $2/3$		LSI
کمتر از صفر بهتر است. بر میزان تزریق ضد رسوب موثر است.	کمتر از $1/8$		S&DSI
کمتر از ۱ بهتر است	کمتر از ۴		MFI
	کمتر مساوی ۱	NTU	کدورت
	کمتر از $1/1$	ppm	کلر آزاد
	کمتر از ۴	ppm	آهن دو ظرفیتی
	کمتر از $0/05$	ppm	آهن سه ظرفیتی
	کمتر از $0/05$	ppm	منگنز
	کمتر از $0/001$	ppm	باریم
	کمتر از ۱	ppm	استرانسیم
	کمتر از $0/05$	ppm	آلومینیوم
در حضور مقدار زیاد کلسیم	کمتر از $1/1$	ppm	فلوراید
بسته به دما و pH، در آب تخلیط شده کمتر از ۱۲۰ باشد.	کمتر از ۱	ppm	سیلیس
	کمتر از $1/1$	ppm	H2S
	کمتر از ۳	ppm	TOC
کمتر از $0/05$ بهتر است	کمتر از $0/01$	ppm	AOC
	کمتر از ۱۰	ppm	COD
	کمتر از $1/1$	ppm	Oil and Grease

۴-۲- کنترل گرفتگی و رسوب گذاری

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

۱-۴-۲- روش‌های شیمیایی

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

۱-۴-۲- 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].

۲-۱-۴-۲- 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. در حالی که 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].

در صورتی که کیفیت آب ورودی به‌گونه‌ای باشد که نیاز به لخته‌سازی و تهشیین 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 هرکدام 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 تهشیینی 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.

۲-۱-۴-۲- 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 خوش‌های یونی و از بین بردن نظم هسته و ساختار کریستالی موثر هستند [۴۸ و ۵۳]. انتخاب ضدرسوب 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

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

۴-۱-۵- گندزدایی

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

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

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

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

۲/۲۳	فلورین	۱/۱۷	اسید هیپوبرومیک
۲/۰۶	رادیکال هیدروکسیل	۱/۱۵	دی اکسید کلرین
۱/۷۸	اکسیژن اتمی	۱/۱۰	اسید هیپوکلروسیک
۱/۵۲	ازن	۱/۰۷	اسید هیپویودوسیک
۱/۳۱	پراکسید هیدروژن	۱/۰۰	کلرین
۱/۲۵	رادیکال پرهیدروکسیل	۰/۸۰	برومین
۱/۲۴	پرمنگنات	۰/۵۴	یودین

۱-۴-۵-۱- کلر

کلر ماده شیمیایی منحصر به فردی است که خواص شیمیایی آن در حالات مختلف گازی، مایع (هیپوکلریت سدیم) و جامد (هیپوکلریت کلسیم) بسیار متفاوت است. گاز کلر بوی زننده و خورنده شدید در برایر فلزات و ماشین آلات 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 متدائل ترین نوع کلر مصرفی برای گندزدایی کلر جامد یا همان هیپوکلریت کلسیم باشد.

مقررات اداره بهداشت و امنیت شغلی ایالات متحده (OSHA)^۱ برای گاز کلر در غلظت بالای ۱ میلی‌گرم 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].

۴-۱-۲-۵- ازن

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

۴-۱-۳-۵- اشعه فرابنفش (UV)

برخلاف سایر روش‌های شیمیایی، اشعه فرابنفش با ریزجاذaran واکنش شیمیایی نمی‌دهد؛ بلکه اشعه جذب شده، مواد مولکولی ضروری برای عامل سلولی را تغییر می‌دهد. تابش پرتو فرابنفش در اسید نوکلئیک میکروب‌ها تغییرات شیمیایی ایجاد می‌کند. این تغییرات مانع تکثیر سلولی و تولید مثل آن‌ها می‌شود. مقدار تخریب ایجاد شده توسط پرتو فرابنفش و در نتیجه میزان تاثیر فرایند میکروب‌کشی با شدت نور و مدت مجاورت با تابش متناسب است. پرتو فرابنفش علیه کلیه ریزجاذaran شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها، کپک‌ها، مخمرها و جلبک‌ها در آب و هوا و سطوح موثر است. طبق دسته‌بندی کمیسیون بین‌المللی روشنایی، تنها فرابنفش با طول موج کوتاه (UV-C) که در محدوده طول موج ۱۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر است خاصیت میکروب‌کشی شدید دارد. بیشترین کارایی آن در طول موج ۲۵۰ تا ۲۶۰ نانومتر است. پیش‌نویس استاندارد ایزو در خصوص تابش‌های خورشیدی (ISO-DIS-21348) در جدول (پ.۲-۸) پیوست شماره ۲ آمده است.

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

1- Occupational Safety & Health Administration (OSHA)

2- Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH)

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

4- Chlorosulfonated Polyethylene (CSPE)

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

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

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

۴-۱-۶- حذف اکسید کننده ها

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

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

جدول های (پ.۲-۹) تا (پ.۲-۱۲) از پیوست شماره ۲ حداقل مقدار مجاز و مقدار مطلوب گندزداهای 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 می دهد.

۴-۱-۷- سختی گیر تبادل یونی

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

۲-۴-۲- روش‌های فیزیکی

روش‌های فیزیکی شامل تهشین‌سازی و شناوری و استفاده از انواع فیلترها است.

۲-۴-۲-۱- تهشین‌سازی و شناوری

زمانی که کدورت متوسط روزانه منبع آب ورودی به غشا بیش‌تر از 30 NTU باشد و یا با کدورت 50 NTU یا بیش‌تر برای مدت یک ساعت مواجه شویم، از تهشین‌سازی استفاده می‌شود. به‌منظور حذف آلاینده‌های کوچک شناور مانند روغن، سلول‌های جلبکی، گریس یا سایر آلاینده‌ها که به خوبی توسط تهشین‌سازی و یا فیلتراسیون حذف نمی‌شوند، از فناوری شناورسازی با هوا محلول استفاده می‌شود. در این روش کدورت به کمتر از 0.5 NTU می‌رسد [۶۳].

۲-۴-۲-۲- فیلترها

۲-۴-۲-۱- فیلتر کیسه‌ای

فیلترهای کیسه‌ای برای حذف ذرات در محدوده ۵ تا 1000 میکرون کاربرد دارند [۶۴].

۲-۴-۲-۲- فیلتر دانه‌ای

فیلترهای دانه‌ای شامل مواد مانند ماسه سیلیسی، آنتراسیت و گارنت است. فیلترهای دانه‌ای در بهترین شرایط SDI آب ورودی را به مقدار ۳ کاهش می‌دهند. کدورت جریان خروجی از این نوع فیلترها حدود ۱ تا 5 NTU است [۶۵].

۲-۴-۲-۳- دیسک فیلتر

فیلترهای دیسکی به عنوان جایگزین فیلترهای دانه‌ای پیشنهاد می‌شوند که دارای مزایای قابل توجهی نسبت به روش‌های سنتی هستند. این فیلترها نسبت به فیلترهای شنی فضای کمتری اشغال می‌کنند و از سرعت فیلتراسیون بالاتری برخوردار هستند. این فیلترها، شستشوی معکوس بسیار ساده‌تر و کم هزینه‌تری دارند و آب مصرفی برای شستشوی معکوس آن‌ها به مراتب کمتر است. این فیلترها نیازی به دستگاه آماده به کار^۱ ندارند.

۲-۴-۲-۴- 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 کلرآمین‌ها 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 اکسید کننده های قوی به سطح غشای اسمز معکوس به عنوان پیش تصفیه اسمز معکوس می توان از کربن فعال استفاده کرد [۶۵].

۲-۲-۵- کارتريج فیلتر (میکرو فیلتر)

کارتريج فیلتر به عنوان آخرین مرحله پیش تصفیه سامانه های اسمز معکوس به کار برده می شود و ذرات کوچک تری (که از فیلتر دانه ای عبور کرده است) را حذف می نماید. اندازه منافذ کارتريج فیلترها معمولاً ۱ تا ۲۰ میکرون است که در سامانه های اسمز معکوس عمدتاً از نوع ۵ میکرون آن استفاده می شود [۶۶ و ۶۷]. کارتريج های مورد استفاده در پیش تصفیه سامانه های نمک زدایی معمولاً از جنس نایلون یا پروپیلن هستند و هزینه پایینی دارند [۶۸].

۲-۴-۳- گاز زدایی

با توجه به عدم توان حذف گازها در روش های مختلف نمک زدایی و تاثیر آن ها بر خصوصیات آب مانند pH می توان از گاز زدا استفاده نمود. در واحدهای حرارتی به منظور جلوگیری از افت ضرایب انتقال حرارت ناشی از تمرکز گازها در سطوح انتقال حرارت، با استفاده از اجکتورها یا پمپ های خلا می توان این گازها را تخلیه نمود. اما در سامانه های غشایی مهم ترین مشکل، کاهش pH ناشی از حضور دی اکسید کربن است که با استفاده گاز زدا و حذف آن اصلاح می شود. استفاده از گاز زدا در شرایطی اتفاق می افتد که امکان تزریق سود جهت افزایش pH نباشد. افزایش pH گاز دی اکسید کربن را به بی کربنات تبدیل می کند که سامانه غشایی آن را حذف خواهد کرد [۶۹].

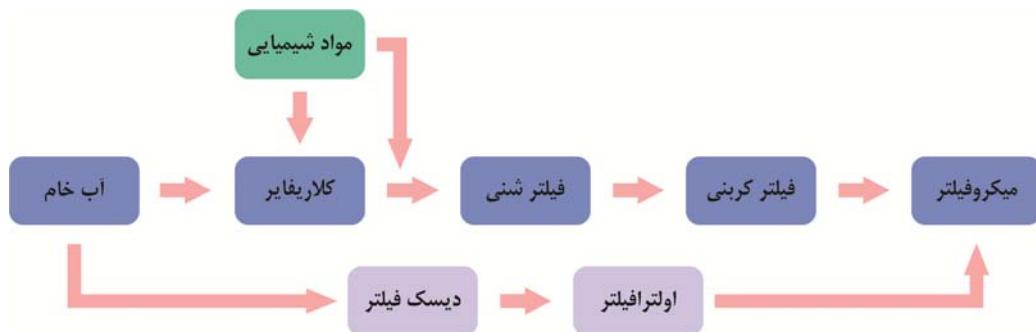
۲-۴-۴- روش های پیش تصفیه نوین

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

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

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

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



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

۵-۲- جمع بندی

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

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

سایر اکسید کننده ها / خودگی	گرفتگی			رسوب گذاری									محدودیت ظرفیت (مترمکعب بر روز)			نوع پیش تصفیه
روغن و چربی	مواد آلی	میکروگلیسم ها	SDI	LSI/S&DSI	Al	Fe / Mn	SiO ₂	CaF ₂	SrSO ₄	CaSO ₄	CaCO ₃	پیش تراز ۱۰۰۰	پیش تراز ۱۰۰	کم تراز ۱۰۰		
	○	●			○	○						✓	✓	✓	گندزدایی	
	●		●									✓	✓		تهنشین سازی	
	●		●		○	○	○					✓	✓		منعقد کننده و لخته ساز	
	●	●	○		○	○						✓	✓		هواده هی	

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

سایر	گرفتگی	رسوب‌گذاری								محدودیت ظرفیت (مترمکعب بر روز)			نوع پیش تصفیه			
		CaSO ₄	CaCO ₃	CaF ₂	SrSO ₄	BaSO ₄	SiO ₂	Al	Fe / Mn	SDI	LSI / S&DSI	میکروگایرسیمها	آب موارد آبی	روغن و چربی	اکسیدکنندها / خودگی	
●	○	○	○	●	○	○	●	○	○	●	●	●	✓	✓	✓	سختی گیری با آهک
	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	●	✓	✓	✓	اسیدزنی
●	○											✓	✓	✓	حذف اکسیدکننده‌ها	
	○	○	○	●	●	●	●	●	●	○	○	✓	✓	✓	ضدرسوب	
○	○		●									✓	✓	✓	فیلتراسیون اکسایشی	
		●					●	●	●	●	●	●	✓	✓	✓	سختی گیر رزینی*
	○	○	○	○	○	○								✓	✓	فیلتر کیسه‌ای
	○	○	○	○	○	○							✓	✓	✓	مدیافیلتر
●	●	●											✓	✓	✓	کربن فعال
	○	○	○	○	○	○						✓	✓	✓	دیسک فیلتر	
○	●	●	○	○	○	○						✓	✓	✓	اولترافیلتر	
	○	○	○	○	○	○						✓	✓	✓	کارتريج فیلتر	
		○			●	○	○	○	○	○	○	○	✓	✓	✓	تنظیم پارامترهای عملیاتی

●: موثر ○: ممکن

* از سختی گیر رزینی برای پیش تصفیه آب دریا استفاده نمی‌شود. سایر روشهای برای تمام منبعهای آب قابل استفاده است.

٣ فصل

انتخاب فناوری نمکزدایی مناسب

۱-۳- کلیات

یکی از راههای متدالوی 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.

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 به کارگیری آن‌ها برای آب‌های لبشور اقتصادی نیست. همچنین آب تولیدی این روش‌ها کیفیت بسیار بالایی دارد و در رده آب‌های مقتدر یا بدون املح 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 $\frac{87}{3}$ و $\frac{12}{5}$ درصد از بازار این سه فرآیند را به خود اختصاص داده است. روش‌های دیگر حرارتی مانند حوضچه خورشیدی، رطوبت‌زنی - رطوبت‌زدایی و منجمدسازی به صورت صنعتی رایج نبوده و به صورت آزمایشگاهی و در مقیاس‌های محدود ساخته می‌شوند [۶۹]. اغلب، فرایندهای MED و MSF در کنار نیروگاه‌ها به کار 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 به دست آورد. ولی در روش تراکم بخار مکانیکی (MVC)^۱ به توان الکتریکی به عنوان انرژی محرک فرآیند نیاز است.

۲-۱- فرایندهای غشایی

فناوری‌های نمکزدایی غشایی بر اساس توانایی غشاها 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

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

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

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

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

اگر چه نانوفیلتراسیون و الکترودیالیز یا الکترودیالیز معکوس شونده نیز فناوری های توسعه یافته هستند و می توانند برای 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 یون های دو ظرفیتی و پایین بودن توان حذف یون های یک ظرفیتی برای تولید آب شرب از آب دریا مورد توجه قرار نمی گیرد. غشا های نانوفیلتر درصد بیشتری (تا بیش از ۹۷ درصد) از یون های دو ظرفیتی را حذف می کند اما توان حذف یون های تک ظرفیتی در آن ها محدود است (حدود ۴۰ تا ۹۵ درصد). از سامانه های نانوفیلتراسیون در کاهش سختی قبل از سامانه های اسمز معکوس آب دریا و سامانه های

1- Electro Dialysis (ED)

2- Electro Dialysis Reversal (EDR)

3- Forward Osmosis (FO)

4- Seawater Reverse Osmosis (SWRO)

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].

بakterی‌ها، مواد غیر محلول، 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].

۲-۳- تشریح نحوه عملکرد

۲-۳-۱- 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].

۲-۳-۲- نانوفیلتراسیون

نانوفیلتراسیون معمولاً برای نرم کردن آب و حذف محصولات جانبی فرایند گندزدایی مثل مواد آلی محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد. نانوفیلتراسیون معمولاً 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 غشاها می‌توان در نمکزدایی آب‌های لب‌شور استفاده کرد.

نانوفیلتراسیون از غشاها نیمه‌تراوا است و از نیروی محرکه فشار هیدرولیکی استفاده می‌کند؛ با این وجود، در مقایسه با اسمز معکوس، غشاها نانو، مواد با وزن ملکولی بزرگ‌تر را، راحت‌تر عبور می‌دهند. غشاها 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).

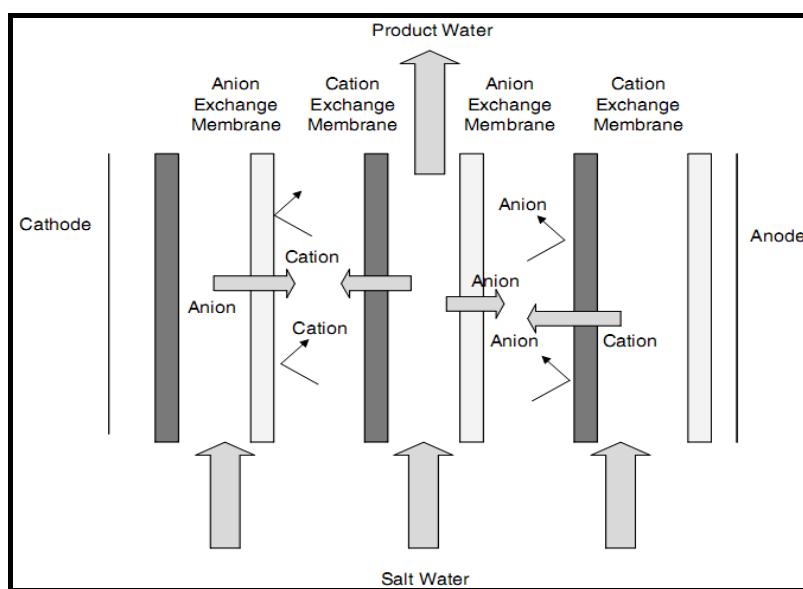
به علت اینکه غلظت بالایی از یون‌های تک ظرفیتی می‌توانند از غشاها نانوفیلتر عبور کنند، فشار هیدرولیک مورد نیاز آن‌ها کمتر از سامانه‌های اسمز معکوس است. وجود این مساله هم‌زمان با لایه‌های غشایی با تراوایی بالا، فشار هیدرولیکی مورد نیاز را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد [۶۹].

۲-۳-۳- الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده

فرایندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده 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 معکوس شونده از

پتانسیل الکتریکی برای بیرون کشیدن یون های محلول از بین یک سری از غشاها (غشاها کاتیونی و غشاها آنیونی) استفاده می کنند و آب یون زدایی شده در بین غشاها حرکت می کند و در نهایت بازیابی می شود. فرایند الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده قادر به حذف پاتوژن ها و مواد معلق بدون بار نیستند و بنابراین نقشی در فرایند گندزدایی و حذف کدورت ندارند. [۶۹ و ۷۴].

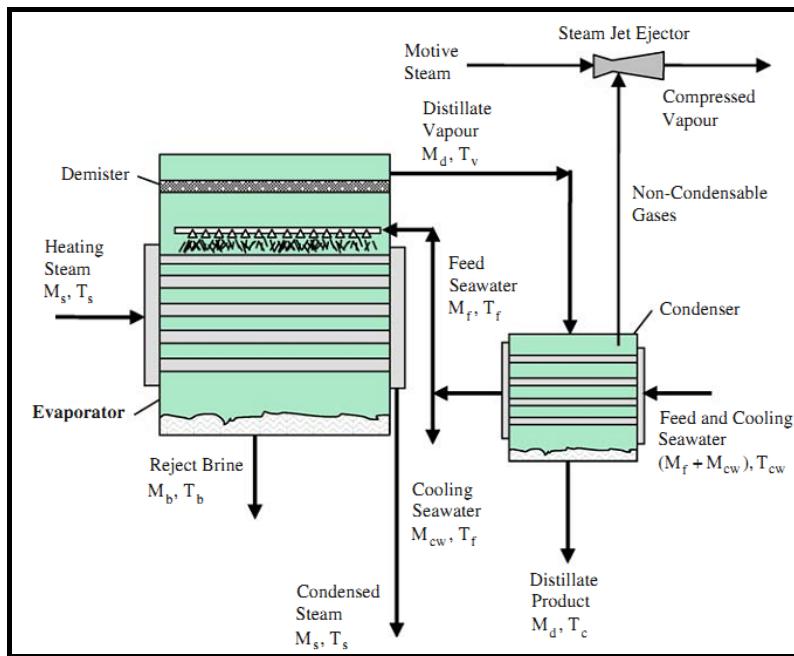
فرایندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده معمولا برای نمکزدایی آب دریا به کار نمی روند زیرا در غلظت های بالای نمک، مصرف برق بسیار بالایی دارند و نسبت به دیگر انواع فناوری های نمکزدایی غشایی کارایی کمتری دارند [۷۵]. شکل (۱-۳) اساس کار فرایند الکترودیالیز را نشان می دهد.



شکل ۱-۳- اساس کار فرایند الکترودیالیز

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

سامانه MED بر اساس فرایندهای تقطیر یک مرحله‌ای طراحی می شود. همان طور که در شکل (۲-۳) مشاهده می شود آب تغذیه وارد کندانسور شده و با جذب انرژی بخار علاوه بر تقطیر نمودن بخار، پیش گرم می شود. قسمتی از آب خروجی از کندانسور که برای تقطیر بخار در کندانسور در فصول گرم وارد سامانه می گردد، به دریا بازگردانده می شود [۷۶].



شکل ۲-۳- سامانه نمکزدایی تقطیری تک مرحله‌ای [۶۹]

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

گازهای غیر قابل چگالش باید از بخار جدا شود. زیرا حضور این گازها منجر به کاهش انتقال حرارت بین بخار و آب تغذیه در چگالنده و تبخیرکننده‌ها می‌شود. همچنین حضور این گازها سبب کاهش فشار جزیی بخار آب شده و در نتیجه عمل چگالش در دمای کمتری اتفاق می‌افتد. این پدیده بهدلیل کاهش اختلاف دمای بین بخار و آب تغذیه ورودی، منجر به کاهش بازده شده و همچنین منجر به کاهش دمای آب تغذیه پیش‌گرم 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 تبخیر کننده استفاده می‌شود. در این روش از بخار تولید شده در مرحله قبل به عنوان تبخیرکننده آب تغذیه در مرحله بعدی استفاده می‌شود. با استفاده از این روش نسبت بهره‌وری (GOR)^۱ سامانه تا چند برابر افزایش می‌یابد.

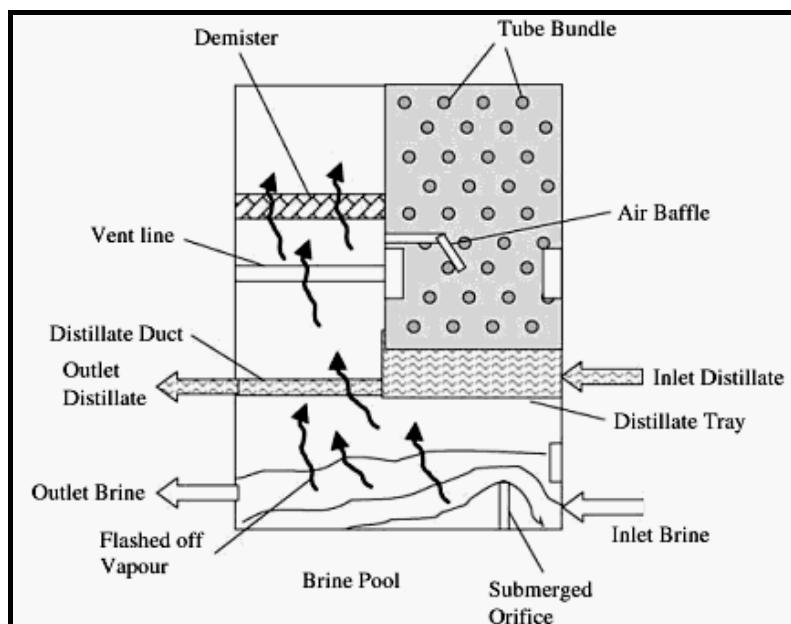
سامانه‌های نمکزدایی تقطیر چند مرحله‌ای بر اساس مسیر آب تغذیه هر مرحله، به سه دسته تقطیر با خوراک موازی، تقطیر با خوراک پیش‌رو و تقطیر با خوراک پس‌رو تقسیم می‌شوند.

1- Gain Output Ratio (GOR)

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 بدلیل عدم تماس آب شور با سطوح بیرونی لوله‌های تبخیرکننده از تشکیل رسوب جلوگیری می‌شود.

مقطعی از سامانه نمکزدایی MSF در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. آب ورودی با بخار حاصل از فرآیند تبخیر پیش‌گرم می‌شود. آب پیش‌گرم 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 می‌تواندیک مسیره یا چرخشی باشد.



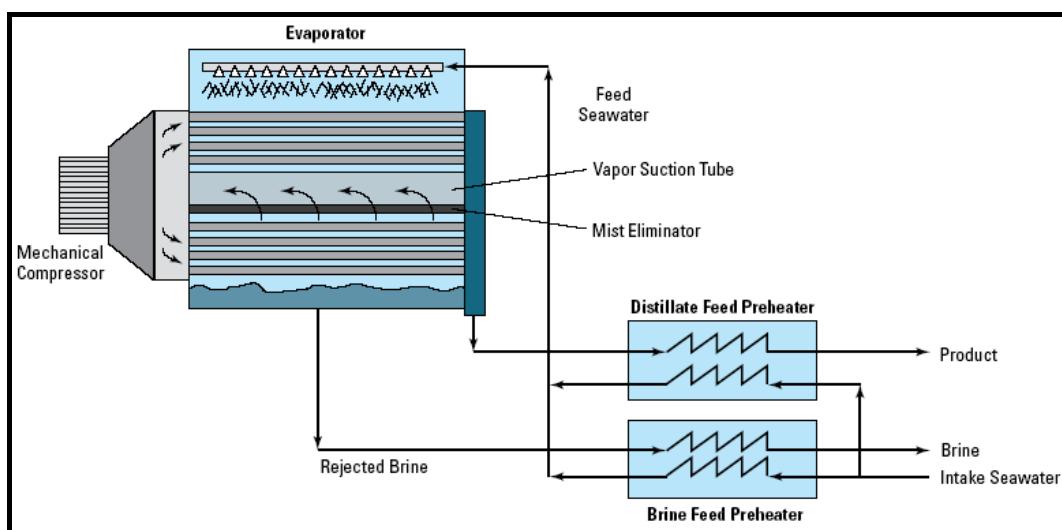
شکل ۳-۳- یک مقطع از محفظه تبخیر ناگهانی [۶۹]

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 به طور مستقیم به کندانسور برای چگالش منتقل نمی‌شود و بخشی از آن وارد کمپرسور شده و دما و فشار آن افزایش یافته و به عنوان 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)^۱ 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 (۴-۳) نمایی از سامانه MVC را نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- 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 کارتريج 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، الکترود، توری پلیمری و سل‌ها هستند.

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

1- Thermal Vapor Compression (TVC)

۱-۱-۳-۳- سامانه های اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون

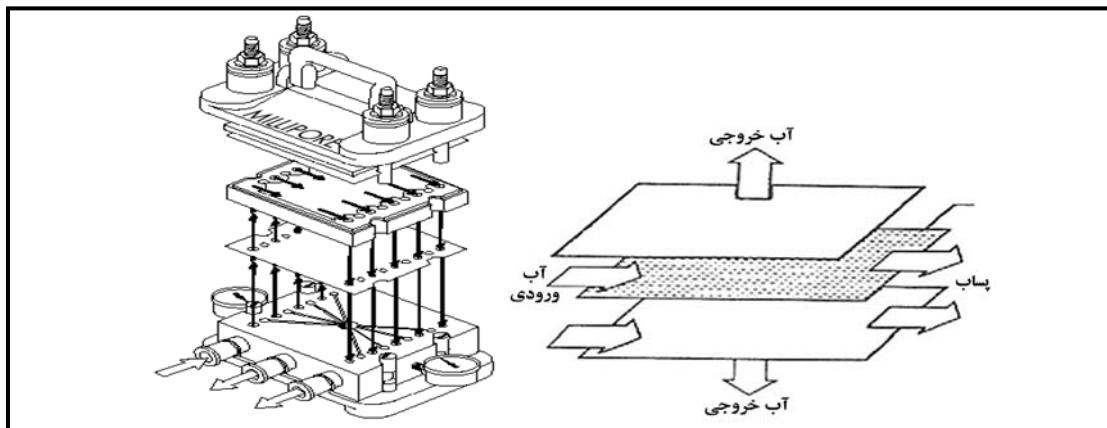
مدول های غشایی در نمک زدایی معمولا شامل غشا، محفظه تحت فشار، تجهیزات تامین فشار، لوله کشی ها، شیرآلات و ادوات کنترل فرآیند و همچنین سامانه شستشو و بازیابی غشا هستند. در ادامه به توضیح اجزای کلیدی سامانه های غشایی پرداخت شده است.

۱-۱-۳-۳- غشاها

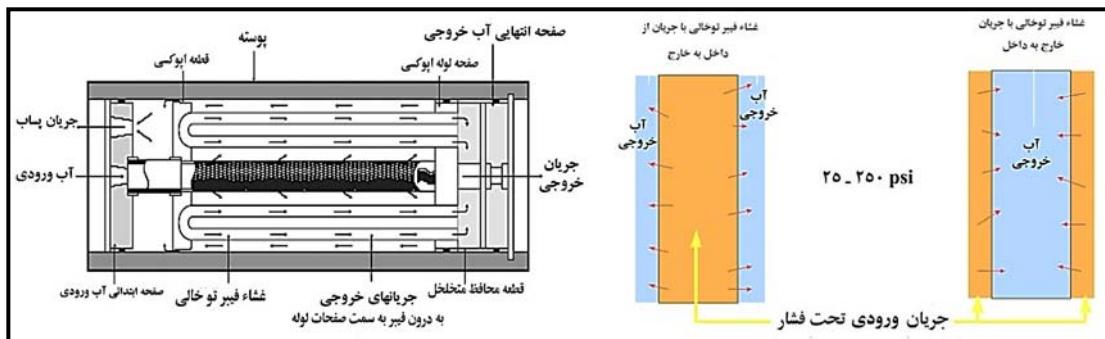
غشاها از نظر شکل غشا و محفظه فشار و جهت جریان به اشکال مختلف طراحی و ساخته می شوند که عمدترين آنها عبارتنداز:

- غشای صفحه ای
- غشای الیافی یا فیبر تو خالی
- غشای لوله ای
- غشای حلزونی

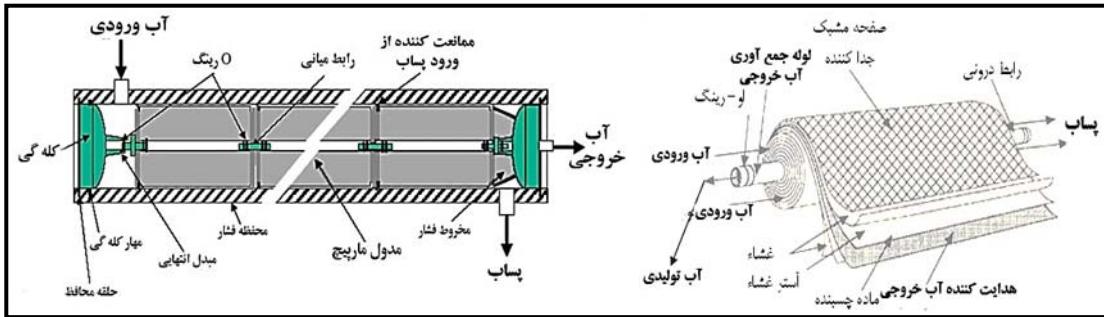
در شکل های (۵-۳) تا (۷-۳) تصویر مدول های صفحه ای، الیافی و حلزونی به همراه مکانیزم عملکرد آنها نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- مکانیزم عملکرد (راست) و اجزای مدول غشایی صفحه ای (چپ)



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



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

امروزه برای نمکزدایی آب دریا و آب لبشور بیشتر از غشای حلزونی استفاده می‌شود. سه نوع دیگر غشا بهمندرت در کاربردهای نمکزدایی دیده می‌شوند ولی در بسیاری از صنایع غذایی و کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۹]. به عنوان نمونه در طراحی المان غشای الیافی، تعداد زیادی از غشاهای الیافی در مخزن تحت فشار قرار می‌گیرند. ماده اصلی این غشاهای پلی‌آرامید یا مخلوطی از سلولز استات‌ها است. غشاهای دارای قطر خارجی حدود ۳۰۰-۱۰۰ میکرون و قطر داخلی بین ۵۰ و ۱۵۰ میکرون هستند. عموماً رشته‌ها به صورت U شکل در می‌آیند و دو انتهای آن در یک صفحه نگهدارنده از جنس اپوکسی قرار می‌گیرد. صفحه نگهدارنده نیز داخل یک مخزن تحت فشار قرار می‌گیرد. آب نمک با فشار در امتداد سطح خارجی الیاف وارد محفظه می‌شود. آب خالص، تحت فشار از دیواره‌ی رشته‌ها عبور می‌کند و داخل رشته جریان می‌یابد.

مدول‌های حلزونی در قطرهای ۲/۵، ۴، ۸، ۱۶ و ۱۸ اینچ موجود هستند و طول آن‌ها ۴۰ اینچ است. این غشاهای حدود ۲۸ تا ۱۷۲۵ فوت مربع سطح غشایی دارند. بسته به نوع آب ورودی به سامانه نمکزدایی، می‌توان از غشاهای با سطح بالاتر، درصد جداسازی بیشتر، مقاومت بالاتر در برابر گرفتگی و انرژی مصرفی کمتر بهره گرفت.

۳-۳-۱-۲-۱-۲- محفظه تحت فشار

به دلیل فشار بالای عملیات و حساسیت و صدمه‌پذیری بالای غشاهای 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. عموماً باید مخازن تحت فشاری با ۱۰ درصد تحمل بالاتر از فشار مورد نیاز انتخاب شود تا افزایش فشار ناشی از رسوب گذاری مشکلی ایجاد نکند.

طراحی نامناسب مخازن تحت فشار سبب آسیب دیدن غشاهای 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 انها^۲ هستند و امکان دسترسی و تعمیر و نگهداری را به مراتب راحت‌تر می‌سازند [۱۹].

۳-۱-۱-۳-۳- پمپ فشار قوی

تامین فشار مورد نیاز در سامانه های غشایی به عهده پمپ فشار قوی است. فشار خروجی پمپ باید طوری کنترل شود که شدت جریان مطلوب را تامین کند و نباید از حد اکثر 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 (۱-۳) آورده شده است.

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

فشار مورد نیاز (psi)	نوع غشا
۱۲۰۰ تا ۶۰۰	غشای مورد استفاده در نمکزدایی آب دریا
۱۰۰ تا ۶۰	غشای مورد استفاده در نمکزدایی آب لب‌شور

فشار عملیاتی غشاها نانوفیلتر در مقایسه با غشاها اسمز معکوس تا بیش از ۵۰ درصد کمتر است [۱۹].

۳-۱-۱-۳-۴- سامانه بازیابی انرژی

در سامانه اسمز معکوس مربوط به آب دریا، معمولاً ۵۵ تا ۶۰ درصد از آب تغذیه پرفشار، به صورت جریان آب تغليظ 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 توربو شارژر هیدرولیکی با کاربردهای مختلف موجود هستند. آب تغليظ 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 توربو شارژر، مبدل فشار و مبدل پیستونی استفاده می‌شود [۱۹].

۳-۱-۱-۳-۵- خطوط لوله و اتصالات

تامین فشار مورد نیاز در سامانه های غشایی به عهده پمپ فشار قوی است. اغلب پیشنها می‌شود 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 نیزشوند.

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 تغليظ شده به‌ویژه در محل‌های جوش باید حداقل از استیل ۳۱۶L استفاده شود. در محل‌های غیر از محل‌های جوش می‌توان از استیل ۳۱۶ استفاده کرد.

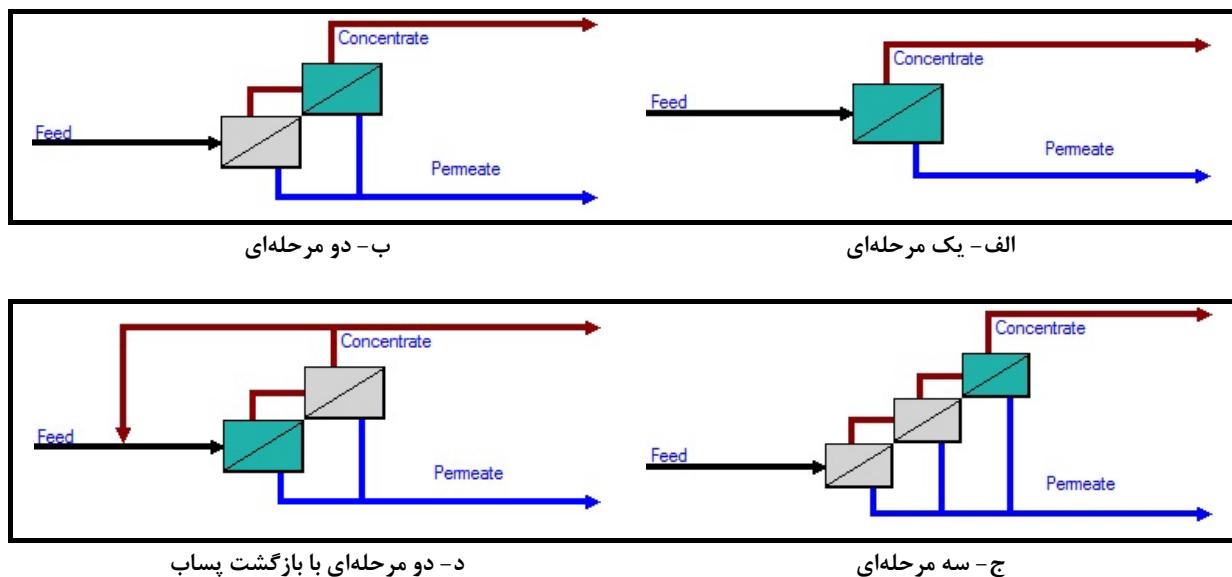
برای آب‌های با TDS بیشتر از ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در مسیر آب تغليظ شده به‌ویژه برای لوله‌ها و خم‌ها و جاهایی که درز وجود ندارد باید از آلیاژ L904 استفاده شود. اما در محل‌های درزدار مانند فلنج‌ها، شیرها و پمپ‌ها باید از

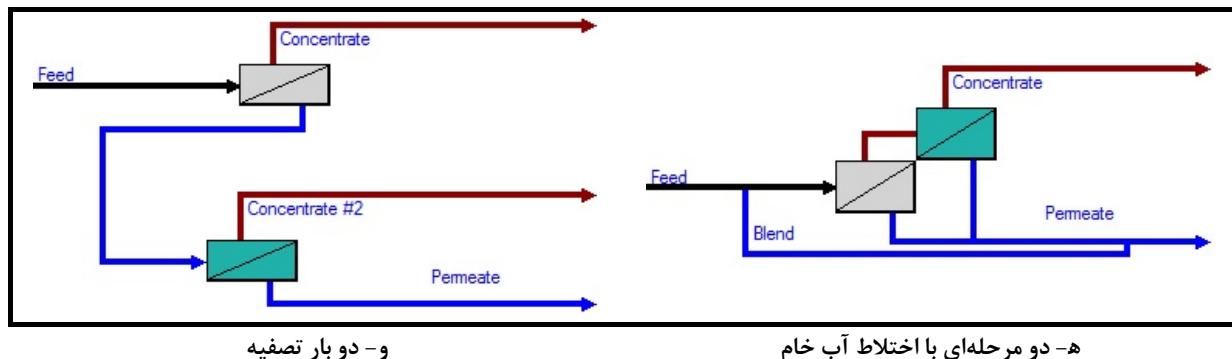
آلیاژ SMO254 یا آلیاژ مشابهی با حداقل مولیبدن ۶ درصد استفاده شود. این دو آلیاژ را می‌توان بدون بروز مشکل خوردگی گالوانیک به هم جوش داد. همچنین سنسورهای مورد استفاده در این مسیر باید پوشش داشته باشند.

طراحی خطوط لوله، سرعت سیال (حداقل ۱/۵ متر بر ثانیه) و نحوه جوش کاری نیز در بروز خوردگی موثر است [۱۹].

۳-۳-۱-۶- آرایه سامانه‌های غشایی

درجہت افزایش ظرفیت تولید، نرخ بازیافت آب و یا دستیابی به خلوص بالاتر آب تولیدی، آرایه‌های مختلفی از سامانه‌های غشایی طرح و اجرا می‌شود. شکل (۸-۳) انواع آرایه‌های متداول سامانه‌های غشایی را نشان می‌دهد.





شکل ۳-۸- انواع آرایه‌های متداول سامانه‌های غشایی

۷-۱-۱-۳-۳- شستشوی غشا

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

گرفتگی غشاها با افت تولید (۱۰ درصد)، افزایش اختلاف فشار (۱۰ تا ۱۵ درصد) و یا افزایش نمک عبوری (۵ تا ۱۰ درصد) نمایان 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 کارتريج 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.

۲-۱-۳-۳- سامانه‌های الکترودیالیز معکوس‌شونده

۱-۲-۱-۳- غشاها

غشاهای الکترودیالیز از نظر جنس، مشابه رزین‌های تعویض یونی بوده و دارای انواع کاتیونی و آنیونی هستند. غشاها با ضخامت کم و به طور معمول با ابعاد 23×25 ، 46×50 یا 100×46 سانتی‌متر ساخته می‌شوند.

در برخی از قسمت‌های داخل سامانه الکترودیالیز که اختلاف فشار وجود دارد، مانند قسمت‌هایی شامل الکترود، 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].

۲-۲-۱-۳-۳- محفظه غشای الکترودیالیز

محفظه، در برگیرنده الکترودها و غشاها بوده و ساختمان آن‌ها بر اساس طراحی می‌تواند افقی یا عمودی باشد. هر محفظه دو صفحه الکترود 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].

۳-۲-۱-۳-۳- الکترودها

در محفظه الکترودیالیز دو الکترود فلزی نیاز است که به جریان الکتریسیته DC متصل می‌شوند. الکترودها از تیتانیوم یا نیوبیوم با پوششی از 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 آمپراز جریان مصرفی بستگی دارد. هرچه غلظت کلر و آمپراز مصرفی بالاتر باشد، از طول عمر الکترود نیز کاسته می‌شود [۷۸].

۲-۳-۳- 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 پلی‌فسفونات‌ها 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 گازردا برای کنترل گازهای وارد شونده با سامانه‌ها استفاده می‌کنند.

دستگاه‌ها و تجهیزات اصلی سامانه‌های نمک‌زدایی MED عبارتند از تبخیرکننده‌ها، کندانسور، ترمومپرسور، اجکتورها، الکتروپمپ محصول، الکتروپمپ آب کندانس، الکتروپمپ پساب، شیرها، لوله‌کشی و دستگاه تزریق مواد شیمیایی.

این دستگاهها و تجهیزات در سامانه های نمک زدایی MSF شامل: مراحل^۱، مبدل پیش گرم کن، الکتروپمپ محصول، الکتروپمپ آب کندانس، الکتروپمپ پساب، الکتروپمپ باز چرخانی پساب، اجکتورها، شیرها، لوله کشی و دستگاه تزریق مواد شیمیایی هستند.

دستگاهها و تجهیزات اصلی سامانه های نمک زدایی MVC نیز شامل تبخیر کننده، کندانسور، مبدل پیش گرم کن، الکتروپمپ محصول، الکتروپمپ آب کندانس، الکتروپمپ پساب و کمپرسور مکانیکی می شوند.

مواردی که در سامانه های نمک زدایی دارای اهمیت خاص یا ملاحظات ویژه هستند عبارتند از:

- سه ردیف بالای لوله های تبخیر کننده ها در سامانه نمک زدایی MED باید از آلیاژی ساخته شود که در برابر خوردگی و سایش ناشی از پاشش آب دریا روی لوله ها مقاوم باشد. اغلب از لوله های تیتانیوم استفاده می شود. سایر لوله ها نیز از آلیاژ های بالاتر از استیل ۳۱۶L مانند آلیاژ های آلومینیوم ساخته می شوند.

- تیوب شیت ها و صفحه های نگهدارنده در سامانه نمک زدایی MED نیز معمولاً از استیل ۳۱۶L ساخته می شوند.
- بدنه داخلی محفظه های تبخیر ناگهانی در سامانه نمک زدایی MSF با فولاد ضد زنگ و مقاوم در مقابل سایش پوشش داده شود تا آشفتگی جریان دوفازی عبور کننده از اوریفیس های محفظه های تبخیر ناگهانی ایجاد خوردگی نکند.

- جنس پروانه و پوسته پمپ های پساب و محصول باید از آلیاژ آلومینیوم - بونز 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 آلیاژ های مقاوم تر باشد.

- بدنه تبخیر کننده، تیوب شیت ها و نگهدارنده ها در MVC باید از جنس استیل ۳۱۶L باشد. جنس لوله ها در این سامانه اغلب از Cu-Ni 90/10 است.

۴-۳- ملاحظات زیست محیطی سامانه های نمک زدایی

ملاحظات زیست محیطی نقش مهمی را در مراحل مختلف طراحی و اجرای پروژه های تصفیه آب بازی می کند. از زمانی که محل اجرای پروژه انتخاب و کار طراحی شروع می شود، کنترل موارد زیست محیطی نیز باید به طور همزمان انجام شود تا تاثیرات منفی اجرای پروژه بر زندگی انسان و طبیعت را در حین ساخت و اجرا به حداقل برساند. برای اجرای یک واحد جدید نمک زدایی، باید مجوزهای زیست محیطی مربوطه اخذ شود. فرایند گرفتن مجوزها بخش مهمی از کل فرایند اجرای پروژه است. در طی این فرایند، طراحان می توانند داده ها و تحلیل هایی که برای طراحی و

نظرارت 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 (۲-۳) مراحل بررسی مسایل زیستمحیطی را در یک پروژه نشان می‌دهد.

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

مسایل زیستمحیطی مربوطه	فازهای اجرای پروژه	
معیارها و ملاحظات بازدید محل برای حفاظت از منابع مختلف	انتخاب محل واحد	برنامه‌ریزی
ارزیابی واکنش‌های اولیه افراد مستقر در محل	بازتاب عمومی	
بررسی قوانین و ملاحظات زیستمحیطی منطقه	تاییدیه اولیه	
توسعه معیارهای طراحی	طراحی فنی	طراحی
ارزیابی واکنش‌ها و توسعه اقدامات کاهنده	محوزه‌ها و تاییدیه‌ها	
تعیین مجازها و استانداردهای عملیاتی در استناد مزایده یا مناقصه	استناد مزایده یا مناقصه	
بازبینی و گزارش مسایل زیستمحیطی	تجهیزات ساخت	ساختمان‌سازی
بازبینی و گزارش مسایل زیستمحیطی تداوی برآورده کردن ملزومات مجازها	تجهیزات عملیات	شروع عملیات و اجرای فرایند

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

۳-۱-۱- 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.

۳-۱-۲- 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].

۳-۲-۴- تأثیرات 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 تأثیرات به محل واحد، کیفیت منبع آب (آب تغذیه) و آب تولیدی بستگی دارد و تمامین 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 زیبایی شناختی و پس ماندهای جامد (غشا و مصالح و اجزای از رده خارج شده) از آن جمله‌اند.

ظرفیت پذیرش تغییرات زیست محیطی در مناطق کم‌آبی مانند دشت‌های مرکزی ایران بسیار محدود است و اتخاذ تمهیدات حفاظت زیست محیطی در این مناطق از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱-۲-۴-۳- برداشت آب از منبع

قبل از تصور می‌شد بزرگ‌ترین مشکل زیست محیطی 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 خوارک ورودی، تعداد زیادی از این موجودات از بین می‌روند. ساختار و تجهیزات سامانه آب‌گیری و لوله‌کشی‌ها اولین عاملی است که تعادل محیط زیست را برابر هم می‌زنند. بعد از نصب تجهیزات، ساختار آن‌ها می‌تواند مبالغه جرم و انرژی (انتقال آب و مواد معلق زنده و بی‌جان) را تحت تاثیر قرار داده و همچنین به عنوان 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].

۲-۲-۴-۳- مصرف انرژی

فناوری‌های نمک‌زدایی عموماً از انرژی حرارتی یا الکتریسیته برای جداسازی نمک از آب استفاده می‌کنند. تاثیرات زیست محیطی 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 به صورت موردنی بررسی شود [۷۱].

۳-۲-۴-۳- جربان پساب

پسماندهای سامانه‌های نمکزدایی در هر سه حالت جامد، مایع، و گاز وجود دارد. هر سامانه باید به طور اختصاصی مورد بررسی قرار گیرد تا انواع ضایعات آن مشخص شود، سپس 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 جربان پساب با توجه به نوع سامانه نمکزدایی به طور 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 موردنظر 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 دارداما کیفیت آن به موارد زیر بستگی دارد:

- کیفیت آب خام ورودی

- مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیند شامل گندزداهای، ضدرسوب‌ها، منعقدکننده‌ها و لخته‌سازها، ضد

زیست‌ها و ضد اکسیدکننده‌ها

- درصد بازیافت آب

- دما

- تصفیه تکمیلی و شستشوی شیمیایی

- میزان اختلاط جربان پساب و بازچرخانی

۳-۲-۴-۳-۱- پساب پیش‌تصفیه

چنانچه در مباحث پیش گفته شد، هر کدام از سامانه‌های نمکزدایی، بسته به نوع فرآیند، محدودیت کیفی برای آب خام ورودی (خوارک) دارند؛ لذا برای ایجاد سازگاری کیفی آب ورودی با سامانه‌های نمکزدایی نیاز به عملیات پالایش می‌باشد که به آن پیش‌تصفیه گفته می‌شود. پساب سامانه‌های پیش‌تصفیه از لجن حوض تهشینی، پساب شستشوی فیلتر شنی تا دورریز میکروفیلتر و اولترافیلتر متفاوت است. پساب پیش‌تصفیه در صورت استفاده از مواد شیمیایی

(منعقد کننده ها، ضدرسوب ها، ضد خوردگی ها و مواد گندزدا و کلرزا) دارای اثرات زیست محیطی بوده و بدون انجام عملیات فرآوری قابل دفع مستقیم به محیط نیست.

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

۳-۲-۴-۳- پساب فرایند نمکزدایی

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

سمی بودن معمولا نگرانی مهمی در پساب سامانه های نمکزدایی نیست، زیرا فرایندی که در سامانه نمکزدایی اتفاق می افتد افزایش غلظت موادی است که به طور طبیعی در آب خام ورودی وجود دارند و سمی نیستند. با این وجود، تست سمی بودن، در برخی موارد، بخشی از فرایند صدور مجوز هاست.

تالاب ها که معمولا برای تخلیه پساب ها به کار می روند مناطق حاصل خیزی برای رشد محصولات بالارزش هستند. این مناطق با پساب گرم سامانه های حرارتی (یا پساب های با شوری بالا) آسیب می بینند و باید مطالعات دقیقی برای اطمینان از اینکه این مناطق ظرفیت پذیرش این جریان های گرم و غلیظ را دارند انجام شود.

اگر امکان تخلیه پساب به آب های سطحی وجود نداشته باشد، حوضچه های تبخیر برای خشک کردن جریان پساب مورد توجه قرار می گیرد. گرم بودن پساب سامانه های حرارتی می تواند به تبخیر و تبدیل آن ها به نمک های خشک کمک کند.

مقدار اکسیژن حل شده برای پساب حاصل از تصفیه آب های زیرزمینی در سامانه های نمکزدایی غشایی که مقدار اکسیژن حل شده کمی دارند، مهم است. میزان اکسیژن حل شده در پساب تغليظ شده این سامانه ها باید قبل از تخلیه بررسی شود تا از اثرات سوء آن بر محیط زیست مانند تاثیر بر رشد نامتعارف باکتری ها و میکروارگانیسم ها جلوگیری به عمل آید.

پساب ناشی از شستشوی سامانه های نمکزدایی معمولا حاوی اسید، فلزات سنگین، مواد شیمیایی پاک کننده و آلودگی های حذف شده توسط سامانه است. مقدار این پساب نسبت به پساب سامانه ها کمتر است و همراه سایر پساب ها دفع یا تصفیه می شود [۸۱].

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

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

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

مشخصات پساب	SWRO	فرایند حرارتی	تأثیر 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. تأثیر نهایی این مشخصه تغییر میزان شوری محل به علت دفع پساب است.
دما	دماهی 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.	به علت استفاده از 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.	۰/۵ تا ۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر محدوده خط‌نگار غلظت: ۶ تا ۸ میلی‌گرم بر لیتر	محصولات جانبی کلر بر ارگانیسم‌ها اثر منفی دارند.
مواد آلی هالوژنه	می‌توانند در پساب پیش تصفیه اسمز معکوس وجود داشته باشند.	دارای غلظت و ترکیب متفاوت	محدوده پیشنهادی: ۱۳-۵/۷ میکرو‌گرم بر لیتر مواد آلی هالوژنه در اطراف واحدهای تنظیر هم مشاهده شده‌اند. شواهد محکمی برای تأثیر منفی آن‌ها بر محیط زیست ارائه نشده است اما باید در مورد آن‌ها با دقت عمل کرد.
منعقدکننده‌ها ($\text{Al}^{3+}, \text{Fe}^{3+}$)	در پیش تصفیه استفاده می‌شوند.	در واحدهای بسیار بزرگ استفاده می‌شوند.	کدورت‌زدایی آب، دفن ارگانیسم‌ها در اعماق دریا
لخته‌سازها	در پیش تصفیه استفاده می‌شوند.	استفاده نمی‌شود	در حال حاضر تأثیری از این مواد شناسایی نشده است.
مواد ضد رسب	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	۷ تا ۶	۷ تا ۶	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	استفاده نمی‌شود	مواد ضد خوردگی و اسید	رهاسازی لجن‌ها می‌تواند مشکل‌زا شود.

۴-۳-۴- 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 تأثیر نامطلوب داشته باشد.

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

علاوه بر موارد بالا، در طی یک دوره عملیات سامانه غشایی، مدول غشایی گرفته، فشرده و یا تخریب می شود و باید آن را دفن یا دفع کرد. به جز در موارد خاص که غشاها 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 تغليظ شده را مورد توجه قرار دهد این است که ضریب تغليظ 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 $1/43$ خواهد بود که بدین معنی است که غلظت جریان پساب ۴۳ درصد بیشتر از غلظت آب خام ورودی است [۸۱].

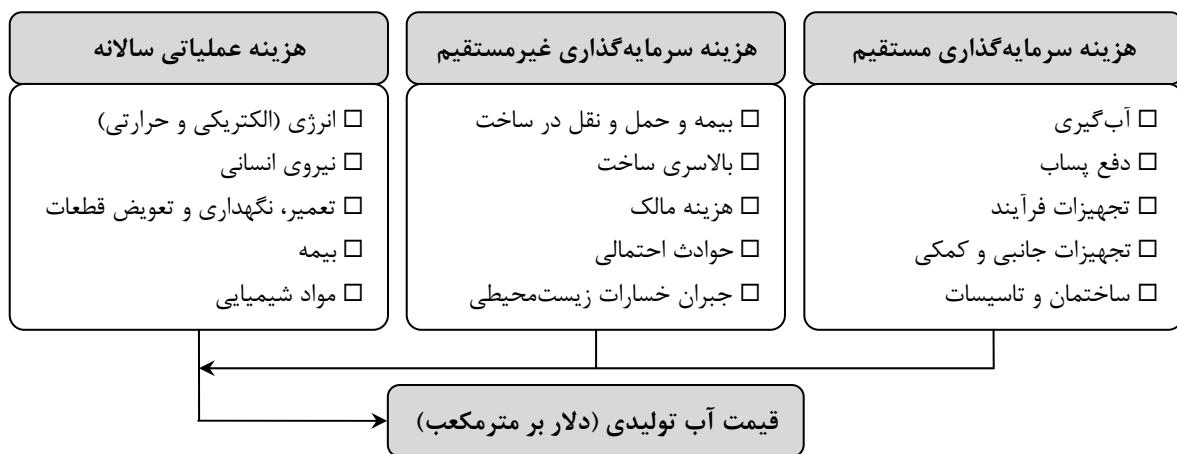
جدول (۳-۵) مشخصات چند فرایند نمک‌زدایی مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، غلظت نمک در پساب خروجی از فرایند اسمز معکوس از فرایندهای حرارتی بالاتر است و این به علت درصد بالای بازیابی در فرایندهای غشایی است. اگر چه فرایند اسمز معکوس برای آب‌های لب‌شور ضریب تغليظ بالایی دارد ($2/5$ تا $6/7$)، ولی باید 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	۲۰ تا ۳۵
دمای پساب خروجی	دمای محیط	دمای محیط	۵ تا ۲۵ بالاتر از دمای محیط
مخلوطسازی پساب‌ها	امکان‌پذیر است ولی متدالو نیست	متداول نیست ولی متدالو نیست	با جریان خروجی از کندانسور در فصل‌های گرم
ضریب تغليظ نهایی	۶/۷ تا ۲/۵	۱/۸ تا ۱/۴	کمتر از $1/5$

۵-۳- مقایسه اقتصادی سامانه‌های نمکزدایی

معمولًا 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 (۹-۳) روش بررسی هزینه‌های فرآیند نمکزدایی را نشان می‌دهد.



شکل ۹-۳- روش بررسی هزینه‌های فناوری‌های نمکزدایی

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 به صورت مطلق معنی‌دار نبوده اما اطلاعات بسیار مفیدی را به صورت نسبی در بر دارد. بالطبع به منظور تحلیل اقتصادی یک سامانه نمکزدایی هزینه‌های ذکر شده در شکل‌ها باید به روز محاسبه شده و بر همین اساس هزینه آب تولیدی محاسبه گردد.

۳-۱- هزینه سرمایه‌گذاری

همان طور 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
- ژراتورهای اضطراری
- ترانسفورماتور و اتاق کنترل
- پمپ‌های توزیع آب تولیدی

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

۳-۵-۱-۲- هزینه 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 بیشتر 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 به دست آوردن تخمینی از هزینه سرمایه‌گذاری کل جمع می‌شوند.

۳-۱-۳- 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.

۳-۱-۲- 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:

۳-۱-۱- 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.

۳-۲-۵-۳- هزینه انرژی

تمامی انرژی مورد نیاز در پروژه نمکزدایی باید در تخمین هزینه پروژه منظور شود. انرژی مورد نیاز در مراحل اولیه برنامه ریزی پروژه می تواند به دقت تعیین شود. تخمین دقیق هزینه های انرژی مهم است، چرا که انرژی، قسمت بزرگی از هزینه های عملیات و نگهداری و در نتیجه قیمت آب را به خود اختصاص می دهد. این موضوع خصوصا برای نمکزدایی آب دریا از اهمیت بیشتری برخوردار است.

شکل های (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 می دهد. [۸۴]

۳-۲-۵-۴- هزینه مواد شیمیایی

نوع و مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز در فرآیندهای نمکزدایی بسیار متغیر است. این مواد شامل مواد مورد نیاز در پیش تصفیه (کلر، منعقد کننده و سایر مواد مورد نیاز)، ضد رسوب، ضد کف، سدیم بی سولفات (SBS) و مواد مورد نیاز در تصفیه تکمیلی هستند.

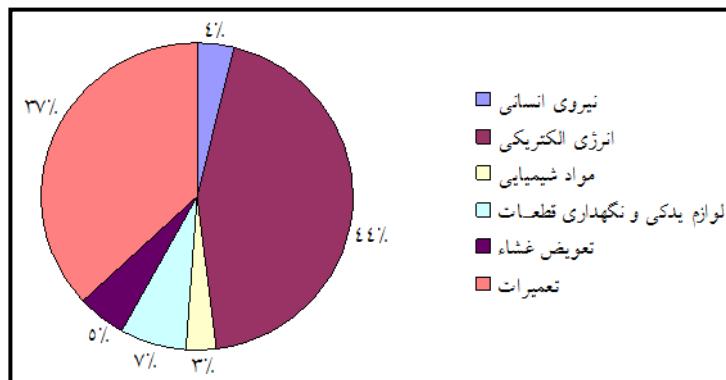
۴-۲-۵-۳- هزینه نگهداری قطعات

هزینه لازم بدکی و نگهداری قطعات در واحدهای نمکزدایی یک درصد هزینه سرمایه گذاری کل پیشنهاد شده است [۷۷].

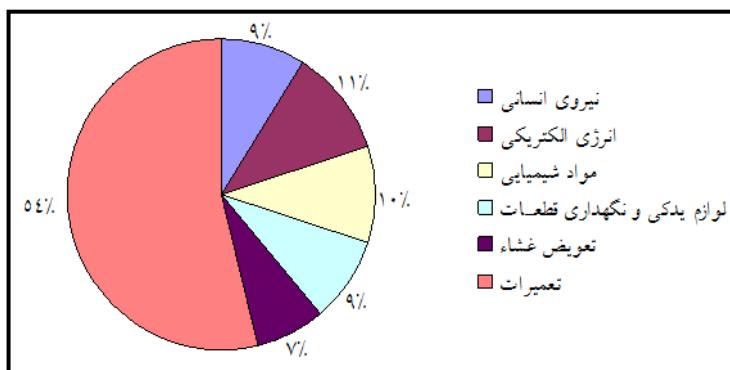
۴-۲-۵-۴- هزینه تعویض غشاها

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

در مجموع می توان سهم هر یک از موارد فوق از کل هزینه های عملیاتی را در شکل های (۳-۱) و (۱۰-۳) مشاهده کرد [۸۴].



شکل ۳-۱۰- سهم هر هزینه از کل هزینه های عملیاتی در نمکزدایی آب دریا [۸۴]



شکل ۳-۱۱- سهم هر هزینه از کل هزینه های عملیاتی در نمکزدایی آب لبشور [۸۴]

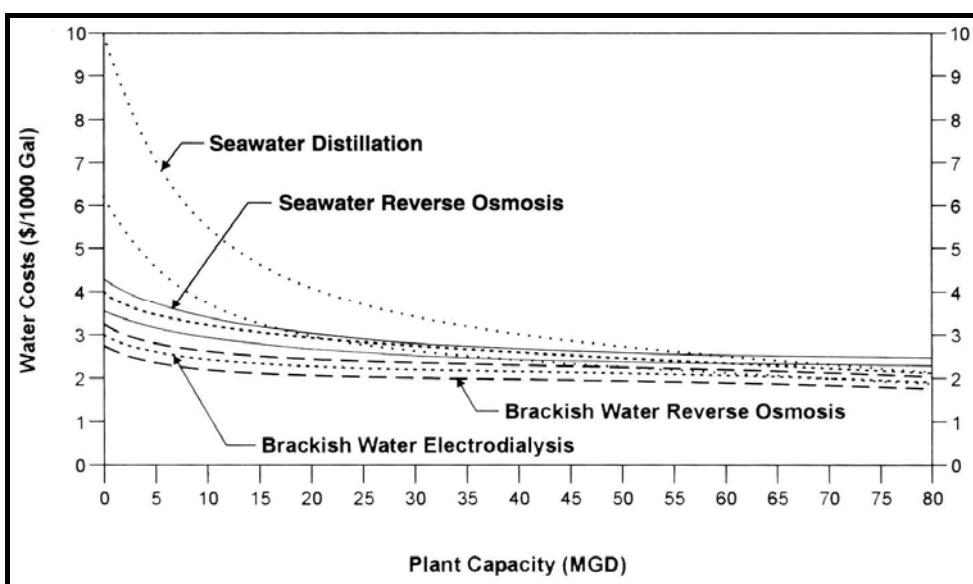
۳-۵-۲-۶- بیمه

هزینه بیمه ۵٪ درصد هزینه سرمایه‌گذاری در نظر گرفته می‌شود.

یکی از فاکتورهای مهم در محاسبه قیمت تمام شده آب، 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 می‌کند. این امر زمان کافی برای تعمیرات پیش‌گیرانه و توقف‌های پیش‌بینی نشده را فراهم می‌سازد.

۳-۵-۳- قیمت آب

هزینه کلی تولید شامل هزینه های عملیات و نگهداری و هزینه استهلاک سرمایه است و بستگی به محل، فناوری نمکزدایی مورد استفاده، تجهیزات واحد، انرژی، نیروی انسانی، مواد شیمیایی، تولید آب سالیانه و فاکتورهای بسیار دیگری دارد. شکل (۳-۱۲) یک نمونه از تغییرات قیمت واحد تولید را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۲- هزینه آب تولیدی واحدهای نمکزدایی آب دریا و آب لبشور [۸۳]

۳-۶-۳- روش های نوین و هیبرید در سامانه های نمکزدایی

انواع روش های نمکزدایی حرارتی و غشایی معمول در فصول گذشته معرفی شده اند. یکی از دغدغه های اصلی محققین در حوزه روش های نمکزدایی، کاهش قیمت تمام شده آب تولیدی و کاهش مصرف انرژی چنین سامانه هایی است؛ لذا روش های جدیدی برای نمکزدایی توسعه یافته و مورد بررسی قرار گرفته است. از این روش های جدید می توان به استفاده از ترکیبی از روش های معمول تجاری اشاره کرد که هیبرید نامیده می شود. اسمز معکوس- حرارتی و اسمز معکوس- اولترافیلتر از پر کاربرد ترین روش های هیبرید هستند. به علاوه روش های نوینی نظیر اسمز مستقیم، تبخیر نقطه شبنم، تقطیر غشایی و نمکزدایی مغناطیسی از این جمله هستند که در این فصل به اختصار معرفی می شوند.

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 مناسب تری نسبت به آن چه که از یک فرآیند به تنها یی به دست می آید، است.

از جمله طرح های هیبرید متداول می توان 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 تغليظ شده NF و RO استفاده می شود.

- هیبرید RO-UF-NF: 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 واحد های 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 تغليظ شده خروجی واحد RO به عنوان خوراک واحد حرارتی مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش آب کمتری از دریا برداشت می شود. با افزایش درصد بازیافت کلی، هزینه ها کاهش می یابد.

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

۳-۶-۲- روش‌های نوین نمک‌زدایی

۳-۶-۱- اسمز مستقیم یا پیش‌رونده (FO)

اسمز پدیده طبیعی است که در آن حلال از ناحیه‌ای با فشار اسمزی پایین‌تر با عبور از یک غشاء 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 است که میزان ۱۶۰۰ تریلیون کیلووات ساعت برق در سال از تمامی ظرفیت موجود در روی زمین از این روش قابل استحصال است [۹۵ تا ۹۳].

۳-۶-۲- 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 هوای همراه با بخار آب با سطحی با دمای پایین‌تر بخار در اثر فرآیند می‌یعنی به آب تبدیل شده و آب مقطر تولید می‌شود. در روش رطوبت‌زنی پدیده می‌یعنی در مبدلی رخ می‌دهد که آب ورودی در آن با گرمای نهان تبخیر، پیش‌گرم می‌شود. بهدلیل 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 [۹۷ و ۹۶].

۳-۶-۳- 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 می شود. ثبت اختراع این فناوری برای نمکزدایی و بازیابی آب دریا، آبهای سطحی، آبهای موجود در حوضچه های تبخیر، آب تغليظ شده خروجی از واحدهای اسمز معکوس، پساب واحدهای صنایع نیمه هادی، خالص سازی آبهای حاوی مواد آلی فرار مانند متیل ترشیری بوتیل اتر (MTBE)^۱ و تری کلرواتیلن است. هدف این فناوری تصفیه حجم های کم بوده و برای حجم های زیاد در حال توسعه است.

منبع گرمایی خروجی این فرایند می تواند از منابع گرمایی با دمای کم (۵۵ درجه سانتی گراد) مانند نور خورشید، حرارت بازیافتی و یا منابع گرمایی با دمای بالا (۹۹ درجه سانتی گراد) مانند سوخت های فسیلی تامین شود [۹۸].

۴-۲-۶-۳- تقطیر غشایی (MD)^۲

قطیر غشایی، همان فرایند جداسازی با غشا است که در فاز گاز انجام می شود. در مورد محلول های حاوی مواد غیر فرار تنها بخار آب از غشا عبور می کند. 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 می شود که آب ورودی نیاز به پیش تصفیه کمتری داشته و فرآیند حساسیت کمتری نسبت به کیفیت آب ورودی دارد. در نتیجه از تقطیر غشایی می توان در تصفیه آبهایی که فرآیند اسمز معکوس قادر به خالص سازی آن ها نیست بهره جست. اما در مجموع تهشیینی ناخالصی ها در تقطیر غشایی نیز سبب گرفتگی غشا و توقف فرآیند تولید آب خالص می شود. علی رغم مزایایی چون جداسازی ۱۰۰ درصد یون ها، مولکول ها، مواد کلوبیدی، باکتری ها و ویروس ها، فشار عملیاتی کم، فضای مورد نیاز کمتر در مقایسه با روش های سنتی نمکزدایی، هنوز مشکلات زیادی برای تجاری شدن این روش وجود دارد [۹۹].

۴-۲-۶-۴- نمکزدایی با میدان مغناطیسی

این فرآیند نوین نمکزدایی شامل کاربرد مفهوم الکترودیالیز و استفاده از غشا های گزینش پذیر یون های باردار به منظور به وجود آوردن سل های مختلف جریان تغليظ شده و رقیق شده در حضور میدان مغناطیسی است.

در روش استفاده از میدان مغناطیسی مشکلات روش الکترودیالیز بر طرف می شود. 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 واکنش های اکسیداسیون و احیا شده و در نهایت منجر به افزایش مصرف جریان الکتریکی می شود. البته این امر به دلیل خطی بودن سل ها و خطی منتقل شدن جریان الکتریسیته است. در نمکزدایی با استفاده از میدان مغناطیسی این خطی بودن با طراحی کروی شکل مدول و نوع میدان مغناطیسی از بین می رود [۱۰۰].

1- Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE)

2- Membrane Distillation (MD)

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

به طور 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.

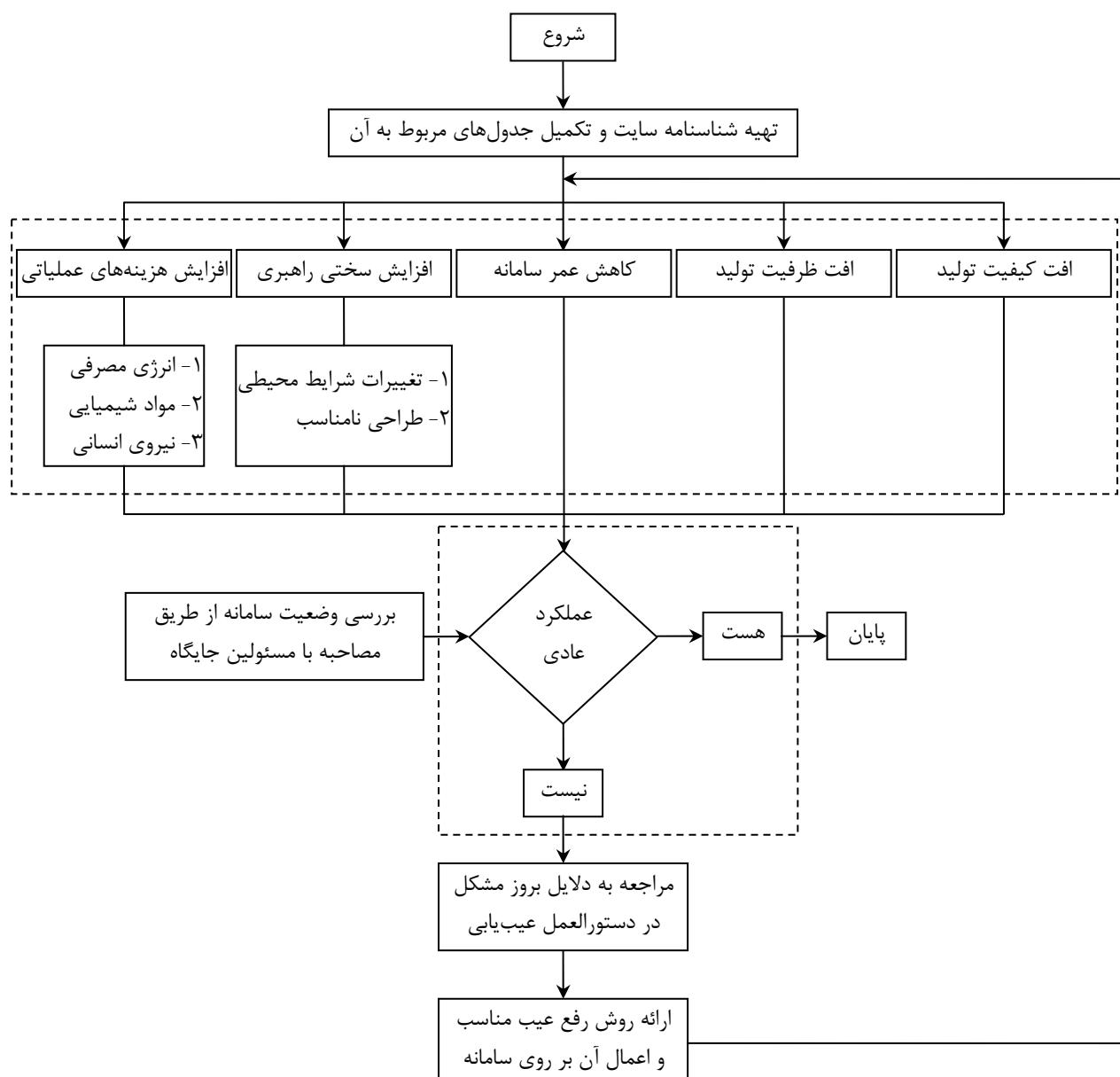
این برنامه‌ریزی باید بر اساس دستورالعمل سازنده باشد. تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه شامل بازرگانی روزانه تجهیزات، بازرگانی ماهانه جهت روغن‌کاری قطعات، بازرگانی ماهانه جهت بررسی ایجاد شکست و خستگی در قطعات و بررسی موتورهای مورد استفاده از لحاظ تامین گشتاور مورد نیاز، تمیز کردن پمپ و بررسی سالانه یاتاقان‌ها برای تعویض است.

- **تعمیر و نگهداری محافظتی:** بر اساس اطلاعات به دست 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 ارایه شده از سوی سازنده مشکل را برطرف نمود. این دستورالعمل‌ها در رفع عیب‌ها نقش کلیدی دارند. در شکل (۱۳-۳) 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 موضوعی سامانه در اختیار بهره‌بردار قرار داده می‌شود. وجود هرگونه اختلاف بین اطلاعات ثبت شده و یا نمایش داده شده از طریق سامانه پایش و شناسنامه عملکرد دستگاه، حاکی از وجود نقص در سامانه بوده که از طریق مدل نشان داده شده در شکل (۱۳-۳) قابل کشف و اصلاح خواهد بود.



شکل ۳-۱۳-۳- 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 راهنمای 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، لاغون‌ها، 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 ژلایی و دما، کاهش پیش‌تصفیه مورد نیاز و هزینه‌های مترتب بر آن و کاهش شستشوی شیمیایی و افزایش عمر دستگاهها و تجهیزات است.

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

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

۳-۷-۱-۳- طراحی انعطاف‌پذیر و دقیق

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

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

اطلاعات تجربی کارشناسان حل مشکلات سامانه‌های نمکزدایی نشان می‌دهد که به‌جز برای حذف روغن و چربی و هیدروکربن‌ها نباید از فیلترهای کربن فعال استفاده کرد چرا که این فیلترها خود منشا 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 گونه ای 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 سامانه های اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون است. این مهم در پیش تصفیه های سنتی، در بهترین شرایط، به سختی قابل استحصال است. در حالی که در پیش تصفیه های جدید مانند UF این پارامتر تا کمتر از ۱ نیز خواهد رسید. علاوه بر این، با استفاده از روش های پیش تصفیه جدید، هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی کاهش می یابد. کاهش فضا و زمان پیش تصفیه و کاهش آب مصرفی جهت شستشو نیز از دیگر مزایای این روش هاست.

۵-۱-۷-۳- 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 می تواند راهبری را سخت و دشوار نماید. در حالی که به کارگیری تجهیزات مناسب، با کاهش زمان تعمیر و نگهداری و افزایش زمان تولید، از هزینه های عملیاتی می کاهد. همچنین این امر می تواند تعداد و زمان شستشوی شیمیایی را به حداقل برساند.

۳-۱-۷-۶- شستشوی شیمیایی به موقع

یکی از موارد کلیدی در نگهداری سامانه های نمک زدایی، 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.

۷-۱-۷-۳- تزریق شوک مواد گندزدا

در فصول گرم سال رشد میکرووار گانیسم ها، جلبک ها و مانند آن، افزایش می یابد. به همین دلیل، در بسیاری موارد از کارایی ماده گندزدای تزریقی کاسته می شود. در این شرایط برای جلوگیری از گرفتگی بیولوژیکی سامانه های غشایی بهتر است تمهیدات تزریق شوک با غلظت بالای گندزدا را از پیش در نظر گرفته باشند. علاوه بر این، در سامانه های نمک زدایی غشایی به منظور جلوگیری از تبدیل کارتريج فیلترها به محل رشد بیولوژیکی توصیه می شود با طراحی صحیح محل تزریق ماده کلرزدا را به بعد از کارتريج فیلترها منتقل کنند.

۳-۷-۸- لوله‌ها، اتصالات و مخازن

با وجود توان سامانه‌های نمکزدایی در حذف میکروارگانیسم‌ها 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 به گونه‌ای طراحی انجام گیرد که این مشکلات بروز نکند یا به حداقل برسد.

اولین اقدام این است که باید بین نقطه کلرزدایی تا واحد نمکزدایی فاصله زیادی باشد. خطوط لوله در این فاصله باید کوتاه‌ترین مسیر و البته کمترین انحصار را داشته باشند.

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

در این بین باید طراحی به گونه‌ای 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 خواهد بود [۲ و ۱۰۱ و ۱۰۲].

۳-۷-۲-۱- راهاندازی

اگرچه راهاندازی این سامانه‌ها بر اساس دستورالعمل‌های دقیق به راحتی امکان‌پذیر است ولی برخی سهله‌انگاری‌ها در این مسیر به وفور 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 به عنوان 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 تعیین شده و مجاز نگهدارند 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 به طور 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 گندزا به جریان آب شستشو استفاده شود تا امکان تجمع میکرووارگانیسمها در این فیلترها به حداقل برسد. این موارد در فیلترهای کربنی به دلیل توان حذف ماده گندزا در آنها سخت‌گیرانه‌تر است. علاوه بر این باید از شستن کارتريج 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 جدایی ناپذیر راهبری است. موارد ذکر شده در مورد راهاندازی و بهویژه راهبری بدون داشتن آگاهی کافی امکان پذیر نیست.

۴-۲-۷-۳- 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.

۳-۷-۳- 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 [۱۰۱ و ۱۰۲].

۳-۷-۱- بازرسی‌ها

در بازرسی‌ها باید کلیه مخازن مواد شیمیایی و حتی مخازن مواد گندزا 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 کارتريج فیلترها باید نشانه‌های گل یا لعب چسبناک، ذرات جلبک، بوی نامطبوع، رنگ‌های غیرطبیعی، نواحی مسدود شده و مشابه آن مورد بررسی قرار گیرد. موارد مندرج در جدول (۶-۳) باید به صورت دوره‌ای مورد بازرسی قرار گیرد.

جدول ۳-۶- موارد بازرسی دوره‌ای

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

ادامه جدول ۳-۶- موارد بازرگانی دوره‌ای

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

۲-۳-۷-۳- توقف‌ها

توقف در واحدهای حرارتی مشکل چندانی 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 املالح یا با املالح کم شست.

۳-۳-۷-۳- نگهداری

حساسیت سامانه‌های حرارتی نسبت به سامانه‌های غشایی کمتر است و بیشتر در مورد حفظ و نگهداری از آن در برابر خودگی 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 تسريع 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 جلیک نیز از ملاحظات نگهداری است.

۸-۳- 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- مهمنمای انتخاب فناوری نمکزدایی مناسب

۱- کیفیت آب تغذیه	
۲- ظرفیت تولید	
۳- کیفیت آب تولیدی	
۴- در دسترس بودن فناوری	
۱-۱-۵ آب گیر	
۲-۱-۵ پیش تصفیه	۱- هزینه سرمایه گذاری
۳-۱-۵ واحد نمکزدایی	
۱-۲-۵ انرژی	
۲-۲-۵ نیروی انسانی	۲- هزینه تعمیر و نگهداری
۳-۲-۵ مواد شیمیایی	
۴-۲-۵ تعمیرات و تعویض قطعات	
۱-۶ درصد بازیافت	
۲-۶ ضریب بار واحد	۶- شرایط عملیاتی
۳-۶ فشار عملیاتی	
۴-۶ دمای عملیاتی	
۱-۷ تاثیرات زیست محیطی	
۲-۷ دوری و نزدیکی	۷- موقعیت
۳-۷ فضای مورد نیاز	
۱-۸ سادگی راهبری	
۲-۸ توان حذف آلودگی ها	۸- خصوصیات فناوری
۳-۸ افزایش ظرفیت	
۴-۸ قابلیت حمل	

سه پارامتر اول در قالب مرحله اول از فرایند تصمیم گیری می توانند محدوده فناوری ها و پارامترهای مرتبط با آن ها را محدود سازند. اما رسیدن به بهترین فناوری مناسب با بیش از ۲۰ پارامتر نیاز به استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره دارد و تنها از این مسیر می توان بدون چشم پوشی غیر منطقی از پارامترهای موثر بر انتخاب، به فناوری بهینه واحد دست یافت.

از بین پارامترهای متعدد ذکر شده، پارامتر هزینه ها در فصل (۳) گزارش مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

جدول های (۳-۸) تا (۸-۳) نیز در بردارنده اطلاعات تکمیلی مورد نیاز جهت انتخاب سامانه نمکزدایی مناسب است.

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

منابع آب خام	فناوری های غشایی	فناوری های حرارتی
آب دریا	در مقیاس های بزرگ، واحد SWRO با وجود یک منبع الکتریکی ارزان با فرآیندهای حرارتی رقابت می کند.	فرآیندهای حرارتی معمول ترین روش نمکزدایی هستند که برای ظرفیت های زیاد و یا جایی که انرژی مازاد حرارتی وجود دارد استفاده می شوند.
آب لب شور	واحدهای EDR برای نمکزدایی آب دریا اقتصادی نیستند.	واحدهای BWRO، اغلب در این موارد توصیه می شوند.
آب لب شور چاهها	واحدهای EDR برای منابع با TDS کمتر از ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر و رسوب دهی بالا بسیار موثر هستند.	واحدهای EDR برای منابع با TDS کمتر از ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر و رسوب دهی بالا بسیار موثر هستند.

جدول ۳-۹- کاربرد فناوری‌های نمکزدایی غشایی و حرارتی بر اساس پارامترهای کیفی آب [۱۰۲]

فناوری‌های حرارتی	فناوری‌های غشایی	کیفیت آب تغذیه
هزینه سرمایه‌گذاری، تعمیرات و نگهداری مستقل از TDS آب تغذیه است.	هزینه سرمایه‌گذاری، تعمیرات و نگهداری نسبت مستقیم با TDS آب	شوری
معمولًا مهم نیست.	در صورت وجود سطح بالای کدورت در آب خام ورودی، پیش‌تصفیه مورد نیاز است.	کدورت
آب با دمای بالا برای فرآیندهای MED مورد توجه است.	دمای بالاتر شار آب عبوری را افزایش داده و میزان TDS در آب تولیدی نیز افزایش می‌یابد.	دما
معمولًا مهم نیست.	در صورت وجود سطح بالای مواد آلی در آب خام ورودی پیش‌تصفیه مورد نیاز است.	میزان مواد آلی
کنترل ضعیف pH منجر به خوردگی تجهیزات می‌شود.	کنترل ضعیف pH معمولًا عمر غشا را کاهش می‌دهد.	pH
معمولًا تاثیری بر فرآیند ندارد، ولی غلظت بالای کلر آزاد موجب خوردگی می‌شود.	کلرزدایی به عنوان یک مرحله از پیش‌تصفیه مورد نیاز است.	کلر آزاد
نوسان بالای کیفیت آب تغذیه به خوبی تحمل می‌شود.	به راحتی توسط سامانه‌های اسمز معکوس قابل تحمل نیست. غشاها برای نوع آب خاصی طراحی می‌شوند و اگر میزان شوری آب از حد طراحی بیشتر شود بر عمر غشا تاثیر می‌گذارد. تغییرات در میزان سیلیس، آهن و منگنز، شدت گرفتگی‌ها و هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد.	نوسان بالای کیفیت آب تغذیه

جدول ۳-۱۰- محدوده کاربرد فرآیندهای نمکزدایی غشایی و حرارتی بر اساس شوری آب تغذیه [۸۲]

VC	MED	MSF	ED/EDR	RO	آب تغذیه TDS
-	-	-	+	+	۵۰۰-۱۰۰ ppm
-	-	-	+	+	۱۰۰-۳۰۰ ppm
-	-	-	+	+	۳۰۰-۸۰۰ ppm
+	+	+	-	+	۸۰۰-۵۰۰ ppm

+ : عموماً به کار برده می‌شود، - : مناسب نیست.

جدول ۳-۱۱- محدوده ظرفیت تولید فرآیندهای مختلف نمکزدایی [۸۲]

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

+ : عموماً به کار برده می‌شود، O : توانایی دارد، - : توانایی تولید ندارد.

جدول ۳-۱۲- حداقل دبی آب تولیدی توصیه شده برای فرآیندهای مختلف نمکزدایی [۱۰۳]

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

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

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

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

انرژی مصرفی (کیلووات ساعت بر مترمکعب)	فرآیندهای غشایی	فرآیندهای حرارتی
انرژی الکتریکی	BWRO ۱ تا ۰.۵/۵ SWRO ۴ تا ۰.۷ ، EDR با TDS ورودی ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر	۱/۵ تا ۳ (فرآیندهای حرارتی) (MVC) ۸ تا ۱۴
انرژی حرارتی	کاربردی ندارد	۶ تا ۲۱ (فرآیندهای حرارتی) (MVC) ندارد
کل انرژی مصرفی	BWRO ۱ تا ۰.۲/۵ SWRO ۴ تا ۰.۷ ، EDR با TDS ورودی ۱۵۰۰ میلی گرم بر لیتر	۷/۵ تا ۲۴ (فرآیندهای حرارتی) (MVC) ۸ تا ۱۴

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

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

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

فرآیند	درصد بازیافت
BWRO	۸۵ تا ۶۵
EDR	۹۰ تا ۶۵

جدول ۳-۱۷- میزان حذف آلودگی ها در فرآیندهای مختلف نمک زدایی [۸۲]

آلودگی ها	فرآیندهای حرارتی (%)	اسمز معکوس (%)	الکترودیالیز (%)
مواد معدنی	>۹۹.۹	۹۹-۹۰ ^a	۹۰-۵۰ ^b
حشره کش ها 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 نمک ها مثل کلرید سدیم را دارد.

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

c= حذف کامل به سامانه های پیش تصفیه و تصفیه تكمیلی نیاز دارد.

d= حذف به نوع غشا و ماده هی آلی بستگی دارد.

۹-۳- جمع‌بندی

همان طور 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 (۳-۱۰) و (۳-۱۳) تا (۳-۱۰) 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 امتیاز بندی 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. قاعده‌تا 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 (۳-۱۰) و (۳-۱۳) 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 عمدہ‌ای برای این فناوری‌ها تبدیل شده است. این مشکل تا حدی است که قبل از راهاندازی این سامانه‌ها، حتما باید برای نحوه دفع پساب آن‌ها تدبیری 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 عاقب زیان‌بار زیستمحیطی را به همراه دارد و در کنار مقررات سخت‌گیرانه زیستمحیطی سازمان‌های مختلف داخلی و بین‌المللی که با جرم‌های سنگین همراه است، گاهی جبران خسارت وارد شده نیز حتی با صرف هزینه‌های بالا امکان‌پذیر نیست. بنابراین لزوم مطالعه کمی و کیفی پساب و رساندن آن به معیارهای استاندارد امری اجتناب‌ناپذیر است.

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

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

بازده و طول عمر سامانه‌های نمکزدایی بهویژه سامانه‌های غشایی به پیش‌تصفیه آب خام بستگی دارد. با توجه به این که هدف اصلی در فرایندهای نمکزدایی بهینه‌سازی تولید، دفع نمک، بازیافت محصول و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری است، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های پساب دفعی متأثر از پیش‌تصفیه، وجود ترکیباتی همچون ضدرسوب 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 منقعدکننده، 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 به دلیل حذف در سیستم های پیش تصفیه، معمولاً پایین تر از ۵ میلی گرم بر لیتر است با این حال اگر پساب ناشی از پیش تصفیه نیز به پساب نهایی اضافه و تخلیه گردد، میزان این پارامترها و کدورت افزایش پیدا می کند [۳۷].

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

۲-۴- مدیریت پساب ها

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

۲-۴-۱- دفع پساب

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

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

۲-۴-۱-۱- تخلیه به آب های سطحی و آزاد

متداول ترین روش دفع پساب سامانه های نمک زدایی، تخلیه به آب های سطحی اعم از آب های فصلی یا دائمی، دریاچه های طبیعی یا مصنوعی، تالاب ها، دریاها و اقیانوس ها، رودخانه ها و مانند آن است. دفع به آب های سطحی می تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم صورت گیرد. کیفیت پساب دفعی، آب سطحی که پساب به آن دفع می شود و مهم تر از آن ها محدودیت های زیست محیطی و برآوردهای اقتصادی، نوع و محل دفع را تعیین می کند.

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

یکی از اقداماتی که باید مورد توجه قرار گیرد، بررسی نحوه پخش پساب در محیط پذیرنده است. هدف اصلی از بررسی پخش پساب، تعیین اندازه منطقه اولیه رقيق سازی (ZID) مورد نیاز برای پخش جریان شوری پساب جهت رساندن TDS به سطح آب سطحی و تعیین غلظت TDS در سطح سطح میانگین و در کف در منطقه اولیه رقيق سازی است.

سپس این سه مقدار به دست آمده با آستانه تحمل شوری ارگانیسم‌هایی که در سطح (اکثر پلانکتون‌ها)، ستون و کف آب (کفرزی) زندگی می‌کنند مقایسه می‌شود تا اثر غلظت شوری پساب بر روی این ارگانیسم‌ها مشخص شود. ZID و مناطق مرزی آن با استفاده از مدل سازی‌های هیدرولیکی تعیین می‌شود. مدل انتخابی برای تعیین مرزهای تخلیه پساب سامانه نمک‌زدایی باید از جریان پخش پساب تحت شرایط مختلف بهره‌برداری و ترکیب‌های متفاوت دیفیوzerها 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 $10\% \pm$ از میانگین غلظت شوری سالیانه می‌باشد. این میزان 10 درصد بیشتر از غلظت شوری سالیانه، یک مقدار محافظه‌کارانه برای آستانه تحمل آب‌زیان دریایی است. عملاً حد تحمل اکثر ارگانیسم‌های 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 به‌طوری که 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 ارگانیسم‌های منطقه تخلیه
- غلظت یون‌های فلزات سنگین و رادیواکتیو کم‌تر از سطوح خط‌رانک
- 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 به‌دلیل 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 ارگانیسم‌های منطقه تخلیه در برابر شوری
- بررسی امکان سمی بودن پساب تخلیه شده

- بررسی اینکه آیا کیفیت آب تخلیه شده، استانداردهای کیفی آب را در محل تخلیه برآورده می کند یا نه [۳۷] در تخلیه غیرمستقیم، از فرایندهای پیشرفت و یا ساده تصفیه همچون تانک های تهشینی، کربن فعال یا فیلترهای مختلف استفاده می شود تا کیفیت آب برای دفع به آب های سطحی بهبود یابد و به حد مجاز تعریف شده برسد. همچنین می توان از همین پساب برای شستشوی معکوس و تمیز کردن تجهیزات پیش تصفیه استفاده نمود. البته در این حالت نیز بر میزان ناخالصی های نهایی افزوده می شود ولی از تولید پساب مضاعف پیش گیری می گردد [۱۰۷].

در تخلیه پساب به اقیانوس معمولاً از یکی از روش های زیر استفاده می کنند:

- تخلیه مستقیم به دریا از طریق خروجی جدید

- تخلیه از خروجی یک تصفیه خانه فاضلاب موجود

- تخلیه از دهانه خروجی یک نیروگاه برق

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

دو راه عملی برای شتاب بخشیدن به عمل اختلاط پساب با آب دریا عبارتند از:

- تکیه به ظرفیت اختلاط طبیعی حاصل از منطقه جزر و مد

- تخلیه پساب در منطقه جزر و مد و نصب دیفیوزرهایی در انتهای خروجی برای بهبود اختلاط

اگرچه منطقه جزر و مد مقدار زیادی انرژی تلاطم داشته و عمل اختلاط را بسیار بهتر از دیفیوزرهای خروجی پساب انجام می دهد، با این حال این منطقه ظرفیت محدودی برای انتقال پساب تخلیه شده به دریای باز دارد.

اگر مقدار شوری پساب تخلیه شده بیشتر از ظرفیت انتقال شوری منطقه جزر و مد باشد، شوری اضافه در منطقه

جزر و مدی، انباسته شده و نهایتاً منجر به افزایش شوری فراتر از آستانه تحمل آب زیان منطقه می شود.

برای سامانه های نمک زدایی کوچک (به طور مثال ظرفیت نمک زدایی با 400 متر مکعب بر روز یا کمتر)، خروجی پساب معمولاً به صورت لوله هایی که بیشتر از 100 متر در ناحیه جزر و مدی دریا پیشرفت است، ساخته می شود. این تخلیه ها بر ظرفیت تلاطم منطقه که موجب اختلاط و پخش سریع پساب و در نتیجه تبدیل شوری پساب به شرایط محیط می شود، استوار است.

برای خروجی پساب سامانه های نمک زدایی با ظرفیت بالا معمولاً لوله هایی تعییه می شود که بسیار فراتر از منطقه جزر و مدی در دریا پیش رفته و معمولاً انتهای آنها با دیفیوزرهایی تجهیز می گردد. این کار به منظور ایجاد اختلاط لازم برای جلوگیری از انباسته شدن مواد موجود در پساب در مجاورت محل تخلیه صورت می گیرد. طول، اندازه و ترکیب خروجی پساب و دیفیوزرها برای سامانه های نمک زدایی با ظرفیت های بالا بر اساس مدل سازی های هیدرودینامیکی برای شرایط خاص محل تخلیه تعیین می شود [۳۷].

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

ویژگی کلیدی این روش تخلیه ترکیبی، شتاب بخشیدن به عمل اختلاط می‌باشد. به‌طوری‌که پساب با شوری بالا با پساب با شوری پایین حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب، مخلوط شده و سپس پساب رقیق تر 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 ارگانیسم‌های 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. ارگانیسم‌های آبی که پیشنهاد می‌شود برای تایید تخلیه پساب ترکیبی، مورد آزمایش قرار گیرند خارپوستان می‌باشند که شامل نمونه‌هایی از ستاره‌های دریایی می‌شوند [۳۷].

۴-۱-۳- 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 به عنوان منبع آبی برای سامانه‌های نمک‌زدایی و هم به عنوان آب ترکیبی برای کاهش دادن شوری پساب سامانه‌های نمک‌زدایی که به دریا تخلیه می‌شود استفاده کرد. ترکیب پساب حاصل از سامانه نمک‌زدایی با آب خنک‌کننده خروجی از نیروگاهها که شوری کمی دارند منجر به کاهش غلظت کل شوری حاصل از ترکیب این دو پساب به دریا می‌شود؛ به‌طوری‌که این غلظت در حد غلظت مجاز دفع پساب به دریا خواهد بود و نیاز به تاسیسات گران‌قیمت و پیچیده دیفیوزرها را کاهش می‌دهد.

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

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

- از ساخت جدگانه 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 نمک زدایی کاهش می یابد که این تا حدود زیادی از اثرات نامطلوب آلودگی حرارتی این پسابها بر دریا می کاهد.
- ترکیب پساب خروجی از سامانه نمک زدایی با آب خروجی از نیروگاه باعث پخش سریع تر و بهتر شوری و دمای آب ترکیبی می شود [۳۷].

۴-۲-۱-۲-۴- تخلیه پساب به فاضلاب بهداشتی

تخلیه به سامانه جمع آوری فاضلاب مجاور، یکی از روش های متداول در تخلیه پساب سامانه های نمک زدایی از آبهای لب شور است. با این حال این روش دفع پساب فقط برای سامانه های نمک زدایی با ظرفیت بسیار پایین در تصفیه خانه های فاضلاب با ظرفیت بالا به کار می رود؛ زیرا این پسابها با TDS بالا بر روی عملکرد تصفیه خانه تاثیر منفی می گذارند.

۴-۲-۱-۳- تخلیه به چاه های جذبی

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

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

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

این روش برای مناطقی که دارای فعالیت زمین لرزه بالا هستند و یا در کنار گسل های زمین شناسی که امکان دارد از لحاظ هیدرولیکی باعث ارتباط پساب با سفره آب زیرزمینی شود، مناسب نیست. همچنین باید توجه ویژه ای به شکاف های لایه های زیرزمینی شود. با افزایش حجم تزریق، سطح ایستایی آب در محل تزریق بیشتر می شود 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 سفره های زیرزمینی آب باشد و امکان نفوذ به آن لایه ها را نداشته باشند [۱۰۵ و ۱۰۸ و ۱۰۹].

۴-۲-۴- 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 برد شود. محل‌هایی برای اجرای این سامانه مناسب است که دارای زمین کافی و ارزان باشد. نشت 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 افشاردن پساب به‌وسیله تبخیر کننده‌ها 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].

۴-۲-۵- 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 به عنوان 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].

۴-۱-۵-۱- آبیاری مستقیم

این روش نیز یکی از روش های قابل استفاده در شرایط اضطرار است. در این روش از پساب سامانه نمک زدایی آب لب شور برای آبیاری محصولاتی استفاده می شود که نسبت به شوری تحمل بالایی دارد. این روش محدودیت های زیادی مانند عدم نیاز دائمی گیاهان به آبیاری، محدودیت گونه های گیاهی شورزی و احتمال اثرات منفی بر خاک و آب های زیرزمینی داشته و فقط برای نمک زدahای با ظرفیت پایین کاربرد دارد. استفاده از این روش به ویژه اگر پساب حاوی آرسنیک، نیترات و یا فلزات سنگین باشد، احتیاج به توجه ویژه دارد [۱۱].

۴-۱-۵-۲- آبیاری بارانی

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

۴-۱-۶- دفن در زمین

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

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

۴-۲-۲- تصفیه پساب

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

۴-۲-۴-۱- روشهای شیمیایی

۴-۲-۱- 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 آلوما یا ترکیبات آهن‌دار باشد. البته وجود ضدرسوب‌ها در جریان پساب، ممکن است کارایی منعقدکننده را نیز تحت تاثیر قرار دهد. کارایی و بازدهی انعقاد بستگی به نوع و غلظت ناخالصی‌ها و منعقدکننده دارد. برای عملیات فیلتراسیون می‌توان از فیلتر شنی یا میکروفیلترها استفاده کرد. حتی می‌توان از فرایند اولترافیلتراسیون استفاده کرد و پسابی به مراتب کمتر و غلیظتر از پساب سامانه‌های نمک‌زدایی تولید نمود. در این صورت پساب باقی‌مانده معمولاً به واحد کریستال‌سازی ارسال می‌شود یا به فاضلاب شهری ریخته می‌شود. آب تولیدی نیز می‌تواند به آب‌های سطحی دفع یا برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار گیرد [۱۰۵ و ۱۰۸].

۴-۲-۱-۱- اکسیداسیون و رسوب‌دهی

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

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

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].

۴-۲-۲-۴- 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 مرتبط 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 به عنوان 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 باسفره‌های آب‌گیری و کمک به تغذیه آب‌های زیرزمینی
- کمک به محافظت از زمین‌های پایین دست و مجاور در برابر آسیب‌های سیل
- نگه داشتن خاک، جذب انرژی موج و کاهش سرعت جریان‌ها یا رودخانه‌ها و محافظت از خطوط ساحلی در برابر موج‌های ناشی از تنبدادهای دریایی و جریان‌های استوایی
- واستگی گونه‌های متنوعی از گیاهان، حشرات، دوزیستان، خزندگان، پرندگان، ماهیان و پستانداران برای به دست آوردن غذا، زیستگاه یا پناهگاه موقت به این تالاب‌ها
- نقش حیاتی در تنظیم حرکت آب در آب‌گیرها و چرخه جهانی آب با نگه داشتن آب بارش و آب سطحی و آزاد کردن تدریجی آن به منابع آب سطحی، زیرزمینی و جو
- منبع محصولات تجاری متنوع شامل ماهی، سخت‌پوست، چوب، برنج غیراهلی و پوست بسیاری از پستانداران و خزندگان
- استفاده‌های پزشکی از گیاهان و خاک‌ها
- نقش مهم در چرخه‌های جهانی کربن، نیتروژن و گوگرد مانند ذخیره کربن به‌وسیله خاک و خاک آلی
- حذف کامل BOD

۴-۲-۲-۲- سامانه‌های نمک‌زدایی خورشیدی

یکی از منابع پایان‌نایذیر 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 میان می‌باید و در مسیر جدیدی جمع‌آوری می‌گردد.

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

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

در این فرایند در مقایسه با اسمز معکوس متداول از ترکیب چند روش پیش تصفیه مختلف در pH های بالا استفاده می شود. این فرایند از سه مرحله اصلی حذف سختی و ذرات معلق، حذف دی اکسید کربن و اسمز معکوس با pH بالا تشکیل شده است.

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

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

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

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

۴-۲-۵- بسترهای تبادل یونی

تبادل یون، یک واکنش برگشت پذیر است که در آنیون های یک محلول با یون های دارای بار الکتریکی مشابه موجود روی رزین تعویض می شوند. مهم ترین ترکیباتی که در پساب سامانه های نمک زدایی موجود است، همین یون های با حلایت بالا در آب هستند. وقتی که رزین یون های قابل تبادل خود را از دست داد، نیاز به احیا دارد. یون های دو و سه ظرفیتی بیش از یون یک ظرفیتی توسط رزین جذب می شوند. ضریب گزینش یون های با ظرفیت یکسان نیز با وزن مولکولی و معکوس اندازه یون متناسب است.

استفاده از بسترهای تعویض یونی برای پساب اسمز معکوس که دارای ترکیبات مغذی از جمله 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- روش‌های بدون پساب (ZLD)^۱

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

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

۴-۲-۳-۱- تغليظ‌کننده‌ها^۱

تغليظ‌کننده‌ها در واقع نوعی از تبخیر‌کننده‌های حرارتی تک یا چند مرحله‌ای هستند. تغليظ‌کننده‌ها 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].

۴-۲-۳-۲- سامانه تغليظ و بازیافت پساب (BCRS)^۲

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 [۱۹].

۴-۲-۳-۳- کریستال‌سازها

کریستال‌سازها برای استخراج نمک‌های با حلایت 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].

۴-۲-۳-۴- 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

1- Brine Concentrator and Recovery System

2- Brine Concentrator and Recovery System (BCRS)

متعدد 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 نمک‌هایمعدنی 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].

۴-۲-۳-۵- 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 بالارزش 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 بر ماید 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 به ویژه سدیم کلراید با خلوص بالاست می‌تواند برای استحصال نمک به واحد خشک‌کن و یا کریستال‌سازی ارسال شود.

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

۴-۲-۳-۶- فرایند ارتعاش پیشرفت (VSEP)^۲

در فرایند ارتعاش پیشرفت از ایجاد امواج شدید بر سطح غشا استفاده می‌شود به‌طوری که 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 شارعبوری در طی فیلتراسیون می‌شود، یک لایه غلظتی بر سطح غشا ایجاد می‌کند که می‌تواند میزان فیلتراسیون را نیز کاهش دهد.

1- Zero Discharge Desalination (ZDD)

2- Vibratory Shear Enhanced Processing (VSEP)

3- Concentration Polarization

در این روش به کمک ایجاد ارتعاشات در نزدیکی غشا، از تجمع جرم و یون های مختلف بر سطح آن جلوگیری شده و ناچالصی هایی که به همراه آب به نزدیکی سطح غشا رسیده اند دوباره به محلول برگشت داده می شوند. در واقع امواج موجب جلوگیری از پدیده قطبش غلظتی و امکان افزایش غلظت در نزدیک غشا می شوند. پدیده ممانعت از بروز قطبش غلظتی، تراویی بالای غشا را به همراه دارد و در مقایسه با روش های متداول فیلتراسیون متقطع، قابلیت فیلتراسیون سه تا ده برابر افزایش می یابد.

هم اکنون از فناوری VSEP در مقیاس صنعتی در استرالیا استفاده می شود ولی هنوز برخلاف آنچه که تصور می شد، کاربرد در مقیاس های بزرگ عمومیت نیافته است [۱۰۸].

۴-۲-۳-۷- فرایند تبخیر نقطه شینیم

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

۴-۲-۳-۸- کریستال سازی با انجاماد

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

۴-۲-۳-۹- مبدل حرارتی با بستر سیال سان (FBHX)^۱

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

۴-۲-۴-۴- روش‌های نوین

۴-۲-۴-۱- اسمز مستقیم یا پیش‌روند

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

۴-۲-۴-۲- 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 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].

۴-۲-۴-۳- نقطیر غشایی^۱

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

۴-۲-۴-۴- 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 پکبار 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 بالای ندارند [۱۱۸].

1- Membrane Distillation (MD)

2- Aerogel

۳-۴- 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 پرنگ‌تری 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.

فصل ۵

کنترل کیفیت آب شرب تولیدی با

سامانه‌های نمک‌زدایی

۱-۵- کلیات

اگرچه خصوصیات ظاهری آب نظیر مزه، بو، کدورت و کل جامدات محلول (TDS) به طور مستقیم با سلامتی انسان رابطه ندارد، اما بر گوارایی و در نتیجه مقبولیت آب برای مصرف کننده و به طور غیرمستقیم بر سلامت فرد موثر است. ترکیبات موجود در آب می‌توانند منبع و مکمل رژیم غذایی (ریزمغذی‌ها و درشت‌مغذی‌ها) باشند یا به عنوان 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 به طور معمول مقدار همه یون‌ها را کاهش می‌دهند لذا افرادی که به طور 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.

به منظور 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 به منظور 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. به عنوان مثال، افزودن نمک‌های کلسیم و منیزیم، هم مواد معدنی مورد نیاز در آب تولیدی را تامین می‌کند، هم pH آب را ثابت کرده و از شبکه توزیع در برابر خوردگی محافظت می‌نماید.

معمولًا، 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 مقرر رون به صرفه نباشد، ترکیبی از مواد شیمیایی که هزینه کمتری داشته باشد مورد استفاده قرار خواهد گرفت. به طور مثال، افزودن هیپوکلریت کلسیم برای گندزدایی، باعث از بین رفتن پاتوژن‌ها شده و هدف بهداشت عمومی را تامین می‌کند و همچنین سبب افزودن مقداری کلسیم به عنوان ماده معدنی به آب تولیدی می‌شود. بنابراین افزودن هیپوکلریت کلسیم علاوه بر تامین سلامت عمومی به نحوی بازدارنده خوردگی محسوب شده و موجب حفاظت شبکه توزیع از خوردگی خواهد شد.

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

برای آب دریا تنها ۱ تا ۳ درصد امکان اختلاط وجود دارد. استفاده از آب های ساحلی به عنوان آب اختلاط، امکان افزایش آلودگی با هیدروکربن های نفتی و به تبع آن پایین آمدن کیفیت فیزیکی و گاه شیمیایی را موجب می شود. استانداردهای آب آشامیدنی در جدول های (پ.۲-۱) تا (پ.۶-۴) پیوست شماره ۲ آمده است.

۲-۵- تنظیم کیفیت آب خروجی

۱-۲-۵- دوره زدایی

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

۲-۲-۵- گندزدایی

آب تولیدی سامانه های نمکزدایی باید بلا فاصله مورد گندزدایی قرار گیرد. این گندزدایی در فرایندهای حرارتی به دلیل بالا بودن دما در حین تولید کمتر مورد نیاز است. در فرآیند EDR به دلیل حضور مواد مغذی و حذف کلر باقیمانده در طول فرایند، میزان باکتری ها در آب تولیدی بیشتر از آب ورودی خواهد بود. در صورت استفاده از آب اختلاط برای تنظیم کیفیت، زمان ماند بعد از کلرزنی باید حداقل به مدت ۳۰ دقیقه باشد. کلرزنی آب اختلاط روشی ایدهآل برای کلرزنی آب تولیدی نهایی نیز هست.

در برخی از سامانه ها، آب دریا برای تولید هیپوکلریت مورد استفاده در گندزدایی هیدرولیز می شود و سپس با میزان حدود ۱ درصد با آب تولیدی سامانه های نمکزدایی مخلوط می شود. این روش به دلیل تولید مقادیر زیادی برم و ارگانوهالوژن ها یا محصولات جانبی هالوژنه فرآیند گندزدایی حتی در مقادیر کم (۱ درصد) اختلاط، می تواند از حد مجاز استانداردهای آب شرب برای برم (بیشینه ۱۰ ppb) فراتر رود.

کلرزنی آب مقتدر باید بلا فاصله قبل از ورود آب به شبکه توزیع صورت گیرد.

۳-۲-۵- گاز زدایی

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

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

از آن جایی که کربنیک‌زدایی مقداری از اسید کربنیک‌هارا به بی‌کربنات قلیایی تبدیل می‌کند، استفاده ترکیبی از این فرآیند همراه با تنظیم pH مقرن 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 بلا فاصله 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_8 رسانده و موجب رسوب‌گذاری در شبکه گردد؛ یا اینکه دی‌اکسید کربن موجود در هوای pH آب را تغییر ندهد. آب هوادهی شده باید بلا فاصله گندزدایی گردد تا از آلودگی باکتریایی جلوگیری شود.

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 به عنوان روش‌هایی برای زدایش گاز CO_2 از آب تولیدی سامانه‌های نمک‌زدایی مورد استفاده قرار گیرد. میزان غلظت باقی‌مانده گاز نباید بیشتر از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر باشد تا در ترکیب هوادهی و کلرزنی، سولفور کلئیدی ایجاد نشود و دورت آب را بالا نبرد.

۴-۲-۵- 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 به عنوان مانع فیزیکی و برای محافظت از خوردگی به کار بردہ می‌شود. همچنین سختی‌دهی باعث بهبود طعم آب و ارتقای کیفیت بهداشتی آن می‌شود. البته میزان سختی‌دهی باید به گونه‌ای کنترل شود که موجب رسوب‌گذاری نشود. لزوم سختی‌دهی آب تولیدی در فرایند EDR به ندرت اتفاق می‌افتد.

ثبتیت کیفیت آب با افزودن کلسیم و بی‌کربنات حاصل می‌شود. یکی از راه‌های مقرن 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 ثبتیت بهینه کیفیت آب فقط با اختلاط امکان‌پذیر نیست و نیاز به تزریق مواد شیمیایی و تنظیم pH همچنان وجود دارد.

کمبود کربنات قلیایی 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 به منظور تولید مقادیر مطلوب کربنات قلیایی و برای تنظیم pH در دسترس نیست، استفاده از مواد شیمیایی برای رسیدن به قلیائیت مورد نظر ضروری است. در عین حال که افزودن هیدروکسید سبب افزایش pH و قلیائیت آب خواهد شد،

کربنات و بی کربنات قلیایی برای تولید CCPP در محدوده مطلوب مورد نیاز است. همچنین به تامین ظرفیت بافری که در حقیقت از تغییرات pH در شبکه توزیع جلوگیری می کند کمک خواهد کرد.

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

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

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

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

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

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

در صورت افزودن کربنات سدیم یا سدیم بی‌کربنات برای افزایش قلیائیت کربناتی، باید میزان تزریق پاییش شود تا غلظت نهایی سدیم بر اساس توصیه سازمان جهانی بهداشت (WHO) کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نگه داشته شود. این امر به منظور 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 خورنده‌گی 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 موازنۀ واکنش‌های شیمیایی افزایش قلیائیت، کاهش دی‌اکسید کربن و افزایش سختی کل محاسبه می‌شود. این اطلاعات در مورد متدائل‌ترین مواد شیمیایی که برای پایداری آب تولیدی استفاده می‌شوند در جدول (۱-۵) خلاصه شده است.

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

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

این اطلاعات نشان می‌دهد که همه مواد شیمیایی قادر به افزایش توامان سختی و قلیائیت نیستند؛ لذا ماضی 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 تنها‌ی 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 ماضی شیمیایی یا تزریق آهک بهره جست. در برخی موارد، آهک باید با ترکیبی از سود یا ماضی 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 به طور روزانه مقدار متوسطی از بور را جذب و دفع می کنند. مطابق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (بازنگری سال ۱۹۹۸) میزان مجاز بور در آب آشامیدنی حداقل ۰/۵ میلی گرم بر لیتر است.

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

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

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

۶-۲-۵- حذف برومید

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

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

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

۷-۲-۵- تنظیم فلوئور

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

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

در استاندارد سازمان بهداشت جهانی، حداقل مجاز و حداقل مطلوب فلوراید در آب شرب به ترتیب $1/5$ و $0/5$ میلی گرم بر لیتر ذکر شده است. مقادیر بیش از این حد، خطر بروز مسمومیت های دهانی و عوارض اسکلتی را در پی دارد. اما به دلیل امکان جذب فلوراید از طریق مواد غذایی دیگر، حداقلی در استاندارد مذکور ذکر نشده است و استانداردهای محلی با توجه به شرایط هر منطقه و الگوی مصرف مواد غذایی مردم باید نسبت به تعیین حداقل آن اقدام نمایند.

استاندارد ملی ایران، میزان مجاز فلوئور موجود در آب شرب را در محدوده غلظت $0/6$ تا $1/7$ میلی گرم بر لیتر تعیین کرده است. شاید تزریق فلوئور به آب تولیدی سامانه های نمک زدایی در مناطق خشک و محروم لازم باشد، اما در اکثر موارد، میزان فلوئور جذب شده از مواد غذایی برای مصرف روزانه کافی به نظر می رسد.

افزودن فلوئور به آب تولیدی فرایندهای نمک زدایی معمولاً با تزریق سدیم فلوراید (NaF) انجام می گیرد.

۷-۲-۵- کنترل نیتریت و نیترات

هنگام استفاده از آب اختلاط، یکی از مشکلات مهم، مقاوم شدن برخی از میکروارگانیسم ها به گندزدایی است که به تشکیل بایوفیلم منجر می شود یا به طور جزیی در اندازه گیری کیفیت میکروبی نظیر E-coli^1 یا شمارش هتروتروفیک ها تغییر ایجاد می کند. نیتریت تولید شده ناشی از تشکیل بایوفیلم توسط ارگانیسم ها در حضور کلرآمین و آمونیاک باقی مانده می تواند مشکلات جدی ایجاد کرده و از محدوده مجاز استانداردهای آب شرب خارج شود. همچنین بالا بودن سطح آلائیندگی نیتراته آب خام به دلایل مختلف مانند نفوذ فاضلاب به سفره های زیرزمینی ممکن است منجر به بالاتر رفتن از حد استاندارد در آب تولیدی سامانه نمک زدایی شود.

۷-۲-۵- خوردگی

خوردگی، وجوده مختلفی از شبکه توزیع را از قبیل هزینه های پمپ کردن و مقبولیت عمومی آب تولیدی به دلیل نفوذ فلزات سنگین ناشی از خوردگی دیواره لوله ها به آب تولیدی، تحت تاثیر قرار می دهد.

1- *Escherichia coli* (E.coli)

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

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

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

۱-۹-۲-۵- شاخص های خوردگی

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

۲-۹-۲-۵- روش های کنترل خوردگی

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

به دقت کنترل شود زیرا رسوب بیش از اندازه سبب کاهش ظرفیت انتقال آب از لوله‌ها می‌گردد. موارد ذیل می‌تواند به عنوان 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)

$1 = LSI = 0/5$

- 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. به طور کلی C CCP به عنوان شاخص کمی تهذیب‌یابی رسوب کربناتی به دیگر شاخص‌های کیفی در تعیین اهداف تصفیه‌ی تکمیلی ترجیح داده می‌شود.

علاوه بر مانع فیزیکی، باز دارنده‌های خوردگی به طور گستردگی برای کاهش ویژگی خورندگی آب خالص تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بازدارنده‌های سیلیکاتی لایه‌های محافظتی را بر روی دیواره لوله تشکیل می‌دهند که از خوردگی جلوگیری کرده و یا حلالت فلزات را کاهش می‌دهند. در فرایند تزریق بازدارنده‌های خوردگی، لوله‌ها به طور 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- تأثیر تصفیه تکمیلی بر خوردگی

۵-۲-۹-۱- گندزدایی

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

۵-۲-۳-۹-۲- کلرید آمونیوم

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

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

از دست دادن قلیائیت کلسیم نیز ممکن است در طول خطوط لوله اتفاق بیفتد و در نتیجه موجب خوردگی شود.

راهکارها برای حل این مشکل عبارتند از:

- تزریق دواره مواد شیمیایی محتوی کلسیم یا مواد بازدارنده خوردگی در طول خطوط انتقال در جاهایی که

LSI منفی شده است.

- استفاده از لوله های غیرفلزی مانند HDPE که نسبت به مقادیر پایین قلیائیت کلسیم در آب حساس نیستند.

در نظر گرفتن شرایط شبکه توزیع موجود بسیار مهم است. در سامانه های موجود احتمالاً لوله ها با آب ورودی به شرایط تعادل رسیده اند. این شرایط می تواند با ورود آب نمکزدایی شده با ویژگی های متفاوت وارد مرحله جدیدی گردد. میزان باکتری های موجود در آب تولیدی و در شبکه توزیع سنجش و پایش می گردد.

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

یون های 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 محلول ها در شبکه توزیع تشریح شده است.

۵-۲-۴-۱- آلومینیوم

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

۴-۹-۲-۵-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.

۴-۹-۲-۵-کلرايد

منبع اصلی وجود کلرايد در آب شرب، آب‌های طبیعی، پساب‌ها، فاضلاب‌ها و روان‌آب‌های آلوده شهری است. غلظت بیش از حد کلرايد 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 کلرايد در آب شرب محدودیتی از نظر سلامتی ندارد ولی مقدار بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر آن به آب مزه خواهد داد.

۴-۹-۲-۵-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.

۴-۹-۲-۵-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 بافری کمی دارد و می‌تواند خوردگی زیادی برای لوله‌ها ایجاد کند. در واقع مقدار سختی آب با مزه مورد پسند مصرف‌کننده و امکان رسوب‌گذاری متناسب خواهد بود.

۴-۹-۲-۵-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.

۵-۴-۲-۷- سولفید هیدروژن

میزان مجاز هیدروژن سولفید در آب بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ گرم بر لیتر تخمین زده می شود. گوگرد در حضور اکسیژن و آب های کلردار به سرعت به سولفید تبدیل می شود. به طور معمول مقدار سولفید هیدروژن در آب بسیار کم است. در شبکه های توزیع که مقادیر اکسیژن محلول آن بسیار کم است بوی تخم مرغ فاسد شده به راحتی قابل تشخیص و بیانگر مقادیر بالای سولفید هیدروژن است.

۵-۴-۸- منگنز

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

۳-۵- شبکه توزیع

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

۳-۱- نشت

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

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

۳-۲- پایش

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

هشدار دهنده از بروز مشکلات بعدی جلوگیری نمود. با تغییرات کیفیت آب خام یا شرایط عملیاتی دستگاه و نیز خطاهای موجود، از جمله خطای انسانی کنترل کیفیت تولید را اجتناب ناپذیر 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 معمولا pH، هدایت الکتریکی، شاخص ظرفیت کاهش اکسیداسیون (ORP)^۱ و دما به صورت دائمی و با استفاده از آنالایزرها اندازه‌گیری و پایش می‌شود. محدوده مجاز این پارامترها مطابق با استانداردهای موجود برای ورودی آب خام به سامانه‌ها و آب شرب بیان شده است. در مورد پساب‌ها، اندازه‌گیری پارامترها به روش دفع آن بستگی دارد.

در شبکه‌های توزیع، پایش پارامترها به صورت لحظه‌ای و با هزینه کم مورد نظر است. پارامترهایی که پایش می‌شود شامل فشار، کدورت، کلر باقی‌مانده، سرعت و دبی جریان، دما، pH و پارامترهای شیمیایی شامل کل کربن آلی محلول، فلزات، نیتریت و شمارش هتروترووفها است. فشار و کدورت به عنوان پارامترهای فیزیکی در طول خطوط توزیع با استفاده از سنسورهای لحظه‌ای پایش می‌شود. در مورد کدورت باید این نکته مد نظر قرار گیرد که کدورت‌سنچ‌ها در نقطه‌ی انتهایی خطوط توزیع باید توان اندازه‌گیری کدورت تا مقادیر بسیار پایین (کمتر از ۱ NTU) را داشته باشد. گندزدahaایی 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 منعقد کننده 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 پیش تصفیه سامانه های نمکزدایی غشایی با استفاده از فناوری های جدید طراحی شده باشد، تعدادی از این آزمایش ها ضروری نیست.

برای انجام آزمایش های فوق باید از محل های ذیل نمونه برداری شود.

- آب خام ورودی به تاسیسات

- آب خروجی از واحد پیش تصفیه

- آب تصفیه شده خروجی

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

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

عنوان	آب تولیدی
دی	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 باکتری شناسی	روزانه
آنالیز کامل فیزیک-شیمیایی	ماهانه

۴-۵- جمع بندی

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

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

۲-۴-۵- 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 می گردد. در نتیجه میزان نیاز به گندزدaha افزایش یافته و در نهایت احتمال خوردگی افزایش

می‌یابد. بیوفیلم‌ها 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 حائز اهمیت بوده زیرا زمان طولانی سبب تجزیه گندزداها و بی‌اثر شدن آن‌ها می‌شود و متعاقباً احتمال رشد باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلم افزایش می‌یابد. به علاوه، کلیفرم‌ها به جز E.Coli در بیوفیلم‌ها رشد کرده و تکثیر می‌شوند.

۳-۴-۵- 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 نیتراته کردن، میزان گندزدایی کمتر در برابر ارگانیسم‌های موجود و افزایش پتانسیل خوردنگی 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.

۴-۴-۵- به روزرسانی استانداردهای مورد استفاده در خصوص جنس لوله‌ها در شبکه توزیع جهت بهبود تاثیر آن بر کیفیت آب

به منظور ثابت نگه داشتن کیفیت آب باید از انجام شدن واکنش‌های خاص مانند رشد میکروب‌ها و خوردنگی لوله‌های حامل آب جلوگیری کرد. نمونه‌های واضح رشد میکروبی شامل تولید بیوفیلم و چسبیدن باکتری‌ها به دیواره لوله‌ها و تکثیر ارگانیسم‌های تولید‌کننده مواد نیتروژن داراست. واکنش‌های مهم شیمیایی شامل نشت ترکیبات سمی از مواد لوله‌ها، خوردنگی 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 گندزدانه و میزان فراوانی مواد آلی و جنس لوله کنترل شود.

پیوست ۱

واحدهای سختی و روش تبدیل آنها

جدول پ.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)
۵ 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- 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 [۱۲۷ تا ۱۳۱]

استاندارد												واحد اندازه‌گیری	پارامتر
۱-EC	۰-FPTC	۴-NHMRC	۳-ISIRI	۲-USEPA	۱-WHO								
مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب	مجاز	مطلوب
---	^a ۱	< ۳	^a ۱	< ۵	^a ۱	< ۵	^a ۱	< ۵	---	< ۵	^a ۱	NTU	کدورت
---	---	< ۱۵	---	(ب)< ۲۵	(الف)< ۱۵	< ۱۵	---	< ۱۵	---	< ۱۵	---	TCU	رنگ
---	---	(۵)---	---	(۷)---	---	---	(۵)۳	^a ۳	---	(۷)---	---	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 به طور 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 [۱۲۷ تا ۱۳۱]

EC	FPTC	NHMRC	ISIRI	USEPA	WHO							
حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	نوع ترکیب										
۱۵۰۰	---	---	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	---	۵۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰	کل مواد جامد محلول
---	---	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰	---	---	۵۰۰	۲۰۰	سختی کل بر حسب CaCO_3
---	۲۵۰	---	۲۵۰	---	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	---	۲۵۰	---	۲۵۰	کلرور
---	۲۵۰	---	۵۰۰	۵۰۰	۲۵۰	۴۰۰	۲۵۰	---	۲۵۰	---	۲۵۰	سولفات
---	---	۰/۰۵	---	۰/۰۵	---	۰/۰۵	---	---	۰/۱	۰/۰۵	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	۱	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 ۱۲۷]

EC		FPTC		NHMRC		ISIRI		USEPA		WHO		نوع ترکیب
حداکثر مجاز (ppm)	مطلوب (ppm)											
۵۰	---	۴۵	---	۵۰	---	۵۰	---	---	۱۰	۵۰	---	نیترات
---	۰/۵	۳/۲	---	۳	---	۳	---	---	۱	۳	۰/۲	نیتریت
---	---	---	---	---	---	---	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 ۱۲۷]

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

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

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

EC	FPTC		NHMRC		ISIRI		USEPA	WHO			گروه
حداکثر ماجر (ppm)	حداکثر ماجر (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	حداکثر ماجر (ppm)	نام ماده							
---	۰/۰۰۵	---	۰/۰۰۳	---	۰/۰۰۴	---	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	---	تتراکلرایدکربن	آلانهای کلرینهشده ^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	
---	---	---	۰/۰۶	---	۰/۰۵	---	---	۰/۰۵	---	۱ و ۲- دی کلرواتان	
*۰/۰۱	---	---	---	---	۰/۰۲	---	---	۰/۰۲	---	تری کلرواتان	اتنهای کلرینهشده ^۲
	---	---	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	زایلنها	
---	---	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	
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۱	---	۰/۰۰۰۷	---	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۷	---	شاخص بنزو[a]پیرن	
---	۰/۰۸	۰/۰۳	---	---	۰/۰۱	---	۰/۳	۰/۰۱	---	مونوکلروبنزن	
---	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	۰/۰۰۰۲	۱ و ۴- دی کلروبنزن	بنزنها کلرینهشده ^۴
---	---	---	*۰/۰۳	*۰/۰۰۵	---	۰/۰۱	---	---	---	۱ و ۲ و ۳- تری کلروبنزن	
---	---	---			---	۰/۰۵	۰/۰۷	*۰/۰۲	۰/۰۰۵	۱ و ۲ و ۴- تری کلروبنزن	
---	---	---			---	۰/۰۵	---			۱ و ۳ و ۵- تری کلروبنزن	
---	---	---	۰/۰۱	---	۰/۰۰۸	---	۰/۰۰۶	۰/۰۰۸	---	دی (۲- اتیل هگزیل) فتالات	سایر
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۲	---	۰/۰۰۰۵	---	---	۰/۰۰۰۵	---	اکریل آمید	
۰/۰۰۰۱	---	---	۰/۰۰۰۵	---	۰/۰۰۰۴	---	---	۰/۰۰۰۴	---	ابی کلروهیدرین	
---	---	---	۰/۰۰۰۷	---	۰/۰۰۰۶	---	---	۰/۰۰۰۶	---	هگزاکلروبوتاکرین	
---	---	---	۰/۲۵	---	۰/۱۶	---	---	۰/۱۶	---	اتیلن دی آمین تترالستیک اسید	
---	۰/۴	---	۰/۲	---	۰/۲	---	---	۰/۲	---	نیتریلوتری 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	---	متیلترشی بوتیلاتر	
---	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

1- Chlorinated Alkanes

2- Chlorinated Ethenes

3- Aromatic hydrocarbons

4- Chlorinated Benzenes

آب آشامیدنی باید عاری از هرگونه میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان ملی استاندارد ایران (۱۰۱۱) [۱۳۲] اگانیزم های آزادی باشد.

جدول ب.۲-۵- استاندارد ویژگی های میکروبیولوژی آب آشامیدنی سازمان ملی استاندارد ایران (۱۰۱۱) [۱۳۲]

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

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

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

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

جدول ب.۲-۷- استانداردهای زیست محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب [۱۰]

مواد آلوده کننده	تخليه به آب های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	تخليه به چاه جاذب (میلی گرم بر لیتر)	مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)
نقره	۱	۰/۱	۰/۱
آلومینیوم	۵	۵	۰/۱
آرسنیک	۰/۱	۰/۱	۰/۱
بر	۲	۱	۱
باریم	۵	۱	۱
بریلیوم	۰/۱	۱	۰/۵
کلسیم	۷۵	-	-
کادمیم	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵

1- Thermophiles

2- Enterococci

3- Aeruginosa

4-Present/Absent

ادامه جدول پ. ۷-۲- استاندارد زیستمحیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب [۱۰]

مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به آب های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	مواد آلوده کننده
۰/۲	۱	۱	کلر آزاد
۶۰۰	۶۰۰ (تبصره ۱)	۶۰۰ (تبصره ۱)	کلراید
۱	۱	۱	فرم آلدئید
۱	ناچیز	۱	فلن
۰/۱	۰/۱	۰/۵	سیانور
۰/۰۵	۱	۱	کبات
۱	۱	۰/۵	کرم ۶ ظرفیتی
۲	۲	۲	کرم ۳ ظرفیتی
۰/۲	۱	۱	مس
۲	۲	۲/۵	فلوراید
۳	۳	۳	آهن
ناچیز	ناچیز	ناچیز	جیوه
۲/۵	۲/۵	۲/۵	لیتیوم
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	منیزیوم
۱	۱	۱	منگنز
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	مولیبدن
۲	۲	۲	نیکل
-	۱	۲/۵	آمونیوم
-	۱۰	۱۰	نیتریت
-	۱۰	۵۰	نیترات
-	۶	۶	فسفات
۱	۱	۱	سرب
۰/۱	۰/۱	۱	سلیم
۳	۳	۳	سولفید
۱	۱	۱	سولفیت
۵۰۰	۴۰۰ (تبصره ۲)	۴۰۰ (تبصره ۱)	سولفات
۰/۱	۰/۱	۰/۱	وانادیوم
۲	۲	۲	روی
۱۰	۱۰	۱۰	چربی و روغن
۰/۵	۰/۵	۱/۵	دترجنت
۱۰۰	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۳۰ (لحظه‌ای ۵۰)	BOD ₅ (تبصره ۳)
۲۰۰	۶۰ (لحظه‌ای ۵۰)	۶۰ (لحظه‌ای ۵۰)	COD (تبصره ۳)
۲	-	۲	اکسیژن محلول (حداقل)
-	(تبصره ۲)	(تبصره ۱)	مجموع مواد جامد محلول
۱۰۰	-	۴۰ (لحظه‌ای ۶۰)	مجموع مواد جامد معلق
		*	مواد قابل تهشیش

ادامه جدول پ.۷-۲- استاندارد زیست محیطی ایران برای دفع فاضلاب و پساب [۱۰]

مصارف کشاورزی و آبیاری (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به چاه جاذب (میلی گرم بر لیتر)	تخلیه به آب های سطحی (میلی گرم بر لیتر)	مواد آلوده کننده
۶-۸/۵	۵-۹	۶/۵-۷/۵	pH (حدود)
.	.	.	مواد رادیواکتیو
۵۰	-	۵۰	کدورت (واحد کدورت)
۷۵	۷۵	۷۵	رنگ (واحد رنگ)
-	-	(تبصره ۴)	درجه حرارت
۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	کلی فرم گوارشی (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	کل کلی فرم (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)
(تبصره ۵)	-	-	تخم انگل

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

انرژی هر فوتون (eV)	محدوده طول موج (نانومتر)	علامت اختصاری	
۳ تا ۹/۴	۴۰۰ تا ۳۱۵	UVA	فرابنفش نوع A، موج بلند، یا نور سیاه
۴/۱۳ تا ۳/۱	۴۰۰ تا ۳۰۰	NUV	نزدیک (Near)
۴/۴۳ تا ۲/۹۴	۳۱۵ تا ۲۸۰	UVB	فرابنفش نوع B، یا موج متوسط
۶/۲۰ تا ۴/۱۳	۳۰۰ تا ۲۰۰	MUV	میانه (Middle)
۱۲/۴ تا ۴/۴۳	۲۸۰ تا ۱۰۰	UVC	فرابنفش نوع C، موج کوتاه، یا میکروب کش
۱۰/۲ تا ۶/۲	۲۰۰ تا ۱۲۲	FUV	دور (Far)
۱۲۴ تا ۶/۲	۲۰۰ تا ۱۰	VUV	خلأ (Vacuum)
۱۲۴ تا ۱۰/۲	۱۲۱ تا ۱۰	EUV	بی نهایت (Extreme)

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

حداقل مطلوب (ppm)	حداقل مطلوب (ppm)	گندزا
۳	۰/۳	مونو کلر آمین
۵	-	کلر

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

حداکثر مجاز (ppm)	حداکثر مطلوب (ppm)	محصول جانبی	گندزدا
۰/۰۱	---	برومات	ازن
۰/۱	---	بروموفرم	
۰/۷	---	کلرات	دی اکسید کلر
۰/۷	---	کلریت	
---	۰/۰۰۰۱	- کلروفنل	کلروفنلها
---	۰/۰۰۰۳	۲ و ۴- دی کلروفنل	
۰/۲	۰/۰۰۲	۲ و ۴- تری کلروفنل	
۰/۱	---	بروموفرم	تری هالومتانها*
۰/۱	---	دی بروموكلرومتان	
۰/۰۶	---	برومو دی کلرومتان	
۰/۳	---	کلروفرم	کلرو استیک اسیدها
۰/۰۵	---	دی کلرو استیک اسید	
۰/۲	---	تری کلرو استیک اسید	
۰/۰۲		مونو کلرو استات	کلر یا کلر آمینها
۰/۰۲	---	دی کلرو استو نیتریل	
۰/۰۷	---	دی برومومو استو نیتریل	
۰/۰۷	---	سیانوژن کلراید	
۰/۱	---	N- نیتروس دی متیل آمین	کلر آمینها

* مجموع نسبت غلظت بروموفرم به بروموفرم استاندارد، دی بروموكلرومتان به دی بروموكلرومتان استاندارد، برومومو دی کلرومتان به برومومو دی کلرومتان استاندارد و کلروفرم به کلروفرم استاندارد باید کمتر یا مساوی ۱ باشد.

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

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

جدول پ.۲-۱۲- میزان مجاز کلر باقیمانده پس از نیم ساعت تماس در آب آشامیدنی در سیستم‌های مختلف آبرسانی و محل برداشت [۵]

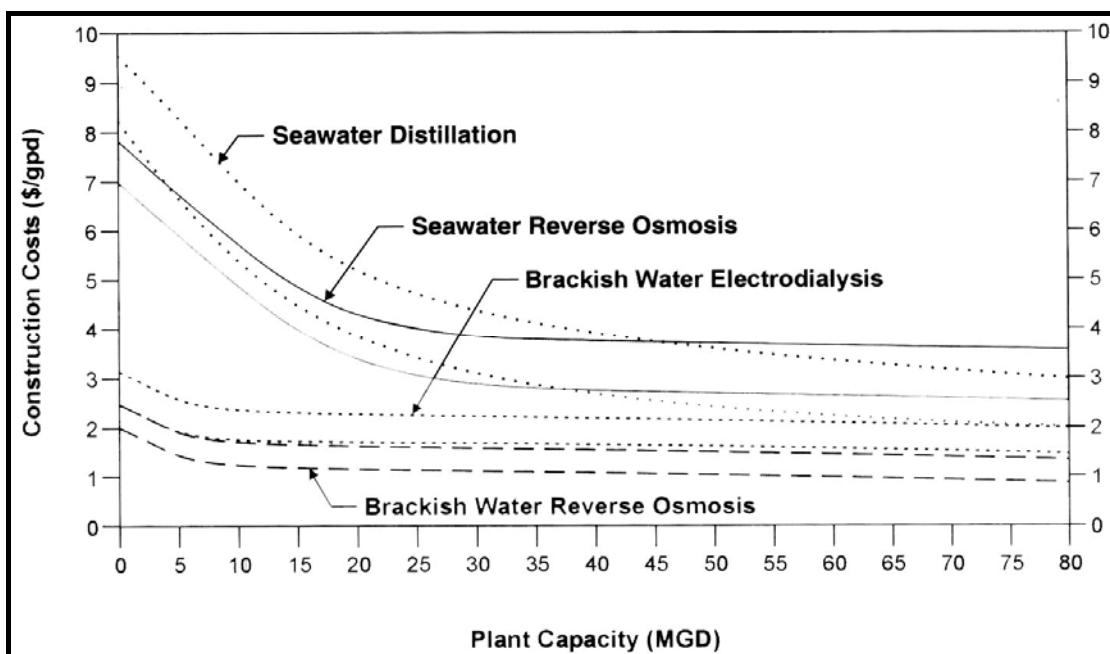
مقدار کلر آزاد باقیمانده (ppm)	سیستم آبرسانی و محل برداشت
۰/۵ تا ۱	شیر انشعاب عمومی
۱ تا ۲	танکرهای سیار توزیع آب آشامیدنی در محل بارگیری
۱ تا ۰/۵	танکرهای سیار آب آشامیدنی در محل توزیع

پیوست ۳

نمودارهای مبحث اقتصاد نمک‌زدایی

پ.۳-۱- کلیات

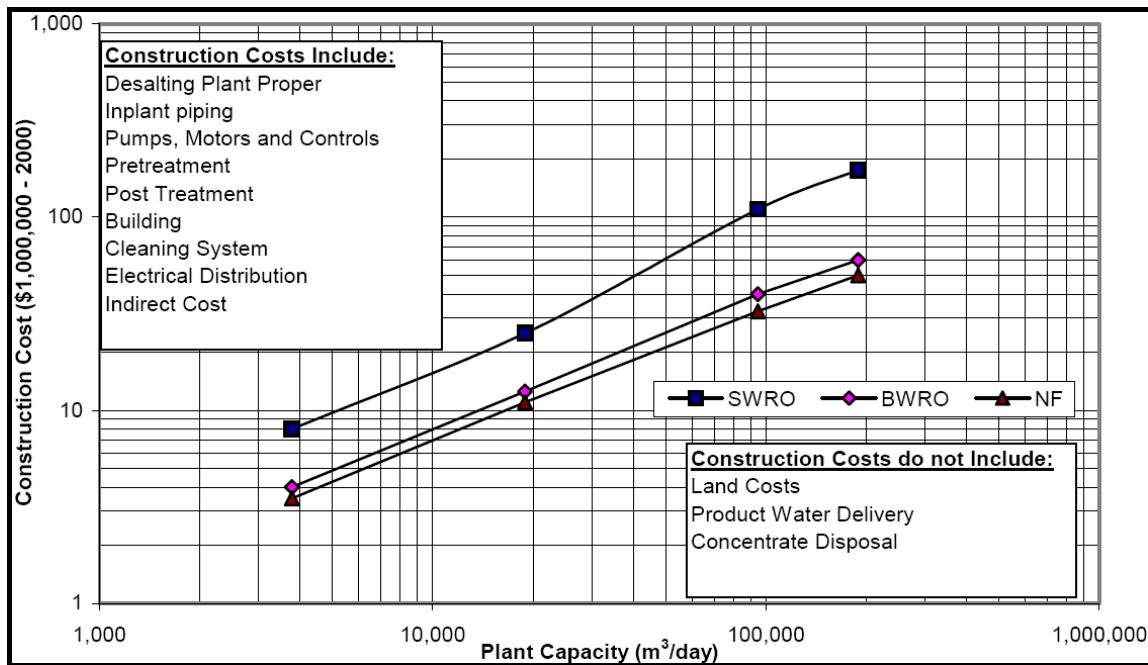
هزینه ساخت یا سرمایه‌گذاری، به تمامی هزینه‌هایی که مربوط به ساخت تجهیزات است اطلاق می‌شود. شکل (پ.۳-۱) میانگین جهانی هزینه ساخت واحدهای نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور را بر حسب دلار آمریکا بر گالن در روز تا سال ۲۰۰۴ برای ظرفیت‌های مختلف نشان می‌دهد. ساخت واحد نمک‌زدایی در کنار نیروگاه (واحد دومناظره)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



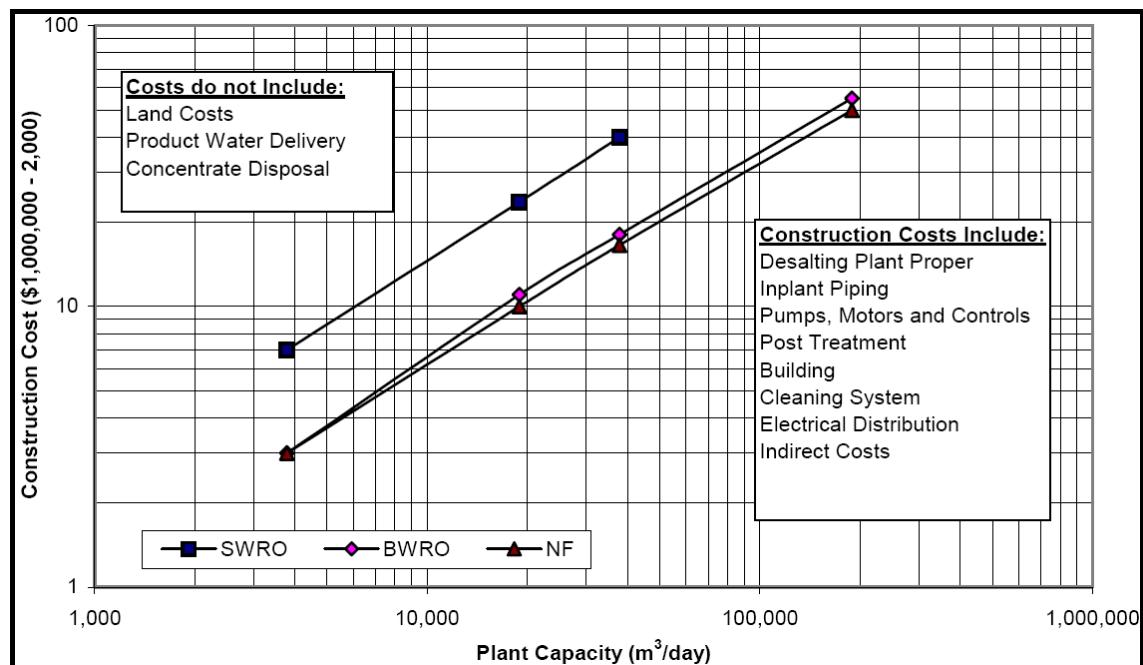
شکل پ.۳-۱- نمودار هزینه ساخت واحدهای نمک‌زدایی آب دریا و آب لب‌شور برای ظرفیت‌های مختلف [۸۳]

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

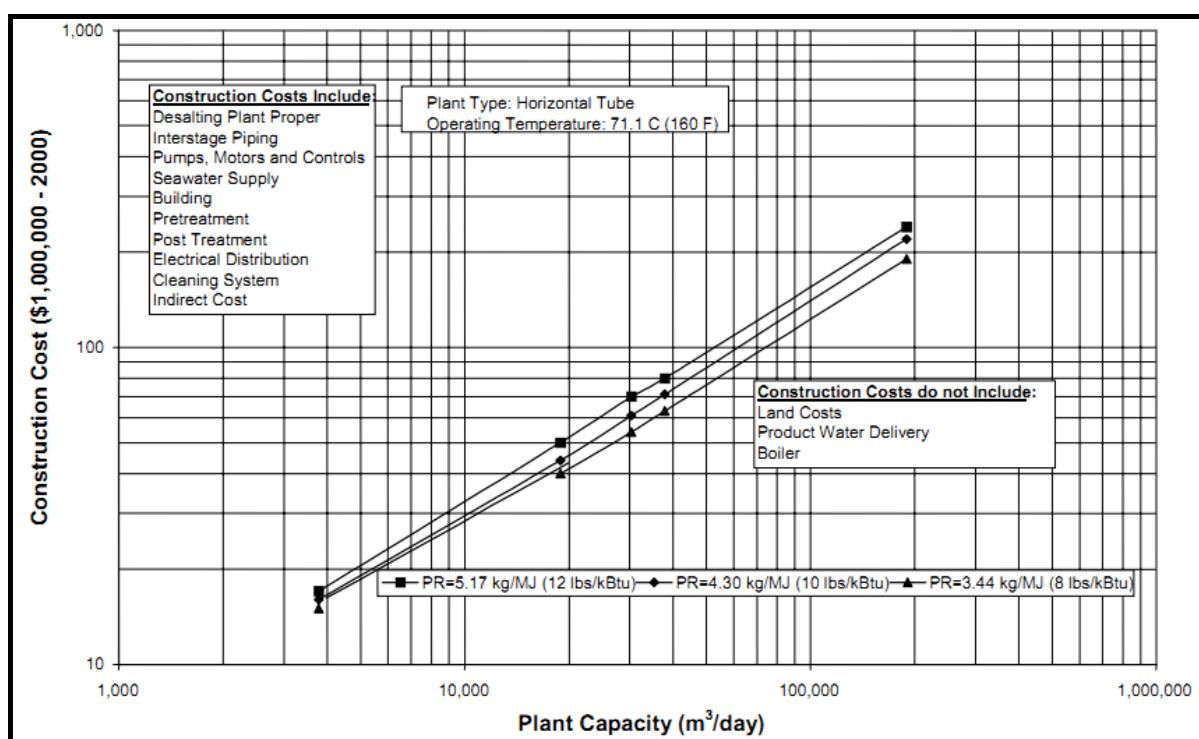
شکل‌های (پ.۳-۲) تا (پ.۳-۲۲) نمودار هزینه ساخت و تجهیزات را برای فرایندهای مختلف نمک‌زدایی نشان می‌دهند. [۸۴]



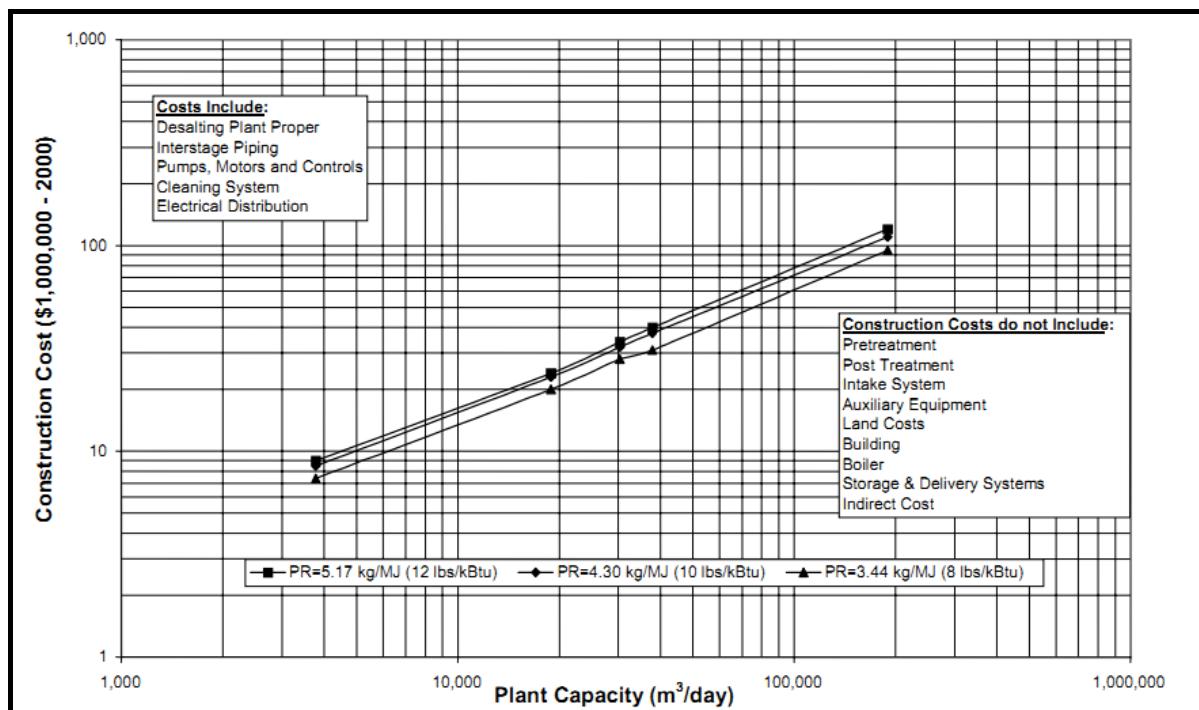
شکل پ.۲-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسmez معکوس برای آب های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



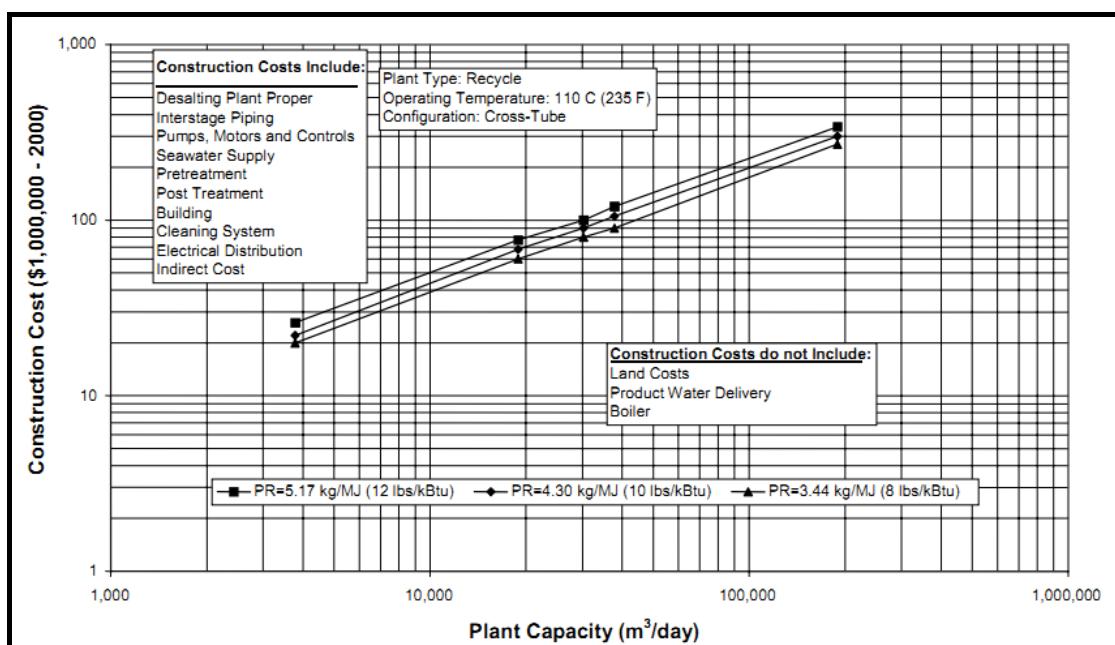
شکل پ.۳-۳- هزینه ساخت فرآیندهای اسmez معکوس برای آب چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



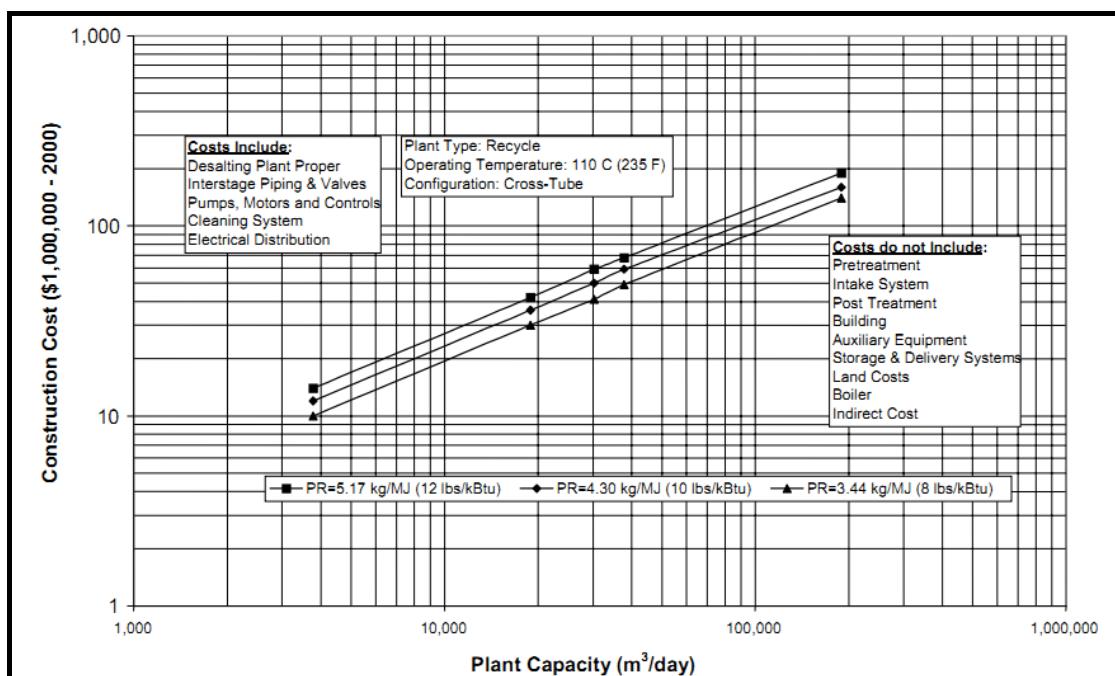
شکل پ.۴-۳- هزینه ساخت فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



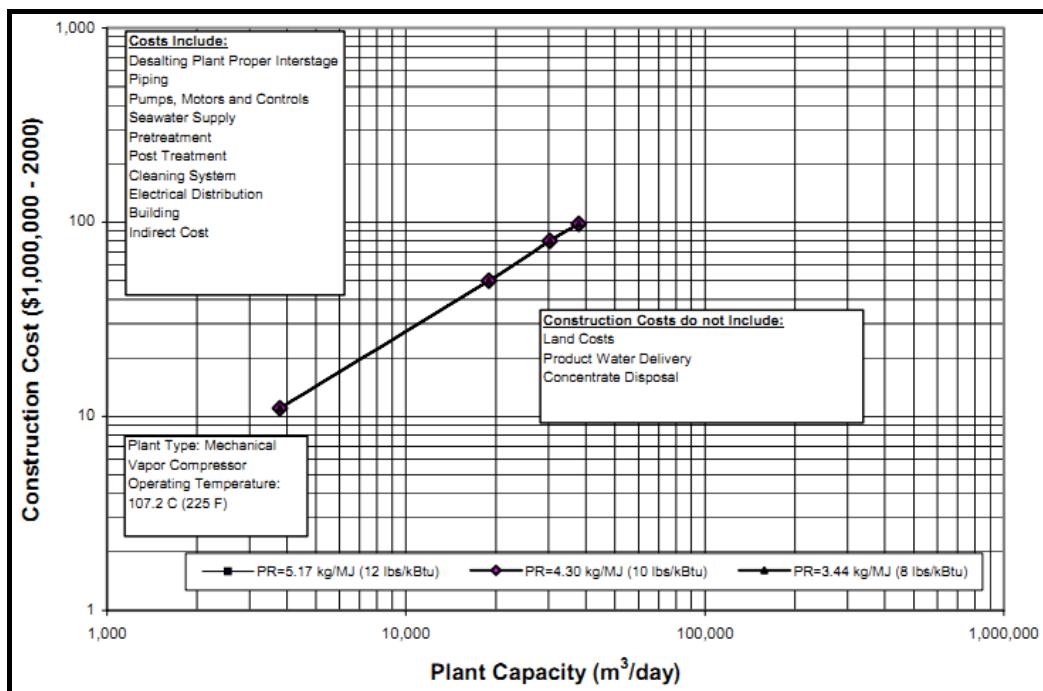
شکل پ.۴-۵- هزینه تجهیزات فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



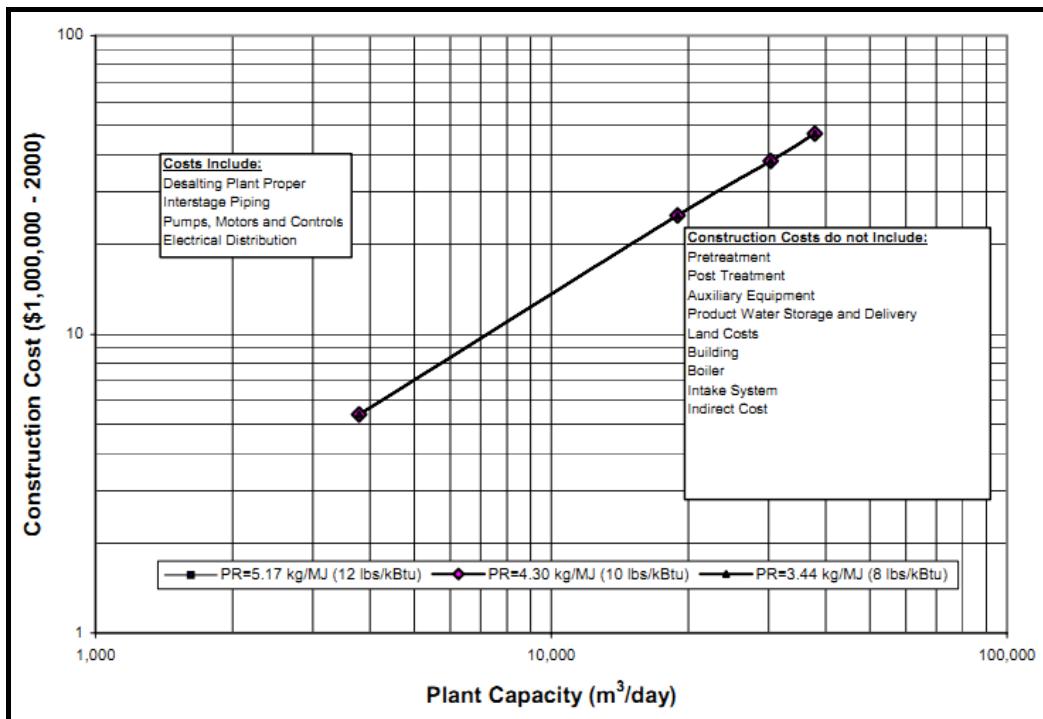
شکل پ.۶-۳- هزینه ساخت فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



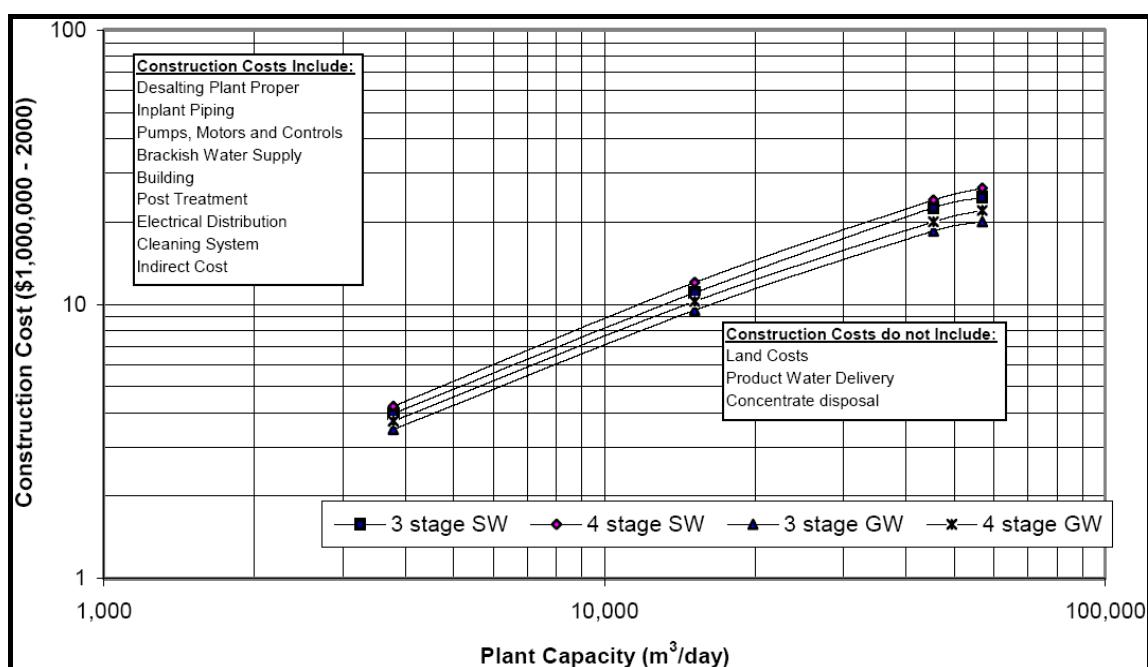
شکل پ.۷-۳- هزینه تجهیزات فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



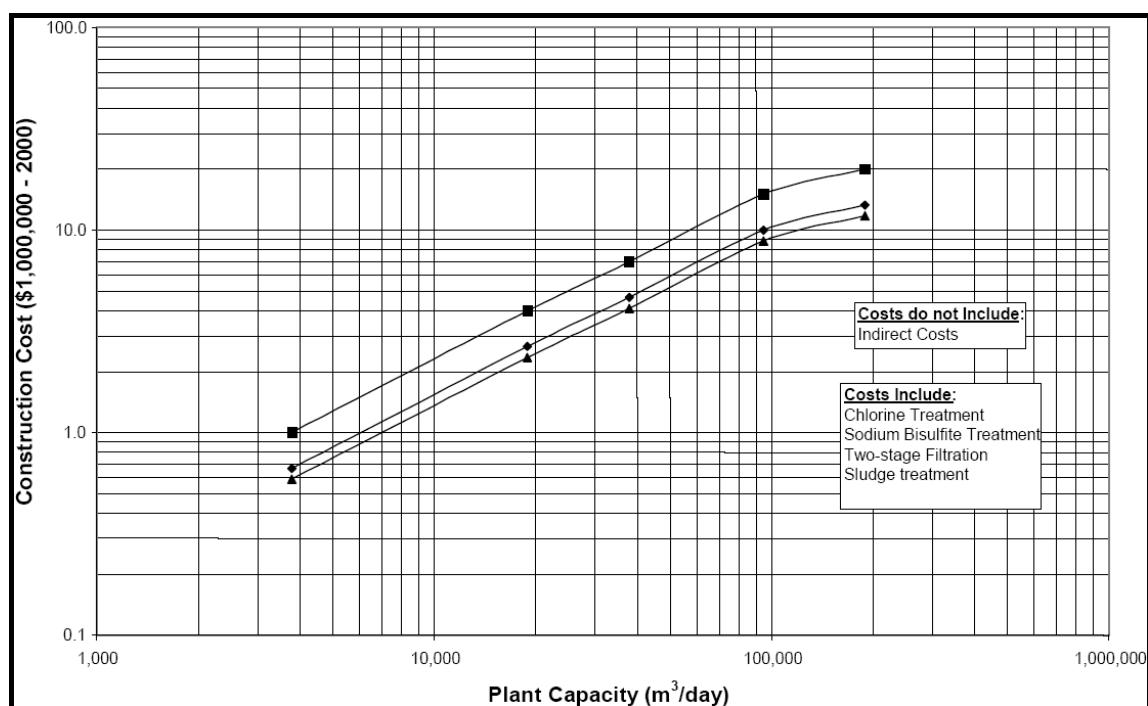
شکل پ.۸-۳- هزینه ساخت فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



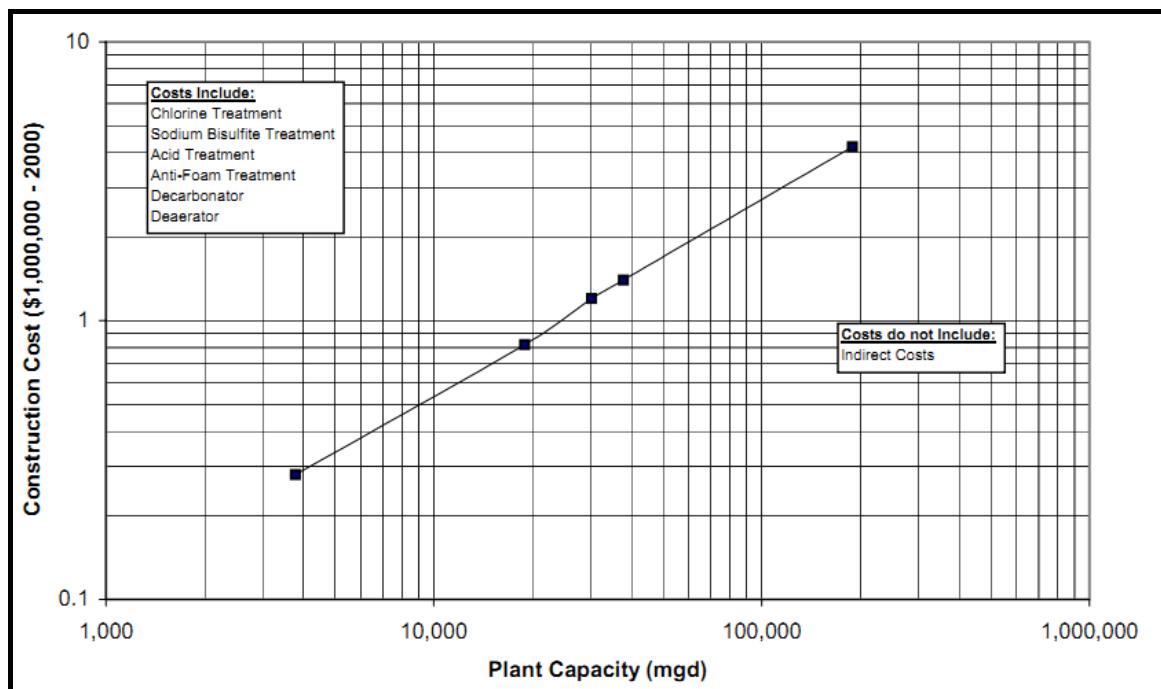
شکل پ.۹-۳- هزینه تجهیزات فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



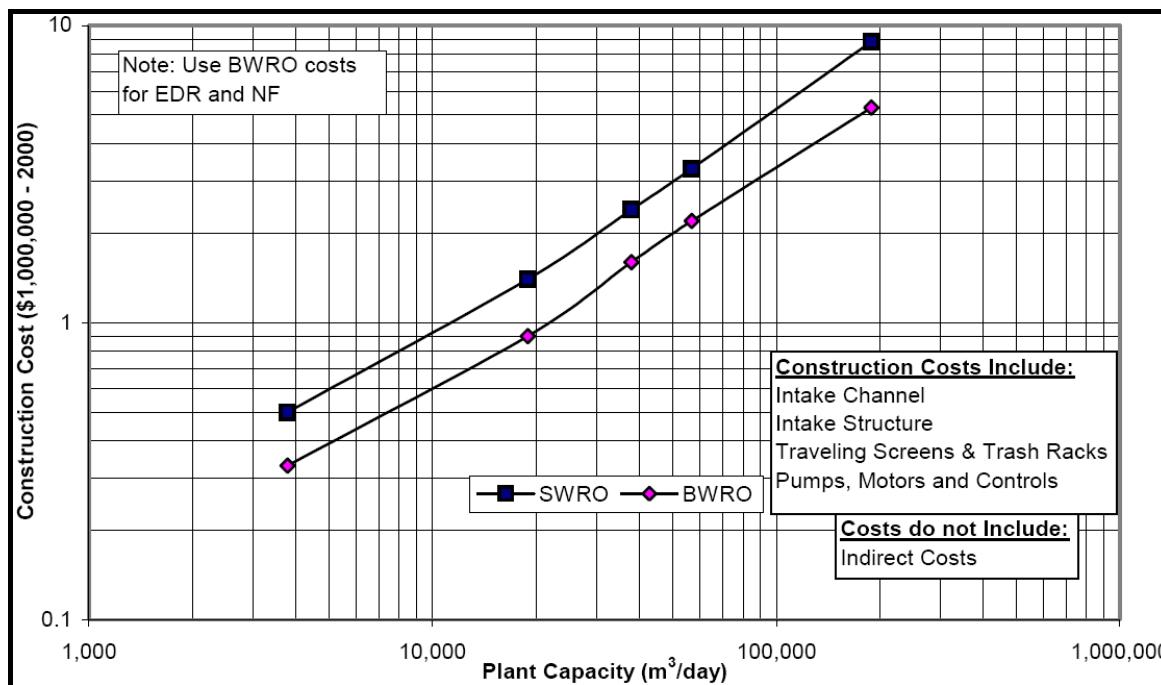
شکل پ. ۱۰-۳- هزینه ساخت فرآیندهای الکترودیالیز و الکترودیالیز معکوس شونده برای آب‌های سطحی و چاه، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



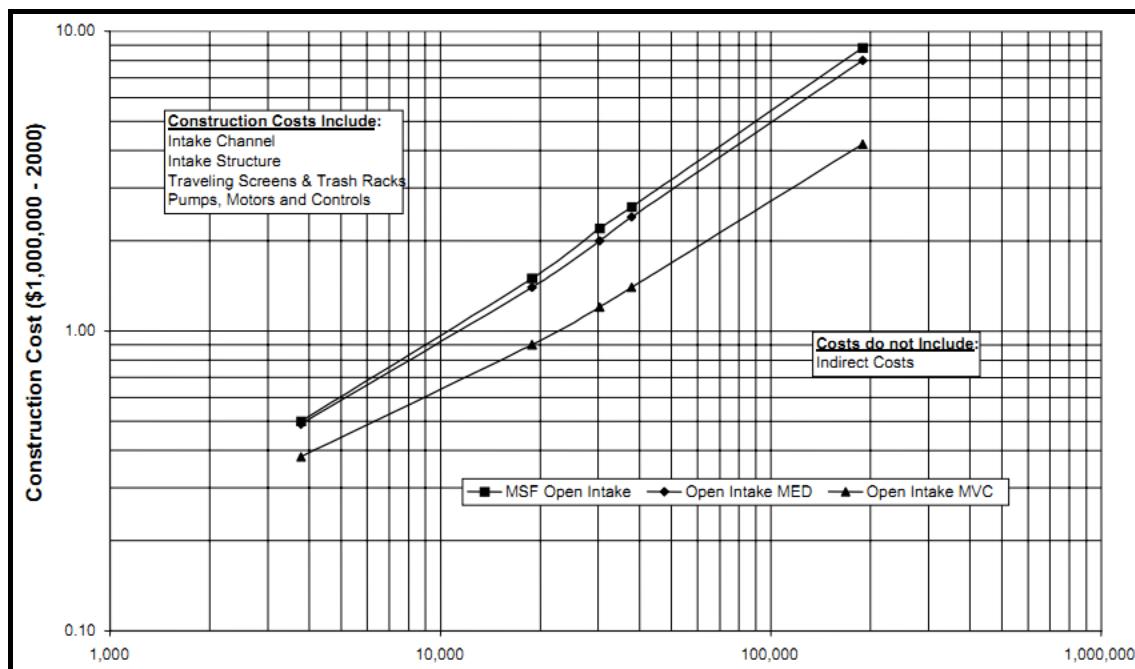
شکل پ. ۱۱-۳- هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای غشایی برای آب‌های سطحی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



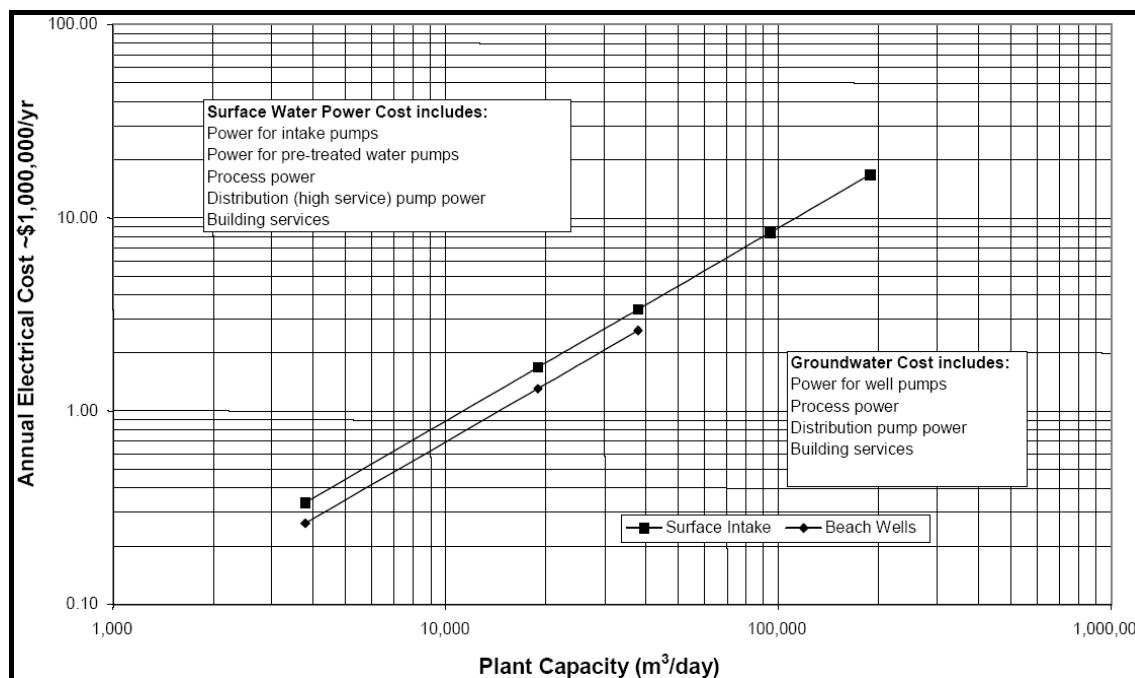
شکل پ. ۱۲-۳ - هزینه ساخت سامانه پیش تصفیه فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



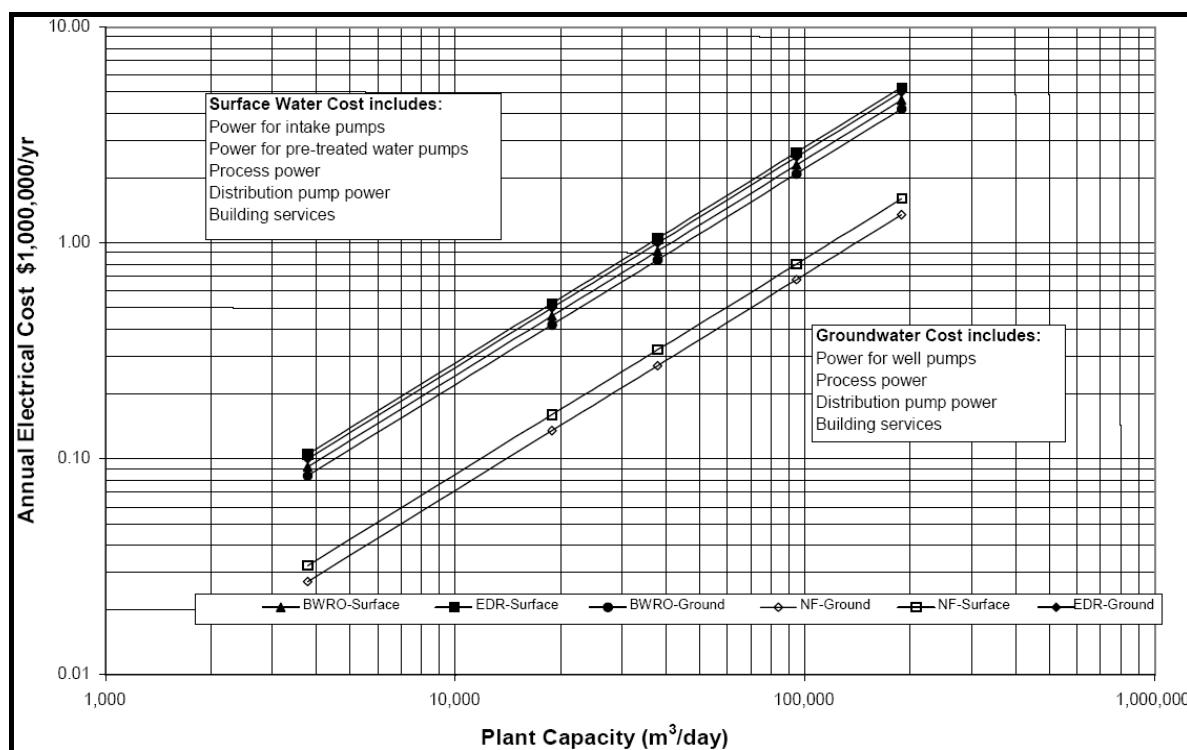
شکل پ. ۱۳-۳ - هزینه ساخت آبگیر فرآیندهای غشایی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



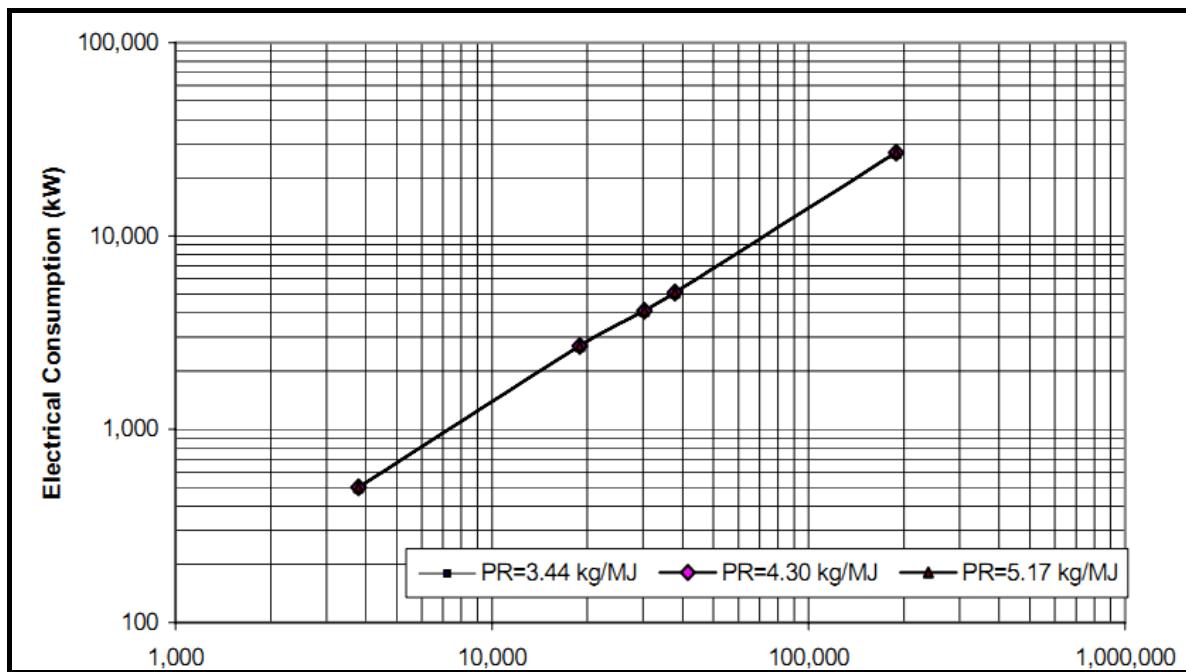
شکل پ. ۱۴-۳- هزینه ساخت آبگیر فرآیندهای حرارتی، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



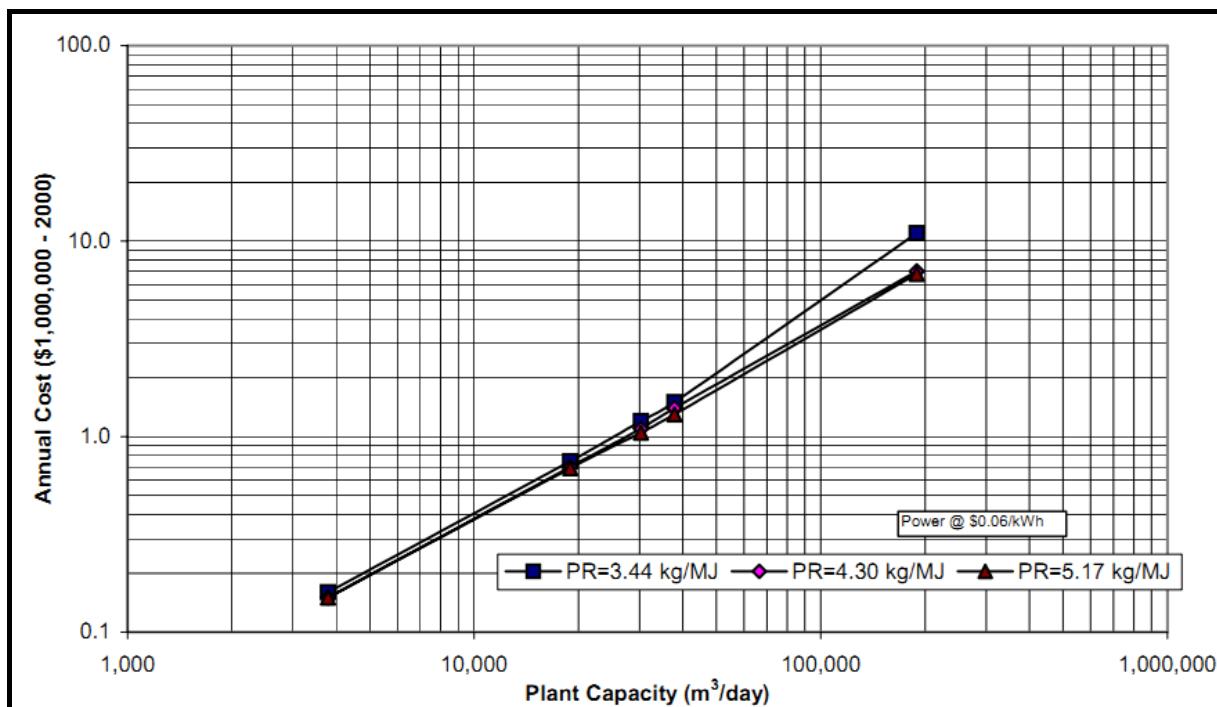
شکل پ. ۱۵- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند SWRO، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



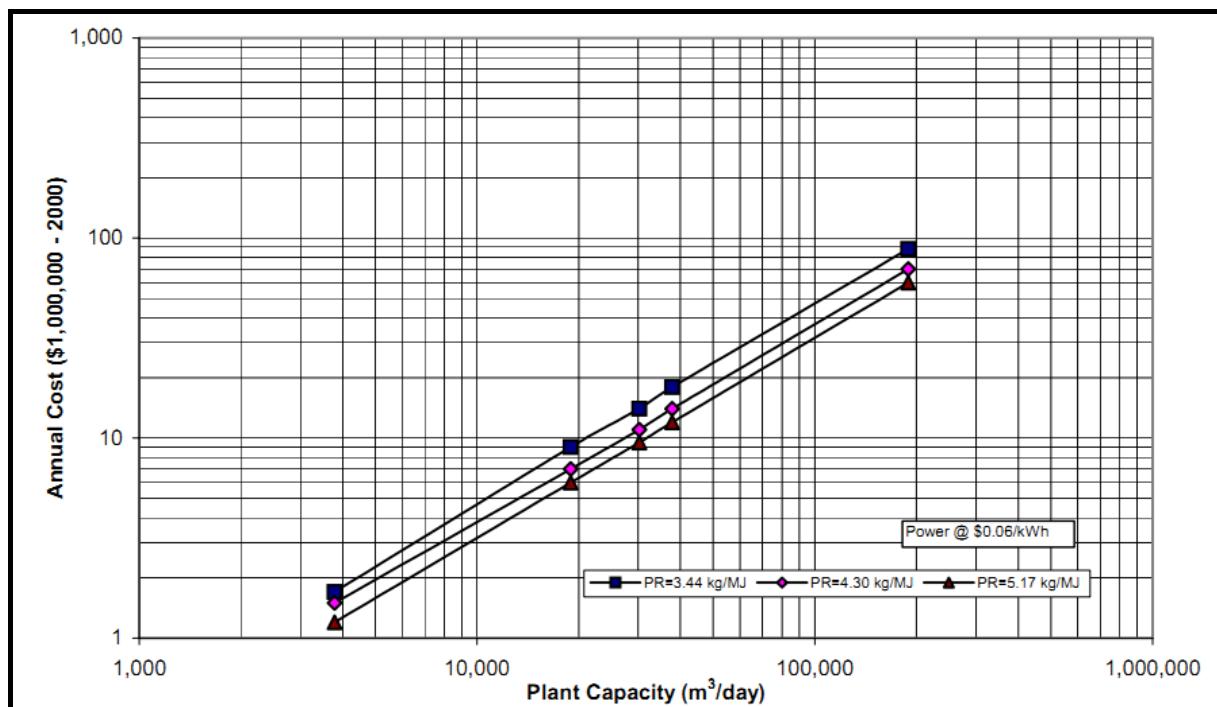
شکل پ. ۱۶-۳- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند BWRO و EDR، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



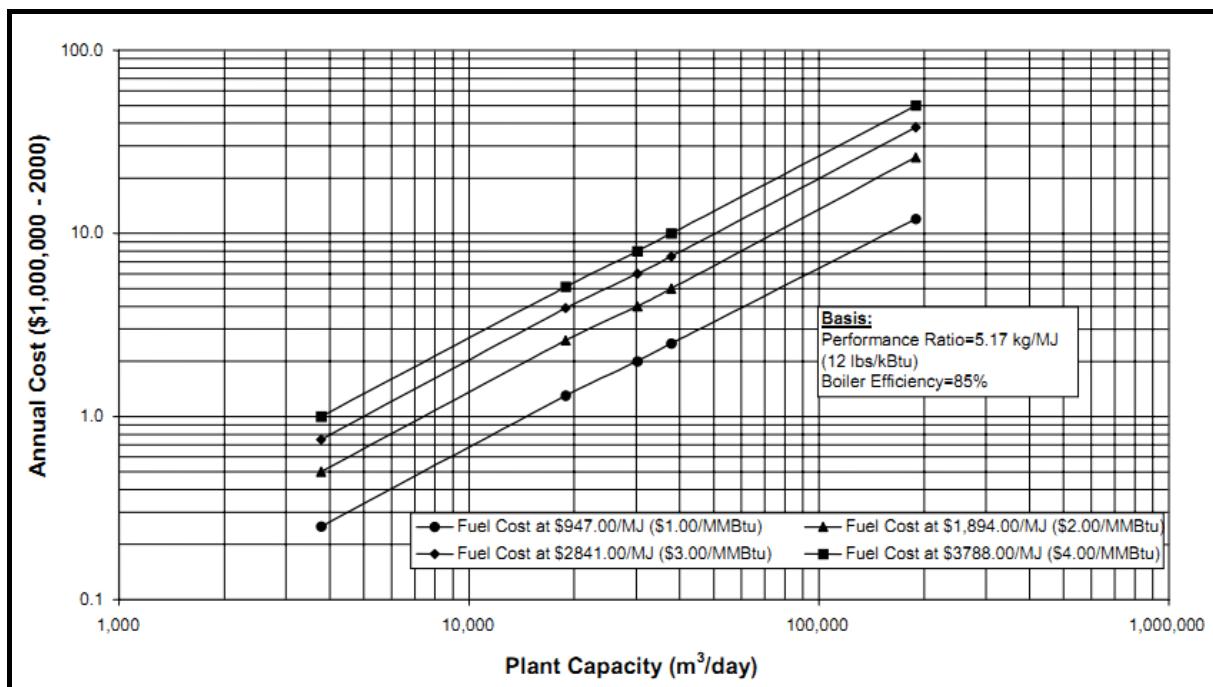
شکل پ. ۱۷-۳- هزینه انرژی الکتریکی - فرآیند MSF، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



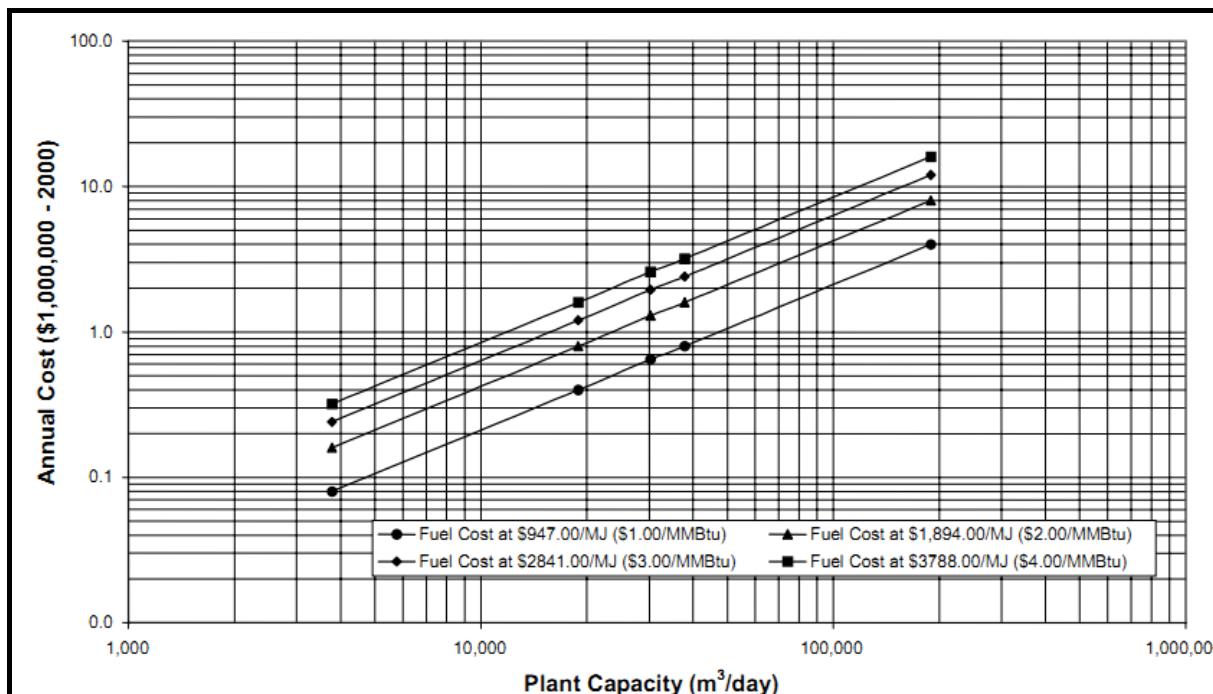
شکل پ.۳-۱۸-هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند MED، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



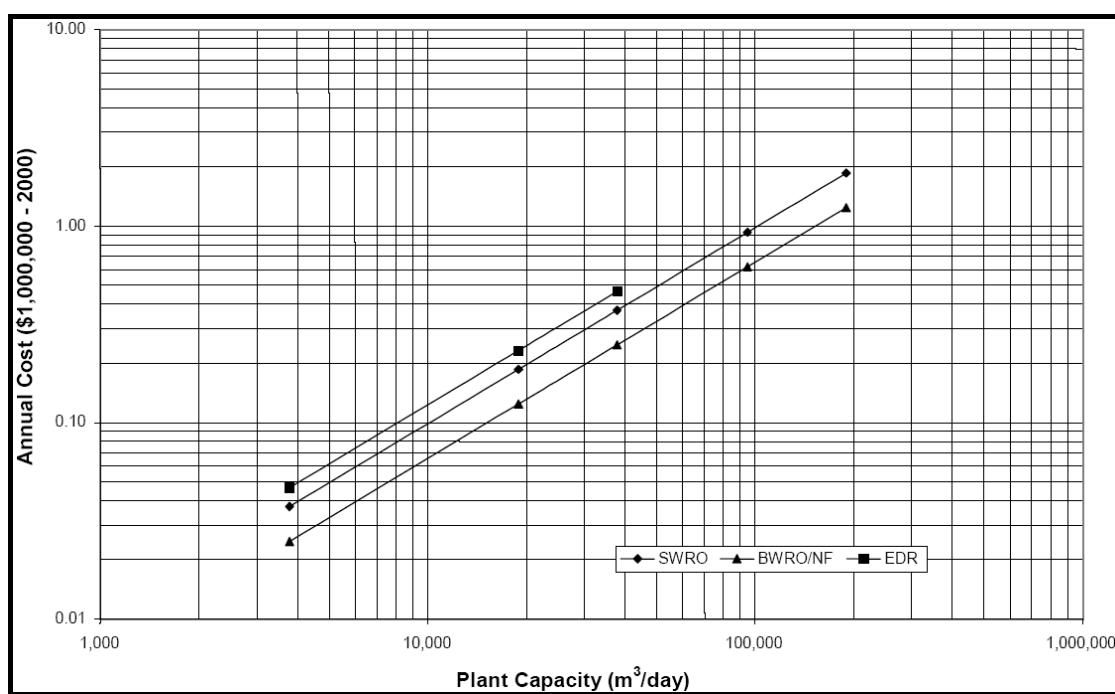
شکل پ.۳-۱۹-هزینه انرژی الکتریکی- فرآیند MVC، سال ۲۰۰۰، کشور آمریکا



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



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



شکل پ. ۲۲-۳- 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 کفریز
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 کلرینه‌شده
Anion	آنیون
European Communities (EUC)	اتحادیه اروپا
Chlorinated Ethenes	اتن‌های کلرینه‌شده
Autotrophic	اتوتروف
Occupational Safety & Health Administration (OSHA)	اداره بهداشت و امنیت شغلی ایالات متحده
Forward Osmosis (FO)	اسمز پیش‌رونده یا اسمز مستقیم
Reverse Osmosis (RO)	اسمز معکوس
Seawater Reverse Osmosis (SWRO)	اسمز معکوس آب دریا
Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)	اسمز معکوس آب لبشور
High Efficiency Reverse Osmosis (HERO)	اسمز معکوس با بازدهی بالا
Acidity	اسیدیته
Escherichia coli (E.coli)	اشرشیاکلی
Oceanography	اقیانوس‌شناسی
Electro Dialysis (ED)	الکترودیالیز
Electro Dialysis Reversal (EDR)	الکترودیالیز معکوس‌شونده
Hollow Fiber	الیافیا فیبر توخالی
Oxidation Reduction Potential (ORP)	شاخص ظرفیت کاهش اکسیداسیون
Enterococci	انتروکوکی
Endotoxin	اندوتوكسین
Anhydrous Calcium Disulfate	انیدروس کلسیم دی‌سولفات

Ilmenite	ایلمنیت
Dark Repair Reaction	بازسازی در تاریکی
Energy Recovery	بازیابی انرژی
Packed Tower Aeration	برج هوادهی فشرده
Immediately Dangerous to Life or Health (IDLH)	بسیار خطرناک برای سلامتی
Chlorinated Benzenes	بنزن های کلرینه شده
Monitoring	پایش
Brine Recirculation	پساب چرخشی
Standby	آماده به کار
Chlorosulfonated Polyethylene (CSPE)	پلی اتیلن کلروسولفوناته
Poly-Tetra-Fluoro-Ethylene (PTFE)	پلی تترافلورو اتیلن
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	تغليظ 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 ($^{\circ}\text{e}$)	درجه انگلیسی
German Degrees ($^{\circ}\text{dH}$)	درجه آلمانی
American Degrees	درجه آمریکایی
Degrees of General Hardness (dGH)	درجه سختی عمومی
French Degrees ($^{\circ}\text{F}$)	درجه فرانسوی
Clarke Degrees ($^{\circ}\text{Clark}$)	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 لابلیا
World Health Organization (WHO)	سازمان بهداشت جهانی
Brine Concentrator and Recovery System (BCRS)	سامانه تخلیظ و بازیافت پساب
Natural Treatment Systems (NTSs)	سامانه‌های طبیعی تصفیه
Total Hardness (TH)	سختی کل
Aeruginosa	سودomonas آرجینوza
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 ریزناز
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 متقطع
Concentration Polarization	قطبش غلظتی
Molecular Weight Cut-Off (MWCO)	قطع وزن مولکولی
Alkalinity	قلیائیت
Phenolphthalein Alkalinity (P. Alkalinity)	قلیائیت فنل فتالئین
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	گرم‌پایی
Grains per Gallon (gpg)	گربن 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 تری‌تریتیل‌بتریل اتر
Draw Solution	محلول کشندۀ
Part / Million (ppm)	معادل میلی‌گرم در لیتر
True Color Unit (TCU)	مقدار حقیقی
Freezing	منجمد سازی
Zone of Initial Dilution (ZID)	منطقه اولیه رقيق‌سازی
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)	هالواستیک اسید
Heterotrophic	هتروتروف
Electrical Conductivity	هدایت الکتریکی
Co-Location	هم محل
Aromatic hydrocarbons	هیدروکربن های آروماتیک
Capacitive Deionization	یون زدایی خازنی

منابع و مراجع

- ۱ دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان حفاظت محیط 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 به منظور تامین بخشی از آب شرب کشور، ویرایش اول، ۱۳۸۵
- ۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو (۱۳۸۸)، «راهنمای آب‌گیری از رودخانه و حفاظت آن»، ش ۵۰۹
- ۴ سید احمد میرباقری، امین شمس، امکان‌سنجی استفاده از فناوری اسمز معکوس در تصفیه آب‌های لب‌شور جهت تامین آب شرب شهری در کشور، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۸۷
- 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، تجدیدنظر 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
- ۱۰ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۱۱: ۱۳۸۶، تجدید نظر ششم، آب آشامیدنی - ویژگی‌های میکروبیولوژی
- 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 Zuan, 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: Practicesand 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- Greenleea, L. F., Lawlerb, D. F., Freemana, B. D., Marrotc, B. and Mouline, 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 waterdesalination 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), "Stateof-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 Work 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 Ettonney H.M., Fundamentals of Salt Water Desalination (2002), Elsevier Science B.V., The Netherlands
- 77- Ettonney, 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), ElsevierScience & 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-Amadi, 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 DewvaporationDesalination 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, 5thEd.

-
- 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