سرشناسه: رازقی، ناصر، ۱۳۱۱.
عنوان و نام پدید آورنده: نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور (علم و صنعت) / مولفان ناصر رازقی، رؤیا منصوری.
مشخصات نشر: تهران: رؤیا منصوری، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری: [۴۹۶] ص. : مصور، جدول، نمودار.
ISBN: 978-964-04-8365-7
فهرست‌نویسی براساس اطلاعات فیپا.
موضوع: آب‌های شور – نمک‌زدایی.
موضوع: آب – تصفیه.
شناسه افزوده: منصوری، رؤیا، ۱۳۵۰.
رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۱ ۸ ن ۲ ر / TD ۴۷۹
رده‌بندی دیویی: ۶۲۸/۱۶۷
شماره کتابشناسی ملی: ۲۷۹۰۳۲۸

نمک زدایی از آب‌های شور و لب شور (علم و صنعت)

مؤلفان: دکتر ناصر رازقی، مهندس رؤیا منصوری
طراح جلد: شرکت نارون آرا
صفحه آرایی: زهرا قراگوزلو
نوبت چاپ: اول- ۱۳۹۱
شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
ناشر: مؤلفان
لیتوگرافی و چاپ: نقره آبی
صحافی: نقره آبی
قیمت: ۱۹۰۰۰ تومان
شابک: ۷-۸۳۶۵-۰۴-۹۶۴-۹۷۸
ISBN: 978-964-04-8365-7

تمامی حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به شرکت نارون آرا می‌باشد .

نمک زدایی از آب‌های شور و لب شور
(علم و صنعت)

مؤلفان: دکتر ناصر رازقی، مهندس رؤیا منصوری

فهرست فصل‌ها

۱۰ ■ **سخنی با خواننده**

۱۲ ■ **پیشگفتار**

۲۰ ■ **فصل اول: پتانسیل آب کشور**

۲۰ مقدمه
۲۲ جمعیت کشور
۲۳ چالش‌های توسعه منابع آب
۲۵ منابع جدید

۳۲ ■ **فصل دوم: استفاده از پساب تصفیه شده**

۳۲ مقدمه
۳۷ تصفیه پساب
۳۷ مصرف در بخش کشاورزی
۳۸ تغذیه منابع آب زیرزمینی
۴۶ استفاده دوباره در صنعت
۴۶ مصرف‌های شهری
۵۰ افزایش پتانسیل منابع آب شرب
۵۱ توجهات اساسی در برنامه‌ریزی
۵۵ تصفیه فاضلاب
۵۷ تصفیه پیشرفته و بیشتر
۶۰ تاسیسات توزیع پساب تصفیه شده
۶۱ حفظ بهداشت محیط زیست
۶۳ آیین‌نامه‌های استفاده از پساب
۶۹ خطوط راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره
۷۸ توجهات در مورد جدول شماره ۲-۱۶
۷۹ مشارکت جامعه
۸۱ استفاده دوباره در دنیا

۸۸ ■ **فصل سوم: وضعیت صنعت نمک‌زدایی در جهان**

۸۸ مقدمه
۹۰ مفهوم نمک زدایی
۹۰ تاریخچه نمک‌زدایی
۹۲ طبقه‌بندی آب‌ها از لحاظ شوری
۹۵ پذیرش جهانی صنعت نمک‌زدایی
۹۸ چشم انداز نمک‌زدایی در اوایل هزاره سوم
۹۹ وضعیت نمک‌زدایی در جهان در هزاره سوم
۱۰۷ شرکت‌های برتر در زمینه تاسیسات نمک‌زدایی
۱۱۳ بازار آینده نمک‌زدایی
۱۱۴ مطالعه موردی تاسیسات نمک‌زدایی در جهان
۱۱۹ وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی در ایران

۱۲۸ ■ **فصل چهارم: تکنولوژی‌های نمک زدایی**

۱۲۹ مقدمه
۱۲۹ فرایندهای ممبرانی
۱۳۱ انتخاب ممبران
۱۳۴ ممبران‌های پیچیده
۱۴۰ معادله‌های صنعت اسمز معکوس
۱۴۴ تاسیسات نمک‌زدایی با ممبران
۱۴۹ نگرانی‌های ناشی از ناخالصی‌های آب در تاسیسات ممبران
۱۵۰ زدایش جامدات
۱۵۱ کنترل ترسیب شیمیایی
۱۵۱ کنترل کربنات کلسیم
۱۵۴ کنترل سولفات کلسیم
۱۵۴ غلظت املاح محدودکننده و سیلیس
۱۵۹ مبارزه با میکروب‌ها
۱۶۱ سولفید هیدروژن
۱۶۱ آهن و منگنز
۱۶۲ مبارزه با مواد آلی
۱۶۳ کنترل پی اچ
۱۶۴ دما
۱۶۵ طراحی ممبران
۱۶۷ توجهات در امر بازیافت

۱۶۹ انرژی
۱۷۰ فلاکس
۱۷۱ دما
۱۷۴ ترتیب قرارگیری عنصرهای اسمز معکوس
۱۷۵ طرح ترتیب پساب
۱۷۸ طرح ترتیب آب تولیدی
۱۸۰ شستشوی المانها
۱۸۱ بازیافت انرژی
۱۸۴ تاسیسات اسمز معکوس و کنترل درصد بازیافت
۱۸۹ تاسیسات دارای چند مرحله استوانه‌های فشار
۱۹۵ الکترودیالیز
۱۹۷ طرح مجموعه الکترودیالیز و نوع ریورسال
۱۹۸ مصرف انرژی
۱۹۹ قطبی‌شدن
۲۰۵ میکروفیلترها و اولتروفیلترها
۲۱۳ شستشوی میکروفیلتر و اولترافیلتر
۲۱۳ تاسیسات هیبرید
۲۱۴ فرایندهای نمک‌زدایی گرمایی
۲۱۵ تقطیر چند مرحله‌ای
۲۲۲ خصوصیات تقطیر چندمرحله‌ای
۲۲۴ تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای
۲۲۸ شرح فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای
۲۳۳ تراکم بخار آب
۲۳۸ پیش تصفیه
۲۳۹ فرایندهای تبخیر - تقطیر
۲۳۹ خورندگی در فرایندهای تبخیر - تقطیر
۲۴۱ خورندگی در تاسیسات فرایندهای ممبرانی
۲۴۳ ترسیب در فرایندهای ممبرانی
۲۴۷ گرفتگی بیولوژیکی در فرایند ممبرانی
۲۵۱ تصفیه نهایی در تاسیسات نمک زدایی
۲۵۱ پایدار کردن آب
۲۵۳ تخلیه گازهای محلول آب
۲۵۵ گندزدایی

۲۵۸ ■ فصل پنجم: اثرهای محیط‌زیستی تاسیسات نمک‌زدایی
۲۵۹ مقدمه
۲۶۰ توجهات آبگیری از دریا
۲۶۱ توجهات در آبگیری از منابع زیرزمینی
۲۶۲ تجدیدشوندگی یا توسعه پایدار
۲۶۳ نشست زمین
۲۶۳ مدیریت پساب
۲۶۸ مدیریت تخلیه و دفع پساب
۲۶۹ مطالعات صحرایی
۲۷۰ تخلیه به منابع آب متعارف
۲۷۱ ملاحظات در مورد کیفیت آب تولیدی
۲۷۳ گازهای گلخانه‌ای
۲۷۴ توجهات حقوقی
۲۷۷ چالش‌های کلی
۲۷۷ اثرهای محیط‌زیستی نمک‌زدایی گرمایی و اسمزمعکوس آب دریا
۲۷۷ آبگیر تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای
۲۷۸ آبگیر تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای
۲۷۹ آبگیری از دریا برای تاسیسات اسمزمعکوس
۲۷۹ تخلیه پساب حاوی مواد افزودنی
۲۸۰ خواص فیزیکی پساب تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای
۲۸۲ خواص فیزیکی پساب تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای
۲۸۳ خواص فیزیکی پساب در اسمزمعکوس
۲۸۴ بیوسیدها در تاسیسات گرمایی و اسمز معکوس
۲۸۷ بازدارنده های ترسیب در تاسیسات گرمایی
۲۸۹ مواد بازدارنده کف
۲۹۰ بازدارنده‌های خوردگی در تاسیسات گرمایی
۲۹۲ مواد منعقدکننده در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا
۲۹۴ بازدارنده‌های ترسیب در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا
۲۹۴ مواد شیمیایی شستشوی ممبران
۲۹۵ محصولات خوردگی در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا
۲۹۵ خنثی سازی کلر در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا
۲۹۶ پایش و بازرسی‌های بهداشتی در مراحل مختلف نمک‌زدایی
۲۹۶ پایش
۲۹۶ تصویب
۲۹۷ تایید

۲۹۸ پایش در مرحله بهره‌برداری از تاسیسات نمک زدایی
۳۰۵ مقررات
۳۰۸ نتیجه‌گیری

۳۱۰ ■ فصل ششم: روند انجام مطالعات

۳۱۱ حدود مطالعات
۳۱۲ منابع آب
۳۱۶ آبگیر و انتقال
۳۱۷ آبگیری از دریا
۳۱۹ آبگیرهای مستقیم
۳۲۲ آبگیرهای غیر مستقیم
۳۲۳ پیش تصفیه آب
۳۲۵ هوازدایی
۳۲۶ هوادهی
۳۲۶ زلال سازی
۳۲۷ فیلتراسیون
۳۲۸ اصلاح آب
۳۲۹ کلر زنی
۳۳۰ انتخاب فرایند نمک زدایی از آب
۳۳۴ انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی
۳۳۸ محدودیت‌های محیط زیستی برای انتخاب محل
۳۴۰ طراحی و انجام محاسبه‌های تاسیسات اسمز معکوس
۳۶۳ مدیریت پساب
۳۶۵ براورد مقادیر
۳۶۵ آنالیز اقتصادی
۳۶۶ مراحل مطالعات

۳۶۸ ■ فصل هفتم: روش‌های اجرایی پروژه‌های نمک‌زدایی در ایران

۳۶۸ مقدمه
۳۷۱ روش‌های اجرایی طرح
۳۷۴ مشارکت بخش خصوصی
۳۷۵ خصوصی‌سازی
۳۷۶ واگذاری امتیاز
۳۷۷ اجاره
۳۷۸ بهره‌برداری و مدیریت

۳۷۸ خدمات خاص
۳۷۹ طرح‌های راهگشا
۳۸۱ مزایا و محدودیت‌های گزینه بی او تی
۳۸۳ تامین منابع و مدیریت مالی
۳۸۶ مدیریت ریسک پروژه
۳۸۷ اصول طرح‌های راهگشا مانند "بی او تی" و "بی او او"

۴۰۲ ■ فصل هشتم: ارزیابی اقتصادی طرح‌های نمک‌زدایی

۴۰۳ مقدمه
۴۰۳ اصول ریاضی بحث های اقتصادی
۴۰۵ ترکیب سرمایه
۴۰۶ هزینه‌های سرمایه‌ای
۴۰۷ هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری
۴۲۳ هزینه‌های یک سازمان آب
۴۲۴ نرخ فروش آب
۴۲۸ مسئله زمین
۴۳۱ سرمایه‌گذاری و قیمت تمام شده آب

۴۵۶ ■ فصل نهم: استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی

۴۵۷ مقدمه
۴۵۸ آیینه‌های انعکاس و تمرکز نور خورشید
۴۶۱ ذخیره انرژی حرارتی
۴۶۳ تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی
۴۶۷ تمرکز انرژی خورشیدی برای توربین های بخاری
۴۶۹ تمرکز نورهای خورشیدی برای توربین های گازی
۴۷۲ تمرکز نورهای خورشیدی برای تولید برق و حرارت
۴۷۴ انتخاب اولیه صنایع تمرکز انرژی خورشیدی
۴۷۷ تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک زدایی آب دریا در مقیاس بزرگ
۴۷۸ مقایسه فنی عملکردها طبق گزارش های موجود
۴۸۲ مقایسه اقتصادی عملکردها در یک مورد خاص
۴۸۵ هزینه ها و قیمت ها
۴۸۹ تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک زدایی آب دریا در مقیاس کوچک
۴۹۰ تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی در جهان
۴۹۲ سازندگان تاسیسات این صنعت

۴۹۴ ■ مراجع

سخنی با خواننده

انگیزه‌ای که ما را به تألیف این کتاب واداشت، آلودگی رودخانه‌های کشور، به ویژه رودخانه کارون بود تا با به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید، قدمی در راه جبران کمبود آب برداریم. هر گونه پیشرفت در کشور مستلزم نوآوری و نواندیشی است و بستر نوآوری نیز پژوهش است. با انتشار نتایج پژوهش‌ها می‌توان به افزایش دانش فنی کشور کمک کرد. تردیدی نیست که کشور ما در راه توسعه پایدار همه جانبه، با کمبود آب روبه‌روست که استفاده از فناوری نمک‌زدایی و تأمین آب مورد نیاز از منابع آب‌های شور می‌تواند این مانع توسعه و رشد را کمرنگ‌تر کند.

شرکت نارون‌آرا با توجه به رسالت خود "متعهد به محیط زیست" و به منظور ایجاد پل ارتباط و اعتماد با جامعه خود، تصمیم به تألیف کتابی در زمینه "نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور" گرفت تا در راه توسعه صنعت نمک‌زدایی گامی هر چند کوچک برداشته باشد. شرکت نارون‌آرا در اجرای پروژه‌های زیربنایی در زمینه‌های محیط‌زیست و انرژی، نفت و گاز و سیستم‌های حرکت و کنترل فعالیت‌های گسترده‌ای داشته و امیدوار است در آینده در زمینه توسعه اطلاعات تخصصی محیط‌زیست و انرژی‌های نوفعالیت نوین خود را آغاز نماید.

در اینجا از آقایان خوزه آنتونیو مدینا[1] (رئیس سابق انجمن بین‌المللی نمک‌زدایی)، پیتر الیس[2] (معاون شرکت اسکات ویلسون)، مارک ولف[3]، بروس اسپرول و استیو برد[4] (مدیر عامل و مدیران ارشد شرکت گرین اسپن - گروه محیط‌زیست تایکو) که شرکت نارون‌آرا را در انجام رسالت خود یاری کرده‌اند و همچنین مؤلفان کتاب، آقای دکتر ناصر رازقی و خانم مهندس رؤیا منصوری و تیم کارشناسان و متخصصان همراه سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

در پایان این کتاب را به مرحوم پدرم و تمامی کسانی که دغدغه حفاظت از محیط‌زیست دارند تقدیم می‌نمایم.

کامران کاویان

مدیرعامل شرکت نارون‌آرا

---

1. Jose Antonio Medina, Ex-President of International Desalination Association (IDA)
2. Dr. Peter Illes, Director of Scott Wilson Co.
3. Mark Wolf, Managing Director of Greenspan (Tyco Environmental Systems)
4. Bruce Sproule & Steve Bird of Greenspan (Tyco Environmental Systems)

تقدیر و تشکر

نویسندگان این کتاب مایلند مراتب قدردانی و سپاسگزاری خود را به کارشناسان و دانشپژوهانی که با ارائه مستقیم و غیرمستقیم آگاهیها و اطلاعات مربوط ما را در تدوین این کتاب یاری داده‌اند، همچنین به صاحبان آثاری که نامشان به عنوان مؤلفان تألیفات مراجع در پایان کتاب آمده است، و به ویژه به گروه مشاوران و همکاران عزیز، خانم‌ها مهندس زهره اختیارزاده، دکتر کتایون کریم‌زاده، فریده ترقی و آقایان مهندس سعید دزفولی، مهندس پیمان روحانی، دکتر مجتبی فاضلی، مهندس محمدباقر کیایی، مهندس محمود گرامی و دکتر بهروز سلامی تقدیم کند.

همچنین از زحمات آقای جمشید ارجمند برای ویراستاری و خانم‌ها گیلدا تشکری، زهرا قراگوزلو، فرانک کیانپور، شراره بلورچی و همکاران شرکت نارون‌آرا در فرایند تولید کتاب تشکر و قدردانی می‌گردد.

اکنون که این مهم به پایان رسیده است نویسندگان لازم می‌دانند که از آقای مهندس کامران کاویان مدیر عامل و خانم دکتر کیهاندخت کاویان‌پور معاونت نفت و گاز شرکت نارون‌آرا که ما را بی‌دریغ در تهیه کتاب پشتیبانی همه جانبه نموده‌اند تشکر و قدردانی نمایند.

از خواننده محترم درخواست می‌شود که پس از مطالعه این کتاب هرگونه نظر اصلاحی خود را به شرکت نارون‌آرا بفرستد تا در تجدیدنظر و چاپ بعدی کتاب مورد استفاده قرار گیرد.

نویسندگان

ناصر رازقی - رؤیا منصوری

پیشگفتار

یکی از منابع مورد نیاز برای هر گونه توسعه، احساس امنیت روانی، آسانی و نشاط زندگی و بهداشت در این سیاره آب است. در حالی که میانگین سالانهٔ بارشهای آسمانی در کشور ما تقریبا بدون تغییر و یا ثابت است اما با افزایش جمعیت، سرانه آب خام رو به کاهش می گذارد. از طرف دیگر برای توسعه در زمینه های کشاورزی، صنعتی و شهری به آب بیشتری نیاز است. لذا با گذر زمان ما به طور روز افزون با کمبود آب روبه‌رو خواهیم شد. با فرض ضریب افزایش جمعیت معادل ۱/۵ درصد در سال، وضعیت فعلی، و با فرض حداقل نیاز سرانه خام سالانه به آب برای توسعه همه جانبه معادل ۲۰۰۰ متر مکعب، در سال‌های نه چندان دور، ما به حدود ۲۰۰ میلیارد مترمکعب آب در سال نیاز خواهیم داشت در حالی که پتانسیل آب تجدیدشونده کشور کمتر از ۱۵۰ میلیارد متر مکعب است. از طرف دیگر با رشد جمعیت و افزایش فضاهای شهرنشینی و از بین رفتن مراتع و جنگلها بخشی از بارشها به صورت سیلابهای ویرانگر از دسترس استفاده خارج شده و لذا سهم کمتری از همان پتانسیل در اختیار ما قرار می گیرد. از اولین توجهات برنامه‌ریزی توسعه در همه زمینه‌ها عبارتنداز:

الف: تدوین طرح‌های صرفه‌جویی در مصرف آب،

ب: جلوگیری از هدر رفت و آلودگی آن،

ج: جستجو و توسعه منابع جدید آب.

این کتاب به دو منبع جدید می‌نگرد که اولی پساب تصفیه خانه‌های‌فاضلاب شهری و دومی منابع آب لب شور و شور کشور است.

در زمینه تصفیه خانه‌های فاضلاب نیاز به ارائه مطالب علمی در این کتاب احساس نمی‌شود زیرا دانش و صنعتی است که در جهان و ایران دارای پیشینه‌ای درازمدت است و کتابهای زیادی در زمینه تصفیه فاضلاب برای مصرفهای مختلف در دسترس است. اما اهمیت وضع و تدوین قوانین و مقررات استفاده از آن در این کتاب مورد بحث قرار گرفته است. به علاوه درباره نمک‌زدایی از آبهای لب شور و شور و برنامه‌ریزی کلان و بحث‌های تخصصی صحبت شده است. کتاب دارای ۹ فصل است که چکیده آن در پیشگفتار مطرح می شود.

فصل اول: منابع آب

در این فصل بر مبنای ارقام و اعداد گزارشهای موجود پتانسیل آب تجدید شونده کشور ارائه می‌شود و نتیجه‌گیری می‌شود که استفاده صددرصد از پتانسیل منابع آب تجدیدشونده کشور با اما و اگرهای زیادی روبه‌رو است و ما با کاهش مقدار کمی و افزایش آلودگی آن روبه‌روییم و لذا در زمینه کاهش مصرف و جلوگیری از آلودگی منابع آب‌و استفاده عملی از پتانسیل موجود باید برنامه‌های درازمدت تدوین کنیم.

فصل دوم: استفاده از پساب تصفیه شده

در فصل دوم، پتانسیل مقدار پساب تصفیه خانه های فاضلاب حال و آینده کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و یادآوری می‌شود که اولا برای حفظ منابع آب و خاک از آلودگی، ایجاد تصفیه خانه‌های فاضلابهای مجتمع‌ها الزامی است و ثانیا برای استفاده از آن پس از انجام تصفیه‌های بیشتر باید توجه به وضع، تدوین، اجرا و نظارت بر اجرای مقررات این کار داشته باشیم. اهمیت بهداشت و سلامت مردم و حفظ محیط زیست یک اصل است و استفاده از فاضلاب تصفیه شده که در بهترین وضعیت کمتر از ۲/۵ درصد نیاز سالانهٔ کشور است نسبت به آن، فرع است. در این فصل چکیده معیارها و استانداردهای مورد استفاده و پیشنهادی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحد امریکا ارائه می‌شود تا از تجربه‌ها و نظرات مذکور دست اندرکاران کشور، بهره‌گیری کنند.

فصل سوم : وضعیت صنعت نمک‌زدایی در جهان

در فصل سوم کتاب به وضعیت صنعت نمک‌زدایی در جهان پرداخته شده و نشان داده شده

است که در خاورمیانه، ایران و به طور کلی در جهان تولید آب از آب‌های شور و لب شور با سرعتی درخور توجه رو به گسترش است. چنانکه در سال ۲۰۰۹ میزان آب تولید شده از تاسیسات نمک‌زدایی به حدود ۷۰ میلیون متر مکعب در روز رسید. و جالب آنکه حدود ۶۴ درصد این تولید از طریق نمک‌زدایی ممبرانی و ۳۴ درصد آن از راه فرایندهای نمک زدایی گرمایی و ۲ درصد از طریق روش‌های دیگر بوده است.

فصل سوم خواننده را به این نکته توجه می‌دهد که صنعت نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب شور صنعتی نوپا نیست و سابقه‌ای در حدود ۵۰ سال دارد و با اتکا به این نکته می توان مشکلات کمبود آب بسیاری از مناطق کشور بخصوص سواحل خلیج فارس و دریای عمان و بعضی مناطق داخلی کشور را که دارای منابع آب لب شور هستند برطرف نمود.

با قبول اینکه بازار آینده نمک‌زدایی تحت تاثیر رقابت بین فرایندهای متفاوت تصفیه آب قرار دارد، باید اذعان داشت که رقابت بین نمک‌زدایی آبهای دریا و لب‌شور با تصفیه متعارف آب بیشتر است. این موضوع با پیشرفت آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و نیز بهره‌برداری بیش از حد از این منابع، به خصوص در کشورهایی که در مناطق خشک واقع شده‌اند، با افزایش جمعیت جوامع و صنعتی شدن تشدید می گردد و الزاما رقابت بین فرایندها بسیار تحت تاثیر هزینه تمام شده آب قرار می گیرد.

فصل چهارم: تکنولوژی‌ها و فرایندهای کاربردی نمک‌زدایی

در فصل چهارم تکنولوژی‌ها و صنایع کاربردی نمک‌زدایی با تمرکز روی اسمز معکوس مورد بحث قرار می‌گیرد. صنعت نمک‌زدایی توسط ممبران‌های مناسب اسمز معکوس و خصوصیات آن‌ها از نظر دفع و عبور نمک و ساختمان صفحه‌ای و الیافی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

اهمیت درصد بازیافت در نمک‌زدایی از آب شور و لب شور و غلظت املاح پساب و آب تولیدی و چگونگی انجام محاسبات بیان می‌شود. مطالبی مانند فشار اسمزی آب خام، فشار هیدرولیکی لازم، انواع ممبران‌های موجود در بازار، میزان عبور آب از آن‌ها و ویژگیهای آب و مشکلات ناشی از مواد آلی، ترکیبهای شیمیایی و مواد معلق در آب خام و چگونگی اصلاح آب و انجام محاسبات به تفصیل ارائه شده است.

عنصرهای اصلی یک کارخانه نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس و معیارهای طراحی

و دیاگرام فرایندهای لازم و ابزارهای اصلی کنترل آن‌ها در این فصل آورده شده است.

روش‌های بهره‌برداری، مصرف انرژی و شستشوی ممبران‌ها، دفع پساب و تصفیه نهایی آب تولیدی از مطالب اصلی این فصل است که در آن به دانش و تکنولوژی‌های نمک‌زدایی به وسیلهٔ فرایندهای تبخیر و تقطیر اشاره می‌شود. تکنولوژی تقطیر چند مرحله‌ای، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و تراکم بخار و تکنولوژی تولید توام آب و برق از مطالب دیگر بخش‌های این فصل است. ویژگیهای این روش‌ها مانند درصد بازیافت، تناسب عملکرد، کیفیت شوری پساب و آب تولیدشده و تصفیه نهایی و حوزه‌های کاربرد آن‌ها همراه با مشخصات فنی عنصرهای ساخت آن‌ها مطرح می‌شود. در پایان این فصل ضرورت پیش تصفیه، فرایندهای پیش تصفیه و تصفیه نهایی و انتخاب آنها در رابطه با کیفیت آب خام و نوع فرایند نمک‌زدایی انتخابی مطرح می‌شود. با توجه به اهمیت کاربرد ترکیبهای شیمیایی در این صنعت، نام تجاری و مشخصات آن‌ها نیز ارائه می‌شود.

فصل پنجم: آثار محیط زیستی تاسیسات نمک‌زدایی

در فصل پنجم به بحث دربارهٔ آثار محیط‌زیستی تاسیسات نمک‌زدایی پرداخته شده است. پساب تاسیسات نمک‌زدایی در برگیرنده نمک‌های حذف شده از آب شور ورودی برای تولید آب محصول، مواد شیمیایی اضافه شده در طی فرایندها و نیز حاوی محصولات جانبی خورندگی است و میزان آن بسته به فرایند مورد استفاده متغیر است، اما تقریبا همیشه مقدار در خور توجهی را دربر دارد.

تخلیه این پساب‌ها بر اساس دستورعمل‌های مناسب محیط زیستی بخش مهمی از مطالعات امکانسنجی و راهبری تاسیسات نمک‌زدایی است. اگر تاسیسات نمک‌زدایی در نزدیکی دریا قرار گرفته باشند پتانسیل مشکلات پیشگفته به طور درخور توجهی کاهش می‌یابد. بخش اصلی پساب نمک است و تخلیه نمک به دریا معمولا مشکلی ایجاد نمی کند البته باید در خصوص امکان تغییرات محیط‌زیستی مرتبط با تخلیه آن‌ها از دیدگاه افزایش کلر و ترکیبهای شیمیایی و اختلاف دمای آب توجه داشت. هنگامی که تاسیسات نمک‌زدایی در شهرها و به دور از دریاها قرار می گیرد مانند تاسیسات نمک‌زدایی از آب لب شور، مشکلات عمده‌تر است و باید به آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی توسط جریان پساب توجه شود. در

این تاسیسات پساب به روشهای رقیق سازی، تزریق به منابع آب شور از طریق چاهها، تبخیر یا انتقال توسط خط لوله به نقاط دیگر و یا شبکه جمع آوری فاضلاب دفع می‌شود. در واقع در نظر گرفتن مکان مناسب جهت تخلیه جریان پساب باید در هر مطالعه امکانسنجی تاسیسات نمک‌زدایی با دقت بررسی شود. هزینه تخلیه پساب ممکن است درخور توجه باشد و بر توجیه اقتصادی پروژه‌های نمک‌زدایی تأثیر بگذارد. لذا در این فصل ابتدا آثار محیط زیستی تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا ناشی از آبگیر، مواد و انرژی مورد نیاز و تخلیه پساب ۳ نوع تکنولوژی نمک‌زدایی متداول آب دریا شامل تقطیر چند مرحله‌ای، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و اسمزمعکوس بررسی شده و سپس در ادامه بحث به بررسی پایش و بازرسی‌های بهداشتی در مراحل مختلف نمک‌زدایی پرداخته شده است.

فصل ششم: روند انجام مطالعات و محاسبات

در فصل ششم، در ادامه فصلهای گذشته، روند انجام مطالعات مطرح شده است و مطالب آن طوری تهیه شده است که از آن می‌توان در تنظیم شرح خدمات مورد انتظار یک موسسه تخصصی حرفه‌ای مانند مهندسان مشاور استفاده کرد و یا به عنوان چک لیست، مندرجات گزارش ارائه شده یک موسسه را بررسی و ارزیابی نمود.

اولین گام مطالعه، انجام بررسی‌های لازم در زمینه منابع آب‌های شور و لب شور در دسترس است. این مطالعات به موازات انجام بررسی‌های لازم برای استفاده از آب‌های متعارف باید انجام گیرد تا مقایسه فنی و بخصوص مطالعات اقتصادی امکانپذیر شود. در شرایطی، دستگاه اجرایی ممکن است در قالب سیاستگذاری‌های خود تصمیم به استفاده از آب‌های شور و لب شور گرفته باشد که در موضوع قرارداد باید بروشنی بیان شود و انجام مطالعات مقایسه‌ای در مسئولیت دستگاه تصمیمگیری باقی بماند.

حال دستگاه مطالعه کننده با توجه به کیفیت آب موجود و کیفیت آب مورد نیاز، فرایندهای نمک‌زدایی تبخیری و ممبرانی را مورد مقایسه فنی و اقتصادی قرار دهد. لذا پس از تعیین فرایندهای لازم و عنصرهای اصلی تاسیسات مانند آبگیر، انتقال آب خام، عملیات پیش تصفیه، فرایندهای لازم نمک‌زدایی، عملیات تصفیه نهایی فراوری و دفع پساب، به مقایسه بین براوردهای مربوط به هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه‌های بهره‌برداری گزینه‌ها می‌پردازد.

فصل هفتم: روش‌های اجرایی پروژه‌های نمک‌زدایی در ایران

در فصل هفتم با توجه به شیوه های گوناگون در زمینه برگزاری مناقصه‌ها، مطالعه‌ها، طراحی، نصب، اجرا و نیز راهبری و نگهداری تاسیسات نمک‌زدایی در کشور به بررسی اهمیت انتخاب سیاست‌های اجرایی در رابطه با نحوه برگزاری مناقصه‌ها به روش‌های خصوصی‌سازی و یا طرح و اجرا، شاخص‌های تهیه و تنظیم بخش حقوقی اسناد مناقصه می‌پردازد و تاکید روی طرح‌های راهگشا و گزینه‌های اجاره و واگذاری خواهد داشت. در این فصل یادآوری می‌شود که بدون انجام مطالعه‌های مرحله توجیهی و تعریف گزینه برتر نمی‌توان به مطالعه‌های مرحله دوم رسید و تهیه اسناد و طرح پایه از الزامات ادامه کار در مرحله اجراست. توجه به ریسک‌های مختلف و پیشبینی آنها در موافقتنامه‌ها یکی از مطالب اصلی این فصل است.

فصل هشتم: بررسی های اقتصادی

در فصل هشتم در ابتدا اصول ریاضی انجام محاسبه‌های اقتصادی یعنی رابطه بین سرمایه ها، هزینه‌ها، عمر مفید تاسیسات، نرخ بهره، ارزش آینده و ارزش فعلی به طور اجمال مورد گفتگو قرار می گیرد و سپس بحث هزینه‌های سرمایه‌ای، هزینه‌های بهره‌برداری و ترکیب آنها مطرح می‌شود. هسته اصلی این فصل منحنی‌هایی است که برمبنای قیمت‌های پایه سال ۲۰۰۰ در امریکا برای بخش‌های مختلف صنایع نمک زدایی تهیه شده است و حال با توجه به روند تغییر قیمت‌های ۱۰ سال اخیر می‌توان براوردهای لازم برای مقایسه اقتصادی گزینه‌های مختلف نمک زدایی را انجام داد. منحنی‌ها برای بخش‌های بنیادی معرفی شده در فصل ششم شامل آبگیر و نوع آن، لوله انتقال آب خام به تاسیسات پیش تصفیه، انواع تاسیسات نمک‌زدایی، تاسیسات جنبی مانند ساختمان‌ها، تامین نیرو و دفع پساب‌ها تهیه شده است. در بخش بعدی روش انجام محاسبه‌ها برای تعیین قیمت تمام شده آب به طور نظری و با استفاده از منحنی‌های معرفی شده به طور عملی می‌پردازد. مطالب این فصل برای انجام براوردهای مرحله اول و مقایسه اقتصادی برای تصمیمگیری می‌تواند مفید واقع گردد.

فصل نهم: استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی

با نگاهی به منحنی‌های فصل هشتم در خصوص هزینه برق مصرفی تاسیسات نمک‌زدایی از

آب دریا به روش اسمزمعکوس و تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای در سال‌های ۲۰۰۰ می‌توان به ترتیب ارقام ۳۰ سنت دلار و ۱۵ سنت دلار در مترمکعب را مشاهده کرد که در مقایسه با هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی و مصرف مواد شیمیایی رقمی درخور ملاحظه است گرچه در طی ۱۰ سال گذشته رشد و توسعه این صنایع و افزایش تناسب عملکردها هزینه‌های ناشی از مصرف انرژی را کاهش چشمگیری داده است لیکن با تغییر قیمت سوخت‌های فسیلی تغییر قیمت تمام شده آب در تاسیسات نمک‌زدایی دائما دستخوش تغییر خواهد بود که آینده آن را دچار سردرگمی می‌کند. از طرف دیگر مشکلات گرمایش زمین به علت تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی توجه جهان را به طرف جایگزینی انرژی‌های نو جلب کرده است و در این رابطه با اطمینان می‌توان گفت که فراوانترین و درخور اعتمادترین انرژی تجدیدشونده در دسترس، توان حرارتی انوار خورشید است که براساس آن تکنولوژی‌هایی توسعه یافته است. در این تکنولوژی‌ها انرژی حرارتی خورشید در تاسیساتی ذخیره شده و از آن برای تولید الکتریسیته و یا حرارت لازم برای نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور بهره‌گیری می‌شود. در شرایط فعلی چهار نوع صنعت در این راه پیشگامند که به ترتیب عبارتند از:

۱. صفحات آیینه‌ای مقعر[1]

۲. صفحات آیینه‌ای فرزنل[2]

۳. برج‌های خورشیدی[3]

۴. بشقاب و ماشین استرلینگ[4]

صنعت اول در آمریکا با ظرفیت‌های ۸۰ - ۲۵۰ مگاوات ساخته شده و در حال بهره‌برداری است. صنعت دوم نیز از نظر تولید الکتریسیته تا حدود ۲۰۰ مگاوات کاربرد پیدا کرده و به نظر می رسد صنعتی رو به رشد بیشتر است. از برج های خورشیدی برای طرح های کوچک کمتر از ۱۰۰ مگاوات بهره‌برداری می‌شود و صنعت چهارم در حدود سقف ۴۰۰ کیلووات کاربرد پیدا کرده است.

از این تاسیسات می‌توان برای تولید برق و حرارت مورد نیاز فرایندهای نمک‌زدایی و حتی تهویه مطبوع مجتمع‌ها بهره گرفت. برای تولید یک مگاوات ساعت برق در سال نیاز به زمینی در حدود ۴-۱۲ مترمربع است که تابع شرایط زمین و جهت تابش انوار خورشیدی است.

1. Parabolic Trough 2. Linear Fresnel 3. Solar or Heat Tower 4. Dish Sterling

به اجمال می‌توان چنین انتظار داشت که از یک قطعه زمین به مساحت یک کیلومتر مربع معادل ۱۰۰ هکتار می توان روزانه و به طور مستمر ۱۶۵،۰۰۰ متر مکعب آب تولید کرد که برمبنای ۰/۲ متر مکعب سرانه مصرف شهری، پاسخگوی نیازهای جمعیتی معادل ۸۲۵،۰۰۰ نفر است و سطح این شهر در حدود ۲۸ تا ۴۰ کیلومتر مربع است. لذا زمین لازم برای تولید آب این شهر فرضی حدود ۲ درصد سطح شهر است.

امید می رود که با توجه به روند رو به توسعه و تکامل صنایع تمرکز گرمای نورهای خورشید، قیمت تمام شده برق آن با قیمت تمام شده برق ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به رقابت بپردازد و این غیر از مزایای ناشی از تولید نشدن گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. در مناطق جنوبی کشور ما که در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند و دچار کمبود آب هستند و نیاز خود را از نظر آب از منابع دور دست داخل کشور تامین می‌کنند و از طرفی شدت حرارتی نورهای خورشیدی درخور اعتناست، توجه به این صنعت باید یکی از اصول استفاده از انرژی‌های نو باشد.

در پایان یاداوری می‌شود که در نوشتن متون سعی بر این بوده است که از کاربرد واژه‌های خارجی خودداری شود و هر جا کاربرد واژه‌ای خارجی ضرورت داشته است با تلفظ فارسی نوشته شده است مگر در مواردی که واژهٔ موردنظر با معادله و فرمولی ارتباط پیدا می کرده که برای اجتناب از ابهام به صورت اشاره آمده در معادله نوشته شده است. در بیان مطالب از واژه‌هایی مانند ممبران و یا فلاکس و مانند آن استفاده شده است که کم کم طیف واژگان فنی این حرفه را افزایش خواهد داد. امید است که این کتاب مورد عنایت مدیران، برنامه‌ریزان، مهندسان، محققان و سرمایه گذاران صنعت نمک‌زدایی از آبهای شور و لب‌شور برای مصرف‌های شهری و صنعتی قرار گیرد.

شرکت نارون آرا امیدوار است که با این کوشش خود گامی در راه ارتقای علمی و حرفه‌ای صنعت نمک زدایی برداشته باشد و امید است دیگر شرکتها نیز ارتقای علمی و حتی حرفه تخصصی خود را یکی از هدفهای اصلی بدانند و با تهیه و نشر کتابهای علمی و ایجاد بخش تحقیق و توسعه در پیشرفت کشور سهیم شوند.

فصل اول ◀ پتانسیـــل آب کشـــور

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- جمعیت کشور
- چالش‌های توسعه منابع آب
- منابع جدید

مقدمه

برای رسیدن به توسعه پایدار در کشاورزی، صنعت و عمران و آبادی شهرها وجود منابع آب با پتانسیل تجدید شوندگی نقش کلیدی دارد. در حالی که جمعیت کشور روبه افزایش است و طبعا تمام فعالیت‌های کشاورزی و تولیدات صنعتی باید جوابگوی نیازهای این جمعیت باشد اما میزان بارش‌های آسمانی در یک روند تقریبا ثابت قرار داشته و نه تنها افزایشی در میزان بارشها انتظار نمی‌رود بلکه برعکس با توجه به تغییرات آب و هوایی جهان احتمال کاهش بارشها و یا تغییر در نحوه توزیع آن وجود دارد.

از طرف دیگر سهم عمده‌ای از آب مصرف شده در شهرها، صنایع و حتی کشاورزی به صورت فاضلاب جاری شده و در صورت نبود مراقبت کافی و صحیح باعث آلودگی منابع آب کشور خواهد شد.

لذا برای هرگونه توسعه اقتصادی و اجتماعی در شرایط امروز کشور باید نیاز آبی مربوط تعیین شود و منبع و یا منابع موجود مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. بدین ترتیب سه مرحله مطالعاتی زیر باید در طی فرایند هر طرح توسعه بررسی شود.

- تعیین صحیح مقدار و میزان آب مورد نیاز طرح در مراحل مختلف توسعه آن با عنایت به اجرای طرح‌های صرفه‌جویی و استفاده دوباره.
- تعریف صحیح کیفیت آب مورد نیاز با توجه به حداقل کیفیت آب لازم.
- تعیین منابع در دسترس که جوابگوی این نیاز است و تعیین اولویت استفاده از این منابع از نظر اقتصادی و اجتماعی.

به دلیل اینکه هدف اصلی این کتاب توجه به مدیریت منابع آب نیست، لذا تنها به بحث کوتاهی در زمینه پتانسیل آبی کشور پرداخته و استدلال می‌شود که در آینده نه چندان دور میزان آب منابع تجدید شونده جوابگوی نیازهای کشور نخواهد بود و ضروری است در زمینه صرفه‌جویی در مصرف تحت نام "مدیریت مصرف" گام‌های جدیتر برداشته شود و به موازات آن به جستجوی منابع جدید آب با عنوان "منابع آب غیر متعارف" پرداخته شود.

با عنایت به گزارشهای متعدد حاصل از مطالعات موجود می توان به‌طور کلی نتیجه‌گیری کرد که میزان بارش‌های سالانهٔ کشور حدود ۴۰۰ میلیارد متر مکعب است که حدود ۳۲۰ میلیارد متر مکعب آن در حوزه‌های کشور ریزش می کند. از این میزان ریزش حدود ۶۰ درصد آن به صورت تبخیر از دست می‌رود، به طوری که از حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب باقی‌مانده ۹۰ میلیارد مترمکعب منابع آب‌های سطحی و ۴۰ میلیارد مترمکعب منابع آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. در مورد نزولات در دشت‌های آبرفتی هم مطالعاتی انجام گرفته و محاسبه‌ها حاکی از آن است که حدود ۲ میلیارد مترمکعب به صورت منابع آب زیرزمینی و ۱۴ میلیارد مترمکعب به صورت آب‌های سطحی در می‌آید. در این دشت‌ها میزان ریزش‌های آسمانی در حدود ۸۰ میلیارد مترمکعب برآورد شده است که نشاندهنده میزان تبخیری در حدود ۸۰ درصد است. بنابراین در شرایط متعارف فعلی پتانسیل منابع آب تجدید شونده حدود ۱۴۶ میلیارد مترمکعب در سال است که بعضی از کارشناسان رقم سالانه ۱۵۰ میلیارد مترمکعب را نیز ذکر کرده‌اند. که البته برای استفاده از این میزان پتانسیل سالانه آب کشور نیز مشکلات فنی و اقتصادی فراوانی وجود دارد که باید با تشخیص این موانع نسبت به رفع آن‌ها برنامه‌ریزی گردد.

جمعیت کشور

طبق گزارشهای مرکز آمار ایران جمعیت کشور در سال ۱۳۳۵ تعداد ۱۸،۹۵۴،۷۰۳ نفر و در سال ۱۳۸۵ تعداد ۷۰،۴۹۵،۷۸۲ نفر بود. یعنی در طی ۵۰ سال جمعیت کشور ۳/۷ برابر شده است. این نرخ افزایش جمعیت مشکلات بسیاری را به وجود می‌آورد زیرا باید نرخ رشد تولیدات کشاورزی، صنعتی و توسعه شهری یعنی توسعه زیرساخت‌ها و خانه‌سازی و ایجاد مشاغل هم با این نرخ افزایش یابد.

ضرورت افزایش تولیدات مختلف و توسعه شهرسازی همراه با ایجاد فشار به محیط زیست است، یعنی کاهش سطح جنگل‌ها، مراتع و منابع آب و تولید انواع آلاینده‌ها که به محیط زیست تخلیه می‌شود و در کلمه "ویرانی محیط‌زیست" تبلور می‌یابد.

حال اگر جمعیت کشور در سال ۱۴۲۰ هجری شمسی یعنی حدود ۳۰ سال دیگر ۱۰۰ میلیون نفر تخمین زده شود که بهرحال چند سال زودتر و یا دیرتر کشور به این جمعیت خواهد رسید باید از هم اکنون در اندیشه تامین نیازهای آینده بود. اگر در آن سال تمام ۱۵۰ میلیارد مترمکعب آب در سال مهار شود و مورد بهره‌برداری مناسب قرار گیرد سرانه آب خام سالانه ۱۵۰۰ متر مکعب خواهد بود که مطابق برخی مراجع دارای حدود ۲۵ درصد کمبود است. البته نمی‌توان آثار مثبت مدیریت مصرف و صرفه‌جویی در مصرف را نادیده گرفت که در این فصل مورد گفتگو قرار می‌گیرد. اما مهار پتانسیل ۱۵۰ میلیارد مترمکعب در سال با اما و اگرهای فراوانی روبه‌رو است.

رقم سرانه آب خام سالانه در ترکیه ۳۴۰۰ مترمکعب و در بعضی کشورها ۱۵۰۰۰ مترمکعب و به طور متوسط حدود ۷۰۰۰ مترمکعب است لذا رقم ۱۵۰۰ مترمکعب از کمترین ارقام است.

در شرایط فعلی میزان آب مورد مصرف کشور حدود ۹۵ میلیارد مترمکعب است که با توجه به جمعیت ۷۰ میلیونی، سرانه خام سالانه ۱۳۰۰ مترمکعب را نشان می‌دهد که گویای کمبود آب در طرح‌های عمرانی است و ضمنا نمایانگر استفاده از ۶۳ درصد پتانسیل آبی کشور است و تا رسیدن به ۱۰۰ درصد فاصله زیادی است.

حال با توجه به اقدامات ناشی از تغییرات آب و هوا، احتمال کاهش بارش‌ها وجود دارد و از طرف دیگر با کاهش سطح جنگل‌ها و کاهش پوشش گیاهی مراتع و افزایش محدوده شهرها میزان نفوذپذیری اراضی و تغذیه منابع آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و برعکس شدت

سیلاب‌های ویرانگر افزایش می‌یابد. لذا اگر به طرح‌های تغذیه مصنوعی این سیلاب‌ها کم توجهی شود نه تنها میزان آب تجدید شونده منابع آب زیرزمینی کاهش می‌یابد بلکه ترسیب مواد معلق در دریاچه‌های پشت سدها نیز افزایش می‌یابد و خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها شدیدتر می‌شود.

چالش‌های توسعه منابع آب

از بحث اجمالی بالا می‌توان دریافت که برای رسیدن به ارقام حدود ۱۰۰ درصد بهره‌برداری از منابع آب تجدیدشونده کشور باید برنامه‌ریزی کرد و برای این برنامه‌ریزی به دانش، سرمایه و عزم ملی نیاز است.

پیامدهای توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارندگی‌ها شرایط زیر را پدید می‌آورد:

- فاصله زیاد بین منابع آب و محل‌های مصرف و نیاز به سرمایه‌گذاری برای طرح و اجرای تاسیسات انتقال بسیار طولانی آب و یا انتقال آب از یک حوزه پر آب به حوزه کم‌آب که خود پیامدهای نامطلوب دیگر به همراه می‌آورد.
- ضرورت طرح و اجرای تاسیسات ذخیره آب از قبیل سدها و ایجاد دریاچه ها که پیامدهای نامطلوب دیگر به همراه خواهد آورد.
- بالا بودن میزان تبخیر و از دست رفتن بیش از ۶۰ درصد نزولات یکی دیگر از چالش‌های فعلی در زمینه توسعه منابع آب است. نکته مهم در این زمینه ایجاد مشکل جدیدی به نام فرایند تبخیر از سطوح دریاچه‌هاست که با رشد درخور توجه سدسازی و قرار گرفتن آب در معرض نور خورشید و بادها ایجاد شده است. چنانکه اگر جمع سطوح دریاچه‌های پشت‌سدها و میانگین تبخیر از این سطوح محاسبه شود، اهمیت توجه به آن روشنتر می‌شود.

در کشورهایی مانند استرالیا در زمینه کاهش تبخیر از سطوح منابع آب به نوآوری‌هایی دست یافته‌اند که در برنامه‌ریزی‌های توسعه منابع آب کشور، توجه به آن‌ها ضروری می‌نماید. ایجاد پوشش‌هایی از ترکیبهای شیمیایی و یا ورق‌های سنتتیک مانند پلی‌اتیلن از مهمترین این تمهیدات است. کارایی و عملکرد این تمهیدات در شرایطی تاسقف حدود ۹۰ درصد از تبخیر جلوگیری می‌کند.

از دیگر چالش‌های جدید ناشی از ایجاد دریاچه‌های پشت سدها رشد بیولوژیکی

موجودات آبزی مانند گونه‌های جلبکی است که روی کیفیت آب شرب شهرهایی که از این منابع بهره‌گیری می‌کنند تاثیر نامطلوب دارد. زیرا در بیشتر تصفیه‌خانه‌های آب کشور برای حذف فیزیکی این گونه های جلبکی فرایندی در نظر گرفته نشده و معمولا فرایند سنتی پیش کلرزنی به کار می‌رود که انتخاب مناسبی نیست.

عبور جلبک‌ها از واحدهای زلال‌سازی و صافسازی و متلاشی شدن ناشی از کلرزنی نهایی مشکلاتی در آب شرب ایجاد می‌کند و باید با نگاهی بهنگامتر به استفاده از این منابع آب جدید پرداخت. چنانکه در موارد بسیاری واحد زلال‌سازی ضرورت نداشته و فیلتراسیون مستقیم و استفاده از فرایندهای دیگر ضرورت پیدا می‌نماید.

شور شدن آب‌های زیرزمینی در فاصله عبور از لایه‌های سطحی و زیرزمینی و کاهش کیفیت آن و محدود شدن طیف مصرف آن از دیگر چالش‌های اساسی است. گرچه راهکارهایی هم برای جلوگیری از بروز آن وجود دارد که با اجرای آن پیامدهای نامطلوب محیط زیستی دیگری ایجاد می گردد.

مشکلات مالکیت اراضی غیر هندسی، کوچکتر شدن اراضی به دلیل وراثت و پیامدهای انتقال و توزیع آب بین این مزارع و در نتیجه هدر رفت در خور توجه این آب (حدود دست کم ۴۰ درصد) از چالش‌های با سابقه توسعه منابع آب است. فرار آب از لوله‌های انتقال و شبکه‌های توزیع آب شهری (حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد) از دیگر چالش‌هاست زیرا برای مهار آن به سرمایه‌گذاری‌های زیادی نیاز است.

همچنین آلودگی منابع آب از طریق تخلیه و دفع نامناسب فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی از دیگر چالش‌های مهم و اساسی است که علاوه بر ضرورت تدوین و اجرای قوانین لازم، آموزش همگانی صاحبان صنایع از گام‌های اساسی در جهت جلوگیری از بروز این فرایند است. البته در فصل دوم به آن پرداخته می شود.

با عنایت به بحث اجمالی فوق، در برنامه‌ریزی کلان استفاده از منابع آب در توسعه پایدار ملاحظه‌های زیر اجتناب ناپذیر است.

- رشد طرح‌های تحقیقاتی و توسعه بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی و آبشناسی برای جمع‌آوری اطلاعات صحیح و بهنگام شده در زمینه بارش‌ها، روان‌آب‌ها، جریان‌های رودخانه‌ها و تغذیه مصنوعی منابع آب زیرزمینی و جریان‌های زیر سطحی.

- توسعه تشکیلات و مدیریت یکپارچه آب در کشور و حوزه‌های آبگیر و جلوگیری از دخالت مدیریت‌های استانی به طوری که بخش‌های مسئول توسعه امور کشاورزی، صنعتی و شهری درخواست کننده آب باشند و مدیریت یکپارچه آب تخصیص دهنده، آن‌هم با توجه به معیارهای لازم که به اجمال می‌آید.
- تدوین برنامه‌های تامین آب برای طرح‌های درخواست کننده و توجه خاص به ضرورت ظرفیت و موقعیت جغرافیایی پروژه‌ها. در حقیقت مدیریت توسعه طرحها و هر طرح ویژه باید نیاز خود را به آب به مدیریت جامع آب کشور و حوزه اعلام کند و در صورت تامین و تخصیص آب، اقدام به ادامه مطالعات طرح خود کند و در هر طرح توسعه از بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در فازهای مقدماتی و اول نیازهای کمی و کیفی آب طرح را اعلام کند و در براورد نیازهای طرح صرفه‌جویی و استفاده دوباره و گردش آب آورده شده باشد. حال پس از تأیید و تخصیص آب مورد نیاز طرح درخواست کننده مطالعات فاز دوم و فاز سوم پیگیری شود.
- طبیعی است که صدور تأیید و تخصیص آب بر مبنای پتانسیل کمی و کیفی منابع آب کشور انجام می‌گیرد به طوری که هیچ طرحی در دوران عمر مفید خود با کمبود آب از نظر کمی و کیفی روبه‌رو نشود که آن‌را "توسعه پایدار" گویند.
- مهمترین بخش‌های برنامه‌های مدیریت جامع آب کشور و حوزه‌ها، توسعه برنامه‌های آموزش همگانی و آموزشهای تخصصی در سطوح مختلف است تا سطح آگاهی و در نتیجه رشد احساس مسئولیت نسبت به مصرف آب بیشتر و بهتر گردد.

منابع جدید

ارقام و اعداد مربوط به جمعیت کشور در سال‌های آینده و پتانسیل آب کشور و مصرف سرانه سالانه آب به منظور توسعه پایدار همه‌جانبه نشان داد که کشور برای هرگونه توسعه با کمبود آب روبه‌رو خواهد بود و ضروری است تا نسبت به مهار و تنظیم منابع آب که به صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی در می‌آیند اقدام شود.

برای دستیابی به موفقیت، نیاز به سرمایه، علم، صنعت و مهمتر عزم ملی و برنامه است و همان ارقام و اعداد نشان داد که به هرحال کشور باید به دنبال منابع جدید آب باشد و توجه شود که طرح‌های تغذیه مصنوعی، کنترل تبخیر و صرفه‌جویی در مصرف آب همه در

همان تراز سالانه حداکثر ۱۵۰ میلیارد متر مکعبی قرار دارد و باید به دنبال منابع آب خارج از بیلان فوق بود. استفاده دوباره از آب‌ها و نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب شور از جمله منابع آب جدید هستند.

برای روشنتر شدن مطلب، اگر متوسط مصرف سرانه خانگی آب جمعیت ۱۰۰ میلیون نفری سال‌های نه چندان دور آینده را ۲۰۰ لیتر فرض کرد مصرف کل آب در سال حدود ۷ میلیارد متر مکعب خواهد شد و اگر برای تمام شهرها و روستاها شبکه جمع‌آوری فاضلاب طرح و اجرا شود، حدود ۸۰ درصد آب مصرفی تبدیل به فاضلاب خواهد شد. لذا پتانسیل این منبع جدید آب حدود ۵-۶ میلیارد متر مکعب است که با همان مصرف سرانه خام سالانه ۲۰۰۰ مترمکعب نیاز جمعیتی حدود ۳ میلیون نفر را جوابگوست اما باید توجه داشت که:

در بسیاری از شهرک‌ها و روستاها به دلایل چندی طرح و اجرای شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب نه ضرورت دارد و نه توجیه اقتصادی و تصفیه و دفع از طریق چاه‌های جذبی هم در همان بیلان مقدار پسابها قرار می‌گیرد. البته در صورتی که منبع آب دریافت کننده به دلیل وجود املاح بالا آن را لب شور و شور نکند. در غیر این صورت این آب به جای قرار گیری در بیلان پسابها در بیلان منابع آب لب شور قرار می‌گیرد که منبع دوم غیر متعارف مورد بحث این فصل است.

هدف از نگارش این کتاب توجه به دانش و صنعت نمک‌زدایی از آب‌های لب شور و شور برای تولید آب مصرف پذیر در بخش‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است. لذا بدون در نظر گرفتن بحث اقتصادی نمک‌زدایی می توان با منابع آب بدون حدی روبه‌رو بود که ترس کمبود آب را برای توسعه از بین می‌برد.

چنانکه یک سئوال اساسی این است که چرا باید از منابع آب مناطق داخلی کشور برای تامین نیازهای اجتماعات و طرح‌های سواحل دریای جنوب استفاده کرد. در حالی‌که این اجتماعات در کنار آب خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند. لذا ضروری است که آب‌های داخلی برای توسعه همان مناطق حفظ شود. در اینجا باید به چند مطلب اشاره شود که عبارتند از:

- بسیاری از مصرفهای آب اجتماعات ممکن است دارای کیفیت آب شرب نباشد و با توجه به روند روبه افزایش آلودگی منابع آب، تصفیه و تولید آب با کیفیت تعریف شده در استاندارد ۱۰۵۳ کشور صرف نظر از پیچیدگی های فنی تولید و مراقبت بر حفظ کیفیت آن، آبی گران خواهد بود که مصرف آن در آبیاری فضای سبز خانه‌ها و محوطه‌های مسکونی، شستشوی

توالت و حتی رختشویی و مانند آن منطقی نیست.

- تولید آب شرب به کمک صنایع نمک‌زدایی و انتقال آن به شبکه‌های توزیع آب شهرها و شهرک‌ها که دارای پتانسیل فرار ۳۰ تا۴۰ درصدی هستند باعث گرانتر شدن آب مصرفی مردم خواهد شد و آیا قبل از تامین این آب، اصلاح شبکه‌های توزیع و کاهش آب به حساب نیامده نمی تواند گام اول باشد و بالاخره آب صرفه جویی شده از این راه به چه قیمتی تمام می‌شود و در مقام مقایسه آیا اجرای طرح‌های جدید دارای توجیه کافی نیست.
- تهیه و تحویل آب شرب حاصل از نمک‌زدایی توسط بسته‌بندی های مختلف و ممکن که انتخاب هر کدام باید با توجه به فرهنگ و خصوصیات اقتصادی جامعه انجام گیرد. لذا می توان آب بهداشتی را به وسیلهٔ شبکه‌های توزیع فعلی و یا اصلاح شده و آب شرب تولیدی از فرایندهای نمک‌زدایی و روشهای تصفیه دیگر را از طریق بسته‌بندی و یا نوعی شبکه توزیع محدود در اختیار مصرف کنندگان قرار داد.

برای پیدا کردن جواب صحیح مطالب بالا لازم است برای هر پروژه خاص مطالعاتی ویژه آن پروژه انجام گیرد و با عنایت به برنامه‌های کلان و طرح‌های استراتژیک کشور مطالعه کننده گزینه‌های ممکن را تعریف و مقایسه فنی - اقتصادی و استراتژیک بین آن‌ها را انجام دهد.

در این شکی نیست که سواحل جنوبی کشور دچار کمبود آب کافی و مناسب بوده و هست و طرح‌های توسعه کشاورزی، صنعتی و شهری با این کمبود دست به گریبان است. حال اگر این کمبود و مانع توسعه، از این طریق برطرف شود نه تنها جلوی مهاجرت بسیاری از بومیان برای کار به کشورهای همسایه گرفته می شود بلکه شرایط جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی نیز فراهم خواهد شد. در این رابطه با نگاهی به منابع انرژی‌های غیرفسیلی بخصوص انرژی خورشیدی فراوان مناطق جنوبی کشور و استفاده از آن به‌طور مستقیم و یا غیر مستقیم در تولید آب مناسب از منابع آب شور می توان به نحو مناسبی در جهت رفع کمبود آب در این مناطق برنامه‌ریزی کرد. لذا با نگاهی نو به منابع آب شور و لب شور مناطق جنوبی کشور و انرژی خورشیدی درخور بهره برداری در این مناطق توجه به توسعه مرکز و یا مراکز تحقیقاتی کاربردی این صنعت ضروری است و از این جنبش جهانی مربوط به مشکلات گرم شدن کره زمین و ضرورت کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای نیز می توان بهترین بهره را برد.

تصمیمگیری برای سرمایه‌گذاری در صنعت نمک‌زدایی و انتخاب نوع صنعت و یا ترکیب چند صنعت نیاز به توجهات اقتصادی، سیاسی و محیط زیستی دارد و فراموش نشود که در سال‌های آینده ممکن است سهم کشور از بارشها کاهش یابد و این در حالی است که هنوز بخش‌های کشاورزی و شهری با هدر رفت بسیار بالای آب روبه‌رو هستند.

به عنوان مثال حدود ۸۰ میلیارد متر مکعب آب از ۱۰۰ میلیارد مترمکعب مورد استفاده در سال در بخش کشاورزی به کار می‌رود و گفته می‌شود که راندمان آبیاری حدود ۳۵ درصد است، حال اگر این راندمان خیلی خوشبینانه ۵۰ درصد فرض شود چنین می‌توان استنباط کرد که حدود ۴۰ میلیارد مترمکعب آب در سال به هدر می‌رود. لذا از اولین اولویت‌ها در برنامه‌های کلان کشور پیدا کردن روش‌های استفاده صحیح از ۴۰ میلیارد مترمکعب آب تلف شده است و در اینجا این سئوال مطرح می‌شود که اگر بتوان تقریبا از تمام ۱۵۰ میلیارد مترمکعب آب بالقوه کشور بهره گرفت آیا منابع جدید غیر متعارف اهمیت خود را از دست نمی‌دهند؟ دستیابی به این هدفها منطقی بوده و غیر ممکن نیست؟

طبق گزارشهای موجود در آمریکا در طی ۲۵ سال گذشته، جمعیت این کشور از ۲۳۰ میلیون نفر به ۲۸۰ میلیون نفر در سال ۲۰۰۰ رسیده است و از نظر توسعه نیز تولید سرانه ناخالص ملی از ۴۵۰۰ دلار به بیش از ۹۰۰۰ دلار رسیده است، لیکن مقدار آبگیری از منابع آب این کشور کاهش یافته است که علت آن اجرای طرح های صرفه جویی در مصرف آب بوده است.

برای مثال در حدود ۴۰ سال پیش به منظور تولید یک تن فولاد به ۱۰۰ - ۲۰۰ تن آب نیاز بود. در حالی که در سال ۲۰۰۰ این رقم به حدود ۴ تن رسید و یا به دلیل نیاز کمتر مصرف آب در تولید آلومینیوم نسبت به فولاد، صنایع اتومبیل سازی در تولیدات خود به کاربرد آلومینیم روی آورده‌اند. آنالیزهای بیشتر نشان داده است که از علل اصلی کاهش میزان برداشت آب از منابع، ناشی از کاهش مصرف آب در کشاورزی است. البته در تاسیسات صنعتی مانند خنک کننده‌ها هم کاهش مصرف به چشم می‌خورد. در حالی که مصرف شهری کاهش نداشته و حدود ۸ لیتر افزایش سرانه در سال هم در آن دیده می‌شود.

لذا همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد، از آنجا که بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده آب کشور است لذا باید تمام بسترهای افزایش سودمندی مصرف آب در کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.

ضمن اینکه باید توجه داشت که بخشی از این ناکارامدی مصرف آب، باعث تولید فاضلاب و یا زهاب‌های مزارع کشاورزی است که با داشتن سموم و کودهای کشاورزی بزرگترین عامل آلودگی منابع آب کشور به حساب می‌آیند.

لازم به یادآوری است که چه در زمینه افزایش جمعیت و چه در زمینه افزایش مصرف، نمی‌توان فقط بر مبنای روندهای گذشته اندیشه کرد و آینده‌نگری را انجام داد، زیرا در این صورت رشد تکنولوژی‌های کاهش مصرف و رشد آگاهی‌های مردم نسبت به اهمیت آب نادیده گرفته خواهد شد و در این صورت پیشبینی‌ها بیشتر از واقعیت‌ها نشان داده خواهد شد که طبعاً اگر سرمایه‌گذاری‌هایی انجام گرفته باشد بیشتر از نیاز خواهد بود. زیرا با افزایش آگاهی‌های مردم نسبت به اهمیت صرفه‌جویی در آب باعث کاهش نیاز و مصرف آن به خصوص در کشاورزی و صنعت خواهد شد و به همین جهت در برنامه‌های کلان توسعه منابع آب، مدیریت مصرف و یا صرفه‌جویی در مصرف از طریق ابزارهای کاهش و تغییر فرهنگ مصرف آب باید از بسترهای اصلی این برنامه‌ریزی‌ها باشد. پس، برای رسیدن به هدفهای پیشگفته باید به اجمال، برنامه‌های اجرایی زیر فراهم شود:

- رشد آگاهی‌های جامعه و دست‌اندرکاران نسبت به اهمیت آب؛
- رشد آگاهی‌های جامعه در استفاده از کاربرد ابزار کاهش مصرف آب؛
- اصلاح صنایع انتقال و توزیع و روش‌های کنترل آبیاری در مزارع و باغ‌ها؛
- حذف یارانه‌های مربوط به تامین آب اجتماعات کشاورزی به منظور افزایش سودمندی بهره‌وری از آب؛
- تغییر نوع کشت به کاشت محصولی با نیاز کمتر به آب؛
- رشد بازار معاملات آب و تغییر تخصیص‌ها با معیارهای اقتصادی؛

لازم به یادآوری است که پس از ارزیابی اثرهای سیاستگذاری های پیشگفته و توجه به تحولات آب و هوایی و مخاطرات کاهش بارشها و توجه به اینکه منابع آب شور تقریبا دارای محدودیت نیست و مستقل از تحولات آب و هوایی است، باید برای بهره‌برداری از این منابع برنامه‌ریزی‌های کلان داشت از طرف دیگر با توجه به روند رو به افزایش ایجاد تاسیسات نمک‌زدایی در سواحل خلیج فارس و تخلیه پساب حاوی املاح بیشتر و ترکیبات شیمیایی مورد مصرف در فرایندهای پیش‌تصفیه و فرایندهای نمک زدایی خطر تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی این منبع آب هم همان

سرنوشت محیط‌زیست جهانی را دارد و لذا رو به ویرانی می رود و در نتیجه قبول ریسک وابستگی صد در صد به آن منطقی به نظر نمی رسد.

ضمن اینکه صرف وارد کردن تاسیسات یک کارخانه نمک‌زدایی نه تنها نشانهٔ توسعه نیست، بلکه خبر از وابستگی می‌دهد، لذا لازم است به موازات خرید و نصب تجهیزات چنین کارخانه‌هایی همان‌طور که قبلاً یادآوری شد توسعه مراکز تحقیقاتی این صنعت نیز در دستور کار قرار گیرد. به علاوه یکی از بخش‌های اساسی هر موسسه تولیدی، بخش تحقیقات و توسعه است و ضروری است که هر موسسه نمک‌زدایی در زمینه رشد خودکفایی ملی گامی هرچند کوچک بردارد.

در بخش استفاده از منابع آب لب شور داخلی لازم به یادآوری است که مطالعات باید نشان دهد که آب لب شور مورد استفاده دارای پتانسیل تجدید شوندگی است و معادل آنچه از منبع برداشته می‌شود به طور طبیعی به آن اضافه می گردد که اصطلاح برداشت پایدار را می‌رساند و نکته با اهمیت دیگر دفع پساب تاسیسات است که در فصل پنجم به تفصیل مورد گفتگو قرار گرفته است. پساب این تاسیسات یک خطر بالقوه برای محیط زیست است.

در فصل دوم کتاب، در مورد روشهای استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب گفتگو خواهد شد و در فصل چهارم صنعت نمک‌زدایی از آبهای شور و لب‌شور مورد بحث قرار می‌گیرد.

در خاتمه لازم به یادآوری است که در انجام محاسبات مربوط به پتانسیل منابع آب پیامدهای افزایش جمعیت و در نتیجه توسعه شهرنشینی باید مورد توجه قرار گیرد. از پیامدهای توسعه شهر، کاهش سطوح و ضریب نفوذپذیری لایه‌های سطحی خاک نسبت به بارش‌های آسمانی می‌شود. کاهش نفوذپذیری خاک که حاصل ایجاد آسفالت و سنگفرش معابر و منازل می‌شود دارای پیامدهای زیر است:

- افزایش میزان روان آب‌های شهری که قبلا بخشی از آن بدلیل نفوذپذیری خاک از آن جدا می‌شد.
- کاهش میزان تغذیه آب زیرزمینی که ممکن است این کاهش قابل ملاحظه گردد.
- افزایش انواع آلودگی روان آب به‌دلیل فعالیت‌های شهری مانند آلودگی نفتی و روغنی، فلزات مانند سرب، مواد آلی و انواع کلیفرم‌های گوارشی و بیماری‌زا.

طبعا این آلودگی‌ها تحت تاثیر روش‌های تخلیه فاضلابهای شهری می‌باشد. چنانکه در شهرهایی که نفوذپذیری خاک کم بوده و چاه‌های نشتی متداول دارای عملکرد مطلوبی نیست، ساکنین به اجبار بخشی از فاضلاب‌های خانگی را به مسیل‌ها، جوی‌ها و قنوات موجود شهر تخلیه می‌نمایند و لذا روان آب با شستشوی آن‌ها دارای بار آلودگی بیشتری می‌شود. کاهش سطح جنگل‌ها و در نتیجه تغییر بافت خاک‌ها هم باعث تغییر رژیم‌های هیدرولری شده است. لذا مطالعات منابع آب تجدیدشونده همان روند گذشته را نشان نخواهد داد و لذا در برنامه‌ریزی و تهیه بودجه منابع آب حوزه این تغییرات باید مورد توجه قرار گیرد.

روان آب‌های شهری یک خطر بالقوه برای منابع آب‌های دریافت کننده بوده و حتی در مواردی اگر به شبکه جمع‌آوری فاضلاب بهتر تخلیه شود، کیفیت پساب تولیدی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. لذا در طرح‌های استفاده دوباره از فاضلاب هم باید مورد توجه قرار گیرد.

فصل دوم ◀ استفـاده از پسـاب تصفیـه شـده

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- تصفیه پساب
- توجهات اساسی در برنامه ریزی
- تصفیه فاضلاب
- تصفیه پیشرفته و بیشتر
- تاسیسات توزیع پساب تصفیه شده
- حفظ بهداشت محیط‌زیست
- آیین‌نامه‌های استفاده از پساب
- خطوط راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره
- مشارکت جامعه
- استفاده دوباره در دنیا

مقدمه

در فصل اول ارقام مربوط به جمعیت کشور در سال‌های آینده نه چندان دور و حدود مقدار آب تجدید شونده کشور مورد بحث قرار گرفت و نشان داده شد که حتی اگر بتوان از تمام پتانسیل آب کشور بهره برد باز هم در آینده کشور با کمبود آب برای توسعه روبه‌رو خواهد بود. همچنین یادآوری شد که از اولین اقدامات لازم، اجرای طرح‌های مدیریت مصرف و یا صرفه‌جویی در مصرف آب است که علاوه بر آموزش و افزایش آگاهی و مسئولیت مصرف‌کنندگان آب، باید از تکنولوژی‌های این صنعت بهره گرفت.

ارقام مربوط به مصرف آب در بخش کشاورزی نشان می‌دهد که در آن بخش کارهای زیادی باید انجام شود تا سودمندی مصرف آب افزایش یابد. با توجه به تخصیص حدود ۸۰ میلیارد مترمکعب آب در سال برای بخش کشاورزی، در صورت موفقیت نسبی در صرفه‌جویی حتی تا سقف ۲۰ درصد، حدود ۱۶ میلیارد مترمکعب آب می تواند در بخش‌های دیگر و یا در سایر طرح‌های کشاورزی به کار رود. این رقم حدود دو برابر مجموع مصرف آب بخش شهری و صنعتی کشور است.

یکی از منابع بالقوه آب، پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرها و شهرک‌هاست که به نام آب غیر متعارف در این کتاب معرفی می‌شود. زیرا پس از تصفیه‌های متعدد هنوز بالقوه برای مصرف کننده مخاطره آمیز است.

در بسیاری از اجتماعات شهری برای تامین آب مورد نیاز از منابعی بهره‌برداری می‌شود که قبلا به بخش کشاورزی تخصیص داشته است. حدود ۸۰ درصد آب تهیه شده پس از انتقال، تصفیه و توزیع به فاضلاب تبدیل می‌شود که یا از طریق شبکه های جمع آوری فاضلاب به تصفیه خانه‌ها هدایت می‌شوند و یا از طریق چاه‌های نشتی به لایه‌های زیر سطح زمین هدایت و تخلیه می گردند.

آب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب به نام پساب شناخته می‌شود و باید مراحل تصفیه بیشتری را طی کند تا آب غیرمتعارف شناخته شود. در این فصل سخن از چگونگی تصفیه بیشتر و تبدیل آن به آب غیرمتعارف است. در اینجا چند اصل به عنوان مقدمه آورده می‌شود که زیر بنای مطالب این فصل است.

- **اصل اول:** با توجه به کمبود آب با کیفیت‌های خوب، آبی با کیفیت بالاتر از حد نیاز مصرف، نباید مورد استفاده قرار گیرد، مگر آنکه محدودیتی در این مورد وجود نداشته باشد.
- **اصل دوم:** تحویل آبی با کیفیت کمتر از مشخصات فنی مربوط جهت مصرف خاص ممکن است برای مصرف کننده مخاطره آمیز باشد. چنانچه اگر کیفیت آب جاری در شبکه توزیع آب شهری از جهات استاندارد ۱۰۵۳ به طور مستمر و به هر دلیلی دارای کیفیت مطلوب نیست نباید آن را به نام آب شرب اعلام کرد.

مشاهده شد که در سال‌های آینده نه چندان دور، زمانی که جمعیت کشور به مرز حدود ۱۰۰ میلیون نفر برسد و با فرض اینکه حدود ۸۰ میلیون نفر آن در شهرها، شهرک‌ها و کلانشهرها

ساکن شوند و میانگین مصرف آب آن‌ها نیز ۰/۲ مترمکعب در روز و یا ۷۳ مترمکعب در سال گردد، حجم کل فاضلاب تولیدی عبارت است از حدود ۵ میلیارد متر مکعب که در مقابل نیاز حدود ۲۰۰ میلیارد متر مکعب رقم ناچیز ۲/۵ درصد را تشکیل می‌دهد.

چه در شهرها شبکه جمع‌آوری فاضلاب ایجاد شود و چه ایجاد نشود و از چاه‌های نشتی و قدرت خود پالایی لایه‌های زمین بهره‌گیری شود، این فاضلاب را می‌توان دوباره به کار برد. البته با اما و اگرهای بسیار زیاد، این منبع آبی غیرمتعارف است و برای استفاده از آن نظام خاصی لازم است زیرا اگر در استفاده از آن اصولی مراعات نشود خسارت‌های ناشی از آلودگی محیط و کاهش سلامت و بهداشت مردم خیلی بیشتر از مزایای استفاده از آن خواهد بود.

هدف از این مقدمه این نیست که نباید به این منبع بالقوه آب غیر متعارف توجه نکرد، بلکه منظور این است که اصل دوم در این کار مدنظر قرار گیرد. زیرا در شرایطی که به دلایلی شبکه جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه‌خانه آن طرح و اجرا شده، پساب خروجی را با توجه به شرایطی می‌توان مناسب استفاده نمود.

برای طرح، اجرا و بهره‌برداری از پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اجتماعات مسکونی، نیاز به تدوین قوانین و معیارها و استانداردهای جدیدی است تا جوامع مصرف‌کننده آن در خطر سرایت بیماری‌ها قرار نگیرند و محیط‌های دریافت‌کننده دچار آلودگی و ویرانی نشوند. بنابراین امید است برنامه‌ریزان و مهندسان مشاور به مطالب این فصل توجه کنند که پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب آبی نیست که با کاربرد آن معنی استفاده دوباره را بدهد، بلکه باید برای این استفاده با توجه به دو اصل ارائه شده، آیین‌نامه و معیارهای لازم برای طرح و بهره‌برداری تدوین شود.

در این فصل مطالب توجیه اقتصادی مورد توجه قرار نمی‌گیرد زیرا شرایط زمانی و مکانی برای هر طرحی باید موردنظر قرار گیرد. بلکه ضرورت تنظیم یک برنامه‌ریزی کلان برای استفاده دوباره مطرح می‌شود.

توجه شود که برای هر کاربردی باید آیین نامه‌ای تدوین شود و برای آن کاربرد فرایندهای مناسب تصفیه تعریف شود. به طوری که نه پساب بیشتر از حد لازم و نه کمتر از آن مورد تصفیه قرار گیرد.

در ابتدا نگاهی گذرا به عوامل بیماری زای موجود در فاضلاب خام و ضرورت توجه

جدول شماره ۲-۱: **طبقه‌بندی عوامل بیماری‌زا در فاضلاب**

الف: انگل ها	پ: پروتوزاها
• اسکاریس • کرم قلابدار • کرم کدو • تریشین • غیره	• آمیب ها • ژیاردیا • بلانتیدیوم • کریپتوسپوریدیوم
ب: باکتری‌ها[1]	**ج: ویروس ها**
• شیگلا • سالمونلا • لپتوسپیرا • لژیونلا • غیره	• ویروس‌های روده‌ای • ویروس‌های هپاتیت • آدنوویروس • ریوویروس • غیره

منبع: مرجع شماره ۶

به‌تصفیه و استفاده از آن را خواهیم داشت. در جدول شماره ۲-۱ طبقه بندی عوامل بیماری‌زا در فاضلاب به اختصار نشان داده شده است.

آن‌طور که جدول شماره ۲-۲ نشان می‌دهد بسیاری از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی فاضلاب پس از گذر از فرایندهای تصفیه اولیه و ثانویه به حدی می‌رسد که در ستون شماره ۳ نشان داده شده است. حال با توجه به اصل اول و دوم بنا بر نیاز مصرف کننده، پساب باید فرایندهای دیگر تصفیه را بگذراند برای مثال حدود کدورت پساب تصفیه شده می‌تواند ۰/۱-۳۰ ان‌تی‌یو، بی‌اودی آن ۱۰-۴۵ و تی‌اوسی آن ۱-۱۰ میلی‌گرم در لیتر باشد. این طیف وسیع تابع کیفیت فاضلاب خام، معیارهای به کار رفته در طرح و اجرای تصفیه‌خانه و نحوه بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات تصفیه‌است. اکنون، با توجه به نیاز مصرف کننده این پساب باید مراحل تصفیه دیگر را بگذراند.

---

۱. تعداد این عوامل بیماری‌زا در فاضلاب بسیار زیاد است چنانکه شیگلاها، سالمونلاها و تخم انگل‌ها به ترتیب در ۱۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب می‌تواند حدود ۱-۱۰۰۰، ۴۰۰-۸۰۰۰ و ۱-۸۰۰ باشد.

جدول شماره ۲-۲: **ویژگیهای مورد توجه در استفاده از پساب تصفیه خانه های فاضلاب**

ویژگیها	اهمیت آن در استفاده دوباره	حدود آن در پساب تصفیه‌خانه	هدف در تصفیه بیشتر برای استفاده دوباره
مواد جامد معلق	نشاندهنده ذرات معلق است که می‌تواند میکروب‌ها باشند و در گندزدایی مزاحم است و ممکن است تاسیسات آبیاری را دچار گرفتگی کند.	۵۰-۵ میلی گرم در لیتر	۳۰-۵ میلی گرم در لیتر
کدورت		۳۰-۱ ان تی یو	۳۰-۰/۱ ان تی یو
بی‌اودی ۵ روزه	موادآلی مورد تغذیه میکروب‌هاست و در ایجاد لایه زنده در شبکه توزیع دخالت دارد و گرفتگی میکروبی ایجاد می‌کند.	۳۰-۱۰ میلی گرم در لیتر	کمتر از ۱۰ - ۴۵ میلی گرم در لیتر
سی‌اودی		۱۵۰-۵۰ میلی گرم در لیتر	کمتر از ۲۰ - ۹۰ میلی گرم در لیتر
تی‌اوسی		۲۰-۵ میلی گرم در لیتر	کمتر از ۱ - ۱۰ میلی گرم در لیتر
مجموع کلیفرم‌ها	ریسک ایجاد آلودگی ناشی از پتانسیل وجود بیماری‌زا را تعیین می‌کند و در عین حال گرفتگی بیولوژیکی روی تاسیسات خنک‌کننده را نشان می‌دهد.	کمتر از ۱۰ تا 10^{7} در ۱۰۰ میلی لیتر	کمتر از ۱ تا ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر
کلیفرم‌های گوارشی		کمتر از ۱ تا 10^{6} در ۱۰۰ میلی لیتر	کمتر از ۱ تا ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر
تخم انگل‌ها		۱۰-۱ در لیتر	کمتر از ۱ تا ۵ در لیتر
ویروس‌ها		۱۰۰-۱ در لیتر	کمتر از ۱ در ۵۰ در لیتر
فلزات سنگین	عناصر کادمیوم، نیکل، جیوه، روی که برای گیاهان مسموم کننده‌اند.	-	کمتر از ۰/۰۰۱ میلی گرم در لیتر جیوه کمتر از ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر کادمیوم ۰/۰۲ تا ۰/۱ میلی گرم در لیتر نیکل
معدنی‌ها	شوری زیاد و بر[1] بیشتر از ۱ میلی گرم در لیتر برای گیاهان مضر است.	-	کل املاح محلول بیش از ۴۵۰ میلی گرم در لیتر
کلر باقیمانده	برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها لازم است اما بیشتر از حد برای بعضی از گیاهان مضر است.	-	۱-۰/۵ میلی گرم در لیتر
ازت	بعنوان کود کاربرد دارد اما در رشد جلبک، خوردگی و تولید رسوب ممکن است دخالت داشته باشد.	۳۰ - ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب N	کمتر از ۱ تا ۳۰ میلی گرم در لیتر بر حسب N
فسفر		۳۰ - ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر بر حسب P	کمتر از ۱ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب P

منبع: مرجع شماره ۶

۱. براساس استاندارد پیشنهادی سازمان بهداشت جهانی برای آب شرب در سال ۲۰۰۹ میزان بر به ۲/۴ میلی گرم در لیتر افزایش یافته است.

چنانکه ارقام نشان می‌دهد تعداد ویروس‌ها در پساب حدود ۱- ۱۰ در لیتر پساب قابل انتظار است و در پساب پس از تصفیه باید کمتر از ۱ در ۵۰ لیتر گردد. در جدولهای پایان فصل معیارهای کیفی پساب تصفیه شده در رابطه با نوع مصرف ارائه شده است.

تصفیه پساب

مشاهده شد که در شرایط بسیار فرضی میزان پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرها و شهرک‌های کشور در حدود ۵ میلیارد متر مکعب در سال است که می‌تواند با شرایطی دوباره استفاده شود. بخش‌هایی که می‌توانند از این پساب بهره‌بردارند عبارتند از:

- کشاورزی؛
- تغذیه آب‌های زیرزمینی؛
- مصرفهای صنعتی؛
- مصرفهای شهری؛
- افزایش پتانسیل منابع آب شرب؛

مصرف در بخش کشاورزی

کشاورزان اراضی قابل کشت اطراف شهرها، بخصوص اراضی پایین‌دست این شهرها سال‌هاست که از فاضلاب خام، نیمه تصفیه شده و تصفیه شده مستقیم و یا غیر مستقیم برای کشاورزی استفاده می‌کنند. در مواردی این روش‌های استفاده مورد اعتراض دست اندرکاران بهداشت و سلامت جامعه قرار دارد و مشاهده خواهد شد که این نگرانی‌ها و اعتراض‌ها بجاست.

در جدول شماره ۲-۳ حدود غلظت پیشنهادی گروهی از آلاینده‌ها در پسابی‌که برای آبیاری به کار می‌رود نشان داده شده است. با توجه به اینکه صنایع کوچک و بزرگی در تهران بزرگ و در سایر شهرها فاضلاب خام خود را به شبکه جمع آوی فاضلاب شهر تخلیه می‌کنند، خطر وجود بسیاری از این آلاینده‌ها در فاضلاب وجود دارد، بنابراین نگرانی فوق بیجا نیست. از جدول شماره ۲-۳ می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت این آب غیرمتعارف و یا پساب مورد استفاده در کشاورزی نیز باید از جهاتی تحت کنترل باشد، چنانکه غلظت عناصر سنگین موجود در آن، مانند کادمیوم، کرم، سرب و بسیاری دیگر با توجه به مدت استفاده از آن دارای محدودیت‌هایی است.

پس اگر فاضلاب صنایع به تصفیه‌خانه فاضلاب شهر تخلیه می شود، استفاده از پساب را دچار محدودیت می‌کند و ضرورت دارد مقرراتی در این مورد تدوین و به اجرا گذاشته شود مانند انجام تصفیه فاضلاب صنعتی در محل کارخانه و تولید پسابی مانند فاضلاب خام جاری در شبکه.

تردیدی نیست که از پساب مورد بحث می توان در کشاورزی استفاده کرد و این استفاده دارای مزایایی است اما باید همراه با محدودیت‌هایی باشد که مهمتر از همه سلامت و بهداشت جامعه و محیط زیست است. هدف از ارائه ارقام، پیشنهاد معیار و استاندارد نیست، بلکه ضرورت تدوین چنین استانداردی را مطرح می‌کند. بحث استفاده در کشاورزی نیاز به توضیحات مفصلتری[1] دارد، زیرا آبیاری گیاهانی که به صورت خام به مصرف انسان می‌رسد و یا گیاهانی که در کارخانه فراوری می‌شود، آبیاری درختان میوه و یا غلات و الیاف صنعتی و بالاخره توسعه فضای سبز هر کدام نیاز به آبی با کیفیت خاص دارند و در تهیه آن‌ها دو اصل آورده شده در مقدمه، باید درنظر باشد. در استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی باید مراقب بود تا منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه در خطر آلودگی قرار نگیرند. بخصوص از تولید زهاب‌های کشاورزی جدا خودداری شود. کیفیت پساب تصفیه شده برای کاربرد هر گروه از گیاهان، استاندارد خاصی پیشنهاد شده که در پایان فصل به صورت جدول‌هایی ارائه شده است. از روش‌های آبیاری در کشاورزی صحبت نمی‌شود بلکه در جدول‌های مربوط نکته‌های مورد توجه آورده شده است.

تغذیه منابع آب زیرزمینی

تغذیه منابع آب زیرزمینی برای هدف‌های مختلف انجام می‌شود که عبارتند از:

- در مناطق ساحلی نزدیک به منابع آب شور، با برداشت آب از منبع زیرزمینی و افت سفره آب، آب شور دریا به داخل سفره آب متعارف نفوذ می‌کند و لذا تغذیه آن مانع این نفوذ می‌شود.
- چون محیط و فضاهای خالی لایه های زیرزمینی قادر به تصفیه فاضلاب هستند که مورد بحث قرار خواهد گرفت، لذا می توان از این پتانسیل بهره‌برداری کرد.
- افزایش مقدار منبع آب برای مصرف‌های مختلف آینده
- افزایش مقدار منبع آب برای مصرف‌های شرب و غیر شرب
- برای جلوگیری از بروز نشست لایه‌های زمین که ناشی از برداشت آب بدون جایگزین رخ می‌دهد.

۱. کتابی درباره "استفاده دوباره از آب" در دست تهیه شرکت نارون آرا می‌باشد.

جدول شماره ۲-۳: **حدود غلظت پیشنهادی عنصرها در پساب برای آبیاری بر حسب میلی‌گرم در لیتر**

آلاینده	در کاربرد درازمدت	در کاربرد کوتاه‌مدت	توجهات
آلومینیوم	۵	۲۰	در خاک‌های اسیدی تولید محصول را کاهش می دهد. اما در خاک‌های با پی اچ ۵/۵-۸ این عنصر ترسیب می‌شود و مسمومیت آن کاهش می‌یابد.
آرسنیک	۰/۱	۲	مسمومیت آن در گیاهان متفاوت است.
بریلیوم	۰/۱	۰/۵	میزان ایجاد مسمویت در گیاهان متفاوت است.
بر	۰/۷۵	۲	برای رشد بیشتر گیاهان ضرورت دارد. اما برای بعضی دیگر حساسیت و مسمومیت ایجاد می‌کند.
کادمیوم	۰/۰۱	۰/۰۵	برای بعضی گیاهان مسمومیت ایجاد می‌کند.
کروم	۰/۱	۱	برای رشد گیاه ضروری تشخیص داده نشده است.
کبالت	۰/۰۵	۵	برای بوته گوجه‌فرنگی مسموم کننده است. در خاک‌های قلیایی بی‌خطر می‌شود.
مس	۰/۲	۵	برای بسیاری از گیاهان مسموم کننده است.
فلوراید	۱	۱۵	در خاک‌های قلیایی و خنثی غیر فعال می‌شود.
آهن	۵	۲۰	در شرایط هوازی برای گیاهان بی‌خطر است. اما در ایجاد شرایط اسیدی می تواند دخالت کند و فسفر و مولیبدن از دسترس گیاه خارج شود.
لیتیوم	۲/۵	۲/۵	بیشتر گیاهان آن را در این حدود تحمل می‌کنند اما برای مرکبات خطرناک است.
منگنز	۰/۲	۱۰	برای بسیاری از گیاهان در خاک‌های اسیدی مسموم کننده است.
نیکل	۰/۲	۲	برای بسیاری از گیاهان تا حد ۱ میلی گرم در لیتر مسموم کننده است.
مولیبدیوم	۰/۰۱	۰/۰۵	برای بیشتر گیاهان خطرناک نیست.
سلنیوم	۰/۰۲	۰/۰۲	برای گیاهان مسموم کننده است.
وانادیم	۰/۱	۱	برای بیشتر گیاهان مسموم کننده است.
روی	۲	۱۰	برای بیشتر گیاهان مسموم کننده است.
پی‌اچ	۶	۶	اثر آن غیر مستقیم است چنانکه روی مسمومیت ناشی از فلزات سنگین دخالت دارد.
کل املاح محلول	۵۰۰-۲۰۰۰	۵۰۰-۲۰۰۰	بسیاری از گیاهان در بالاتر از ۲۰۰۰ نیاز به توجه دارند.
کلر آزاد باقی‌مانده	۱	۱	غلظت بالاتر از ۵ به گیاهان خسارت می زند.

در تمام عملیات تغذیه منابع آب زیرزمینی، پساب در فرایند حرکت در لایه‌های خاک دستخوش خودپالایی می‌شود. بدین ترتیب که تجزیه بیولوژیکی و فیلتراسیون کار حذف آلاینده‌های نامحلول و محلول را انجام می‌دهند. در شرایطی این تصفیه در حدی انجام می‌گیرد که می‌تواند جایگزین فرایندهای تصفیه پیشرفته شود. این فرایندها بستگی به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد و به همین دلیل بسیاری از مهندسان ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب را برای همه جا توصیه نمی‌کنند و استفاده از این پتانسیل طبیعت را مورد تاکید قرار می‌دهند. مزیت دیگر این تغذیه، ذخیره سازی پساب برای مصرف‌های آینده و یا فصل‌های پرنیاز به آب است.

در کنار مزیت‌های بالا محدودیت‌هایی هم در این زمینه وجود دارد که عبارتند از:

- با توجه به ضخامت سفره ذخیره، ممکن است به سطح زمین زیادی نیاز پیدا شود زیرا اگر در این طرح بی‌توجهی بشود خطر آلودگی منبع آب زیرزمینی مورد مصرف شرب به وجود می‌آید.
- در مواردی جنس لایه های خاک طوری است که لازم است پساب مورد تغذیه مراحل بیشتری از تصفیه را بگذراند که هزینه مالی در بر دارد، بعلاوه چون نظارت مستمر برتغییر کیفیت این آب در لایه های زیرزمین ضرورت دارد خود هزینه بیشتری را به طرح تحمیل می کند.
- به علت کمبود اطلاعات در مورد ویژگیهای فیزیکی لایه‌ها و در نتیجه ابهامها در فرایندهای مربوط به هیدروژئولولژی زمین، مانند ظرفیت انتقال و ظرفیت ذخیره سازی پساب ممکن است مبانی طرح با نیازهای برداشت هماهنگی پیدا نکند و بخشی از آب پتانسیل استخراج پیدا نکند.

◆ **روش‌های تغذیه:** روش‌های اجراشدنی برای تغذیه به منبع آب زیرزمینی عبارتند از:

- پخش پساب در روی زمین
- تزریق از طریق چاه به لایه های زمین بالای سفره آب
- تزریق از طریق چاه به داخل سفره آب

در همه سه روش پیشگفته قیمت زمین و نزدیکی آن به محل تولید پساب نقش مهمی در تصمیمگیری دارد. چنانکه اگر قیمت زمین در نزدیکی تصفیه خانه فاضلاب گران باشد، هزینه‌های انتقال خود می تواند مسئله مهمی باشد.

◆ **پخش پساب در روی زمین:** پخش پساب در روی زمین و ایجاد فرصت برای نفوذ به لایه‌های

زیرین و رسیدن به سفره آب یکی از روش‌های تغذیه منبع آب زیرزمینی است. پساب در فرایند فیلتراسیون از بسیاری از آلاینده‌ها زدایش می‌شود که در زیر خواهد آمد. اراضی مناسب این روش کار باید دارای مشخصات زیر باشند:

- لایه های خاک درشت دانه باشد تا نفوذ و فیلتراسیون پساب بهتر انجام گیرد و در لایه‌های زیرین تا رسیدن به سفره آب لایه نفوذناپذیر وجود نداشته باشد تا کار تغذیه مختل نشود.
- در صورت وجود خاک هوموس‌دار، جذب و حذف فلزات سنگین انجامپذیر می‌شود و بعلاوه فرایندهای تجزیه بیولوژیکی نیز رخ می‌دهد. در این محیط نابودی عوامل بیماری‌زا و آزادسازی ازت سرعت بیشتری پیدا می‌کند. لذا برای تصمیمگیری استفاده از این روش دفع پساب و ذخیره آن در لایه‌های زیر سطح زمین اطلاعات زیرمورد نیاز است که با حفاری و مطالعه گمانه‌ها دستیافتنی است.

۱. خصوصیات دانه‌بندی و نفوذپذیری خاک در لایه‌های زمین تا سفره آب زیرزمینی؛

۲. عمق سفره آب زیرزمینی و ضخامت لایه ذخیره آب؛

۳. میزان آبدهی ویژه و تغییرات مجاز سفره آب؛

۴. میزان انتقال‌پذیری آب سفره - شیب هیدرولیکی سفره و نحوه آبگیری از آن؛

۵. موانع زمین‌شناسی لایه‌ها که در راه جریان‌های عمودی و افقی پساب مانع ایجاد می کنند؛

۶. قدرت اکسید کنندگی و تبادل یونی لایه های خاک.

در مواردی پساب باید فرایند فیلتراسیون دانه‌ای را بگذراند و پس از گندزدایی به زمین مورد نظر هدایت شود و در مواردی برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی به ازت باید از این جهت هم زدایش گردد.

توجه شود که بار سطحی فاضلاب به زمین در حدی حفظ گردد که شرایط غیر هوازی فراهم نشود. روش پیشگفتهٔ پخش خود ممکن است به چند گزینه انجام شود:

۱. غرقاب سطحی؛

۲. استفاده از جوی و پشته؛

۳. تغییر شرایط مسیل و نهر مورد تغذیه؛

۴. استفاده از فرایند فیلتراسیون طبیعی.

هر یک از گزینه های پخش پساب دارای مزایا و محدودیت‌هایی است که مطالعه شرایط محلی، مناسب‌ترین گزینه را تعیین می‌کند در هر سه روش پیشگفته تغذیه آب زیرزمینی اصل مهم هیدرولیک و قوانین دارسی است که از گفتگو درباره آن خودداری می‌شود و دستگاه طرح کننده و یا استفاده کننده با مراجعه به مراجع آبیاری-زهکشی می تواند جزئیات اجرایی پروژه را تنظیم کند، اما مسئله در اینجا سرنوشت انواع آلاینده‌هایی است که در جدول‌های شماره‌های ۲-۲ و ۲-۳ معرفی شدند.

انواع آلاینده های موجود در پساب و یا در پساب تصفیه شده در جریان حرکت از فضاهای خالی لایه‌های خاک زیر سطح زمین تحت تأثیر فرایندهای متفاوتی قرار می‌گیرند که عبارتند از:

- تجزیه بیولوژیکی به وسیلهٔ میکروب‌ها؛
- تبادل یونی با خاک؛
- فیلتراسیون و ته‌نشینی؛
- اکسیداسیون و احیا؛
- ترسیب شیمیایی؛
- تصعید بعضی مواد؛
- ترقیق در آب زیرزمینی.

که البته هر نوع آلاینده سرنوشت خاص خود را به شرح زیر طی می‌کند.

- **ذرات معلق**: ذرات معلق بزرگتر از فضاهای خالی خاک به وسیله لایه‌های خاک غربال می‌شوند. بخشی از ذرات ریزتر مانند باکتری‌ها و میکروب‌ها هم با فرایندهای ته‌نشینی روی سطوح ذرات لایه ها باقی می‌مانند.

ویروس‌ها بیشتر با جذب سطحی و واکنش با باکتری‌های غیر هوازی از بین می‌روند. با گذشت زمان و ادامه جریان پساب و با افزایش تجمع ذرات در لایه های خاک و ایجاد گرفتگی، فرایند فیلتراسیون دچار اختلال می‌شود. به هر حال ذرات ریزتر با فرایند انتشار، برخورد و ته‌نشینی از جریان پساب جدا می شوند. سودمندی فرایندهای بالا بستگی به غلظت ذرات معلق پساب، ویژگی‌های خاک و بار هیدرولیکی و یا سرعت جریان پساب در خاک دارد و با افزایش طول جریان در خاک کار زدایش ذرات معلق بیشتر خواهد شد.

- **آلاینده های معدنی**: این آلاینده ها نیز تحت تأثیر واکنش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک قرار می گیرند و ترسیب شده و از جریان پساب جدا می‌شوند. اما گروهی دیگر مانند کلرورها، سولفات ها و نیترات‌ها بدون تغییر در پساب باقی می‌مانند. عناصری مانند آهن و فسفات در حد زیادی در خاک جذب و ترسیب می‌شوند. وضعیت فلزات سنگین از این جهت بستگی به عوامل زیادی دارد و درصد حذف آن ها از صفر تا ۹۰ درصد متغیر است.
- **ترکیب‌های آلی محلول**: بیشتر ترکیب‌های آلی محلول زیر تأثیر تجزیه بیولوژیکی و جذب سطحی قرار می‌گیرند و میزان این فرایندها تابعی از نوع ترکیب شیمیایی و وجود عوامل جذب الکترون مانند اکسیژن و نیترات‌هاست. به نظر می‌رسد که هرچه بافت خاک ریزتر و در نتیجه سطح آن افزونتر باشد، فرایند تجزیه بیولوژیکی بهتر انجام می‌گیرد. اما از طرف دیگر این خاک با سرعت بیشتری دستخوش گرفتگی می‌شود.

در اینجا در مورد ترکیب‌های آلی با درجه حلالیت بالا و نیمه عمر طولانی باید هشدار داد که با جریان پساب به سفره آب زیرزمینی می‌رسند و جریان آب زیرزمینی آن را با خود حمل می‌کند. در شرایط هوازی محصولات تجزیه بیولوژیکی عبارت است از دی اکسید کربن، آب، سولفات‌ها، نیترات‌ها و فسفات‌ها و در شرایط بی‌هوازی این محصولات عبارتند از سولفیدها، دی‌اکسیدکربن، ازت و متان. زمان لازم برای تکمیل نسبی فرایندهای فوق حدود شش ماه و بیشتر است که خود یکی از مبانی استخراج آب از چاه برای استفاده دوباره است. توجه شود که وقتی غلظت مواد آلی در پساب بسیار کم است سرعت تجزیه بیولوژیکی هم کاهش می‌یابد و در نتیجه زمان بسیار دراز تر برای حذف آن‌ها ضرورت پیدا می کند.

در هر طرح استفاده از پساب تصفیه شده باید نگران آلودگی منابع آب شرب بود زیرا این گروه از ترکیب‌ها می‌توانند حتی در غلظت‌های کم در منابع آب شرب پیدا شوند، یکی از موارد خاص، آبیاری به وسیله این پساب‌هاست که هر بار پس از آبیاری و تبخیر آب بقایای این ترکیب‌ها روی محصول باقی می‌مانند و با هر بار آبیاری تجمع آن‌ها بیشتر می‌شود. گرچه اطلاعاتی در مورد جذب این ترکیب‌ها توسط ریشه گیاه و انتقال آن به بخش‌هایی از گیاه که مورد مصرف انسان است در دست نیست اما این نگرانی وجود دارد.

- **ازت**: ازت که غلظت آن در استاندارد آب شرب یادآوری شد در پساب به دو صورت حضور دارد. اول ازت آمونیاکی و دوم ازت به صورت نیترات که درصد نسبی آنها بستگی به فرایندهای تصفیه

فاضلاب دارد. در پساب تصفیه ثانویه، ازت آمونیاکی تا غلظت حدود ۲۰ گرم در متر مکعب ممکن است وجود داشته باشد و در پساب فرایند ازت‌زدایی، ازت بیشتر به صورت نیترات و کمتر از ۱۰ گرم در متر مکعب خواهد بود.

ازت آمونیاکی ترکیبی است مصرف کننده اکسیژن، اما جذب سطوح دانه‌های خاک شده و در شرایط نبود جریان فاضلاب دستخوش آزادسازی ازت می‌شود. برعکس نیترات‌ها با جریان آب زیرزمینی حرکت می‌کند اما اگر شرایط بی‌هوازی حاکم شود ازت از آب جدا می‌شود. بدین ترتیب که آمونیاک جذب شده در خاک، الکترون از دست می‌دهد و سرانجام گاز ازت آزاد می‌شود.

- **میکروب‌ها**[1]: حضور و فراوانی میکروب‌ها در پساب خروجی از فرایندهای تصفیه ثانویه و حدود پذیرفتنی آن در پساب تصفیه شده برای استفاده در جدول شماره ۲- ۲ نشان داده شده است. دوام میکروب‌های بیماری‌زا در لایه‌های خاک زیر سطح زمین بستگی به عواملی مانند آب و هوا، ترکیب خاک، جامعه جانوری و گیاهی ذره‌بینی خاک، میزان جریان پساب و نوع میکرب دارد. در دماهای کمتر از ۴ درجه سانتیگراد بعضی از میکروب‌ها ماهها و سال‌ها در محیط خاک زنده می‌مانند. برای افزایش هر ۱۰ درجه سانتیگراد مابین دمای حدود ۵-۳۰ درجه سانتیگراد، میزان مرگ و میر آنها دو برابر می‌شود. بافت دانه‌بندی خاک نقش اساسی در این فرایند دارد. در اراضی درشت دانه ماسه‌ای-شنی که سرعت جریان فیلتراسیون پساب بالاست و لذا دفع پساب، به زمین نسبتا کمتری نیاز دارد ویروس‌ها در آب زیرزمینی مشاهده شده‌اند. لذا در خاک‌های درشت دانه آلودگی آب زیرزمینی بیشتر رخ می‌دهد.

خواص دیگر خاک مانند پی‌اچ، غلظت کاتیون‌های خاک، ظرفیت حفظ رطوبت و وجود مواد آلی روی دوام میکروب‌ها تأثیر دارد.

با خشک شدن خاک مرگ و میر میکروب‌ها و ویروس‌ها افزایش می یابد و در خاک‌های اسیدی زودتر از بین می‌روند. در خاک‌های دارای مواد آلی که معمولا همراه است با غلظت بالای کاتیون‌ها و غلظت مواد آلی محلول و کاهش پی‌اچ، جذب سطحی ویروس‌ها انجام می‌شود. باکتری‌ها و موجودات زنده درشت‌تر در جریان نفوذ آب در خاک همان‌طور که

1. Microorganisms

در بالا گفته شد از جریان پساب جدا می‌شوند. حذف باکتری‌ها و ویروس‌ها بیشتر از ۹۵ درصد است و زمانی‌هم که به آب زیرزمینی می‌رسند با شرایط نامناسب روبه‌رو هستند و در نتیجه دوام زیادی نمی‌آورند. لذا به اجمال باید توجه داشت که در تغذیه منابع آب زیرزمینی و استفاده دوباره از آن نگرانی‌های بهداشتی وجود دارد و پس از آن امکانپذیری اقتصادی، محدودیت‌های فیزیکی، توجهات حقوقی، کیفیت آب استخراج شده و کمیت آن مطرح هستند. باید توجه داشت که غلظت بسیار کم آلاینده، می‌تواند در دراز مدت برای مصرف‌کننده مشکل آفرین شود و تنها به اثرات حاد ناشی از غلظت بالای آلاینده نباید بسنده شود.

حال اگر هدف تغذیه مصنوعی برای استخراج آینده آب جهت مصرفهای غیر شرب است، این روش نباید منابع آب شرب را آلوده کند. و اگر هدف طرح تقویت منابع آب شرب است باید طرح استفاده دوبارهٔ غیر مستقیم درنظر گرفته شود و هدف باید تقویت پتانسیل آب خام متعارف جامعه مورد نظر با پساب تصفیه شده بوده و پس از عبور آب از یک فرایند طبیعی به عنوان مانع حفاظتی محیط زیست تشکیل منبع آب خام را بدهد. بدین معنی که پساب تصفیه شده که مطرح خواهد شد، با یک آب سطحی و یا زیرزمینی باید اختلاط یابد و حال این مخلوط باید مراحل تصفیه بیشتر را بگذراند. لذا فاضلاب ابتدا فرایندهای تصفیه اولیه و ثانویه را طی می کند و سپس فرایندهای پیشرفته را باید بگذراند و حال با آب متعارف اختلاط یابد و وارد مرحله تصفیه طبیعی تحت شرایطی گردد و پس از آن آبگیری و مراحل تصفیه متعارف و فرایندهای دیگر باید روی آن انجام شود. توجه شود که بخشی از ویروس‌ها و ترکیبهای شیمیایی محلول ممکن است هنوز در آب حضور داشته باشد و استفاده از آن با توجه به دو اصل پیشگفته تطابق پیدا کند.

در اینجا یاداوری می‌شود که سیاست جایگزینی آب متعارف کشاورزی برای مصرفهای شهری با پساب تصفیه شده یا آب غیر متعارف باید در اولویت نخست قرار گیرد. زیرا در واقع با وضعیت فعلی روش‌های دفع فاضلاب‌ها، کشور هم اکنون در بهترین شرایط، در مرحله پیشگفته قرار خواهد داشت و به دلایل مختلف آن مرحله حفاظتی محیط زیستی دیگر وجود ندارد. چنانکه بسیاری از فاضلاب‌های خام و کم تصفیه شده، مستقیم به رودخانه‌ها و یا منابع آب زیرزمینی تخلیه می‌شود و آبگیری برای مصرف‌های شرب هم از این منابع انجام می‌گیرد و فرایندهای متعارف زلال‌سازی و فیلتراسیون توانایی حذف ویروس‌ها و ترکیب‌های شیمیایی

آلی محلول را در حد مطلوب ندارند و از طرف دیگر اثرات گندزدایی با کلر هم باتوجه به وجود تی‌اوسی در آب خام و در آب تصفیه شده، شاید زیانهایی بیشتر از سودهای آن داشته باشد.

با نگاهی به جدول شماره ۲-۲ و به ردیف مربوط به تی‌اوسی می‌توان مشاهده کرد که میزان آن در پساب تصفیه شده حداکثر باید ۱۰ گرم در متر مکعب باشد. در حالی که ارقام نشان می‌دهد که در آب خام ورودی به بعضی از تصفیه‌خانه‌های آب شرب کشور این ارقام مشاهده می‌شود.

استفاده دوباره در صنعت

بیشترین مصرف پساب تصفیه شده در بخش صنایع برای تاسیسات خنک کننده‌ها، آب جبرانی دیگ‌های بخار، فرایندهای مختلف در صنعت، صنایع کاغذسازی، صنایع شیمیایی و نساجی و تولید محلول‌های حشره‌کش و آفت‌کش است و در ۲۰ سال گذشته این نوع استفاده دوباره در امریکا رو به گسترش نهاده است.

در اینجا بحث کیفیت پساب تصفیه شده از نظر تمایل خورندگی آن، تولید رسوب و رشد بیولوژیکی روی سطوح تبادل حرارت مطرح است که استفاده کننده باید مطالعه‌های لازم و نحوه پیشگیری از آن را به کار ببرد.

در بسیاری از صنایع مانند دباغی، نساجی، تولید کاغذ و مقوا، صنایع فلزی و نفت و گاز می‌توان از پساب، آبی با کیفیت مناسب صنعت تولید کرد. لذا مسئولان فروش این آب غیر متعارف می‌توانند با مصرف کنندگان فوق به توافق‌هایی دست یابند. اگر این صنایع در محدوده شهری قرار دارند، تامین و تصفیه آب غیر متعارف برای تامین نیاز آن‌ها را می‌توان با طرح استفاده دوبارهٔ شهری تلفیق کرد که در بخش‌های دیگر بحث خواهد شد.

مصرف‌های شهری

در شهرها می‌توان از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، با تصفیه بیشتر روی آن در بخش های زیر استفاده کرد.

آبیاری پارک‌های عمومی، مراکز تفریحی، زمین‌های ورزشی، فضاهای مدارس، شانه‌ها و جزایر بزرگراه‌ها و راه‌آهن ها و بالاخره توسعه چشم‌انداز و زیباسازی محیط مجتمع‌های

مسکونی، تجارتی و صنعتی، تولید حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، آب‌نماها، مبارزه با آتش‌سوزی‌ها و تامین آب فلاش تانک توالت‌های عمومی و ساختمان‌های بلند.

در صورت وجود مصرف کنندگان متعدد، طرح و اجرای تاسیسات توزیع آب غیرمتعارف حاصل از تصفیه پساب‌ها به موازات شبکه‌های توزیع آب شرب، امکانپذیر و در مواردی دارای توجیه اقتصادی است. چنانکه از حدود ۳۵ سال پیش در شهر سن پیترزبورگ فلوریدا چنین شبکه‌ای در حال بهره‌برداری است. این شبکه آب غیر متعارف مورد نیاز مناطق مسکونی، مناطق تجارتی، پارک‌های مناطق صنعتی، نیروگاه‌ها، استادیوم ورزشی و حتی محوطه‌های مدارس را تامین می‌کند.

در شهر پوموتا در کالیفرنیا نیز از حدود ۳۷ سال پیش پساب تصفیه شده برای استفاده دوباره به مجتمع دانشگاهی پلی‌تکنیک تحویل داده شده است و پس از آن دو کارخانه کاغذ سازی نیز مشتری این شبکه شده‌اند. از این شبکه برای توسعه فضاهای سبز، چشم‌انداز راه‌ها، پارک‌منطقه‌ای و تاسیسات بازیافت انرژی در یک طرح دفن زباله نیز استفاده می‌شود. گرچه طرح و اجرای یک شبکه مجزای توزیع آب غیر متعارف، در مقابل شبکه توزیع آب شرب، طبق استانداردهای ملی ممکن است دارای توجیه اقتصادی نباشد، اما اگر شرایط زیر مطرح شود، توجه به این گزینه کار اشتباهی نیست.

۱. ضرورت انتقال آب از راه بسیار طولانی برای مصرفهای شهری؛

۲. ضرورت تصفیه یک آب بسیار آلوده برای رسیدن به کیفیت استاندارد ملی آب شرب؛

۳. ضرورت نمک‌زدایی از آب شور و لب شور؛

۴. ضرورت تصفیه پساب در حدی که مجوز تخلیه به منابع آب برای استفاده غیرمستقیم را به‌دست آورد.

در واقع در این بحث، می‌توان سوال دیگری مطرح کرد که آیا بهتر نیست آب شرب مورد نیاز کمتر از ۵ لیتر سرانه را به نحو دیگری غیر از شبکه توزیع عمومی به ساکنان شهر رسانید و از شبکه آب متعارف فعلی، آب غیر متعارف توزیع کرد. چنانکه اگر قرار باشد که آب شرب طبق استاندارد ملی کشور عاری از ترکیبات آلی و ویروس‌ها باشد، آیا تصفیه و توزیع این آب از طریق شبکه توزیع با فرارهای حدود ۲۵ درصد و مصرف در حمام و دستشویی و فلاش تانک مغایرت با اصول پیشگفته ندارد و آیا می‌توان برای آن توجیه اقتصادی یافت.

در حدود ۳۰ سال پیش آیین‌نامه‌ای در شهری در فلوریدا به تصویب رسید که در طرح‌های توسعه شهری باید طرح و اجرای شبکه توزیع آب غیر متعارف در نظر گرفته شود و در منطقه دیگری از کالیفرنیا مطالعات توجیه اقتصادی برای تامین آب غیر متعارف برای تاسیسات فلاش تانک ساختمان‌های بلند شهر انجام شد.

در آیین‌نامه ساختمان‌های بلندتر از ۱۷ متر پیشبینی یک شبکه مجزای استفاده از آب غیر متعارف برای فلاش تانک‌ها اجباری شده است.

یکی از مصرف کنندگان عمده این شبکه، تاسیسات آتش نشانی هستند. باید توجه داشت که در تاسیسات سنتی فعلی ظرفیت آبگیری برای مبارزه با آتش از طریق شیرهای آتش‌نشانی شبکه توزیع آب شرب بوده و در طراحی شبکه توزیع کوچکترین قطر لوله‌ها به خاطر نیاز آتش نشانی خیلی بزرگتر از ظرفیت نیاز لحظه‌ای مصرفهای خانگی است. اما اگر از ابتدا این توجهات رعایت شود شبکه توزیع آب متعارف دارای قطرهای کوچکتری در سطح محله‌ها و منطقه‌ها خواهد شد.

از طرف دیگر اگر از شبکه توزیع آب غیر متعارف در حد لازم برداشت نشود و پساب تصفیه شده در آن متوقف بماند مشکلات دیگری به همراه می‌آورد. به هر حال مطالب جدیدی است و آیین‌نامه‌های جدیدی را طلب می‌کند. لذا توسعه شبکه توزیع آب غیر متعارف نیاز به مطالعات همه جانبه در آینده دارد. استفاده از پساب تصفیه شده در محدوده شهر و اطراف آن برای آبیاری فضاهای سبز، ایجاد دریاچه‌های آب‌نما، قایقرانی و ماهیگیری و حتی شنا و ایجاد و تقویت تالاب‌ها امکانپذیر است و برای هر یک از این کاربردها استانداردهایی نیز در امریکا تهیه شده است که در آخر فصل ارائه می‌شود.

توسعه تالاب‌ها که پناهگاه‌رشد و نمو پرندگان و ماهی‌هاست و درعین حال می‌تواند زمینه حفظ و پایداری رودخانه‌های کوچکتر نیز بشود از دیگر موارد کاربرد پساب تصفیه شده است. در کالیفرنیا میانگین کلیفرم در پساب مورد استفاده برای ایجاد دریاچه‌های مناسب شنا و آب‌تنی، نباید بیشتر از ۲/۲ در ۱۰۰ میلی‌لیتر باشد. و در هیچ نمونه‌ای در ۳۰ روز این عدد نباید از ۲۳ بیشتر شود. لذا می‌توان نتیجه گرفت که پساب تصفیه ثانویه فاضلاب باید فرایندهای لخته‌سازی، فیلتراسیون و گندزدایی را بگذراند.

◆ **تالاب‌ها:** در طی چند ده‌سال گذشته بسیاری از دریاچه‌ها و تالاب‌ها دستخوش دگرگونی‌هایی

همچون کاهش سطح و عمق و افزایش آلودگی آب شده‌اند و با توجه به اهمیت حفظ و توسعه آنها طرحهای تغذیه آنها از پساب تصفیه شده باید مورد توجه قرار گیرد. تالاب‌ها می‌توانند باعث تصفیه بیشتر پساب شده و خود نقش فرایند میانی در تقویت منابع آب شرب را داشته و آب خروجی آنها برای تغذیه رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. تالاب‌های بشرساخت که در حرفه مهندسی محیط زیست به نام وتلند[1] شناخته می‌شود، مشمول بحث‌های فوق می‌شود. از مهمترین مزایای استفاده از وتلند برای تصفیه بیشتر پساب تصفیه شده عبارتند از:

- کیفیت پساب از طریق فعالیت‌های طبیعی بهبود می یابد؛
- با نگهداری و تصفیه پساب منابع آب پایین دست از آلودگی محافظت می‌شود؛
- با ایجاد وتوسعه وتلند محیط زیست بخشی از حیات وحش فراهم می‌شود؛
- به طور نسبی به هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری کمی نیاز دارد؛
- فضای سبز ایجاد می‌کند؛
- جریان‌های ناگهانی را متعادل می‌کند؛
- فضای آموزشی و زیبا شناختی فراهم می‌کند.

اما محدودیت‌هایی هم دارد که عبارتند از:

- زمین به نسبت زیادی مورد نیاز است؛
- در توسعه شهری ممکن است جایگاه مطلوبی پیدا نکند؛
- رشد جلبک‌ها و گیاهان، برای استفاده دوباره آن ایجاد محدودیت و مزاحمت می‌کند.

به طور کلی با ایجاد وتلند هم پساب بیشتر تصفیه می‌شود و هم توسعه حیات وحش و زیبایی محیط را به همراه می‌آورد. شهرهای زیادی اقدام به ایجاد چنین شرایطی کرده‌اند و از نتایج کار نیز راضی هستند.

◆ **دریاچه‌های ورزشی:** ایجاد دریاچه‌هایی با اهداف قایقرانی، ماهیگیری و شنا با استفاده از پساب امکانپذیر است و البته معیار کیفیت آن‌ها یکسان نیست و هرچه احتمال تماس انسان با آب دریاچه بیشتر می‌شود، معیار کیفیت لازم افزایش می یابد.

---

1. Wetland

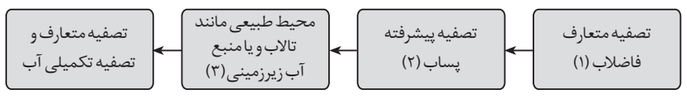
در این نوع کاربرد، برای جلوگیری از رشد جلبک‌ها، حذف ازت و فسفر از پساب ضرورت پیدا می‌کند. در غیر این صورت رشد جلبک ها و تولید بو و ظاهر نامطلوب پیش می آید.

- **تقویت رودها:** در شرایطی که میزان برداشت آب از رودخانه ای آنقدر زیاد است که هویت رودخانه به خطر می‌افتد می‌توان پساب را به رودخانه هدایت کرد. کیفیت پساب هدایت شده بستگی به کاربرد آب رودخانه دارد، چنانکه اگر تماس با انسان پیش می‌آید همان استاندارد دریاچه‌های تفریحی را خواهد داشت.

افزایش پتانسیل منابع آب شرب

در مناطقی که کمبود منابع آب تجدید شونده وجود دارد، گزینه تقویت پتانسیل منابع آب به کمک پساب تصفیه‌خانه های فاضلاب به عنوان آب غیر متعارف ممکن است مورد توجه قرار بگیرد اما با توجه به هزاران نوع ترکیبهای شیمیایی و دارویی و صنعتی مورد مصرف در شهر و تخلیه آن‌ها به شبکه جمع‌آوری فاضلاب، حتی پس از تصفیه متعارف فاضلاب یعنی تصفیه اولیه و ثانویه و سپس تصفیه پیشرفته مانند انعقاد و فیلتراسیون بازهم خطر وجود ترکیبهای شیمیایی، حتی در غلظت‌های کم وجود دارد که به منابع آب خام شرب می‌رسد. امکانات آزمایشگاهی تعیین غلظت آن‌ها هم در موارد زیادی هنوز فراهم نشده است. ترکیبهایی از گروه هورمون‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها، ضد التهاب‌ها، مواد شیمیایی موجود در صابون‌های ضدعفونی کننده و ترکیبهای بسیار دیگر از این گروه هستند که معلوم نیست نوشیدن آب حاوی غلظت‌های کم آن برای درازمدت چه اثرهای ناگواری در انسان می‌تواند در پی داشته باشد. تشخیص وجود انواع آلاینده‌های فوق در آب به کمک آزمایشگاه و تعیین غلظت بی خطر آن‌ها نیاز به امکانات و اطلاعاتی دارد که هنوز در دسترس نیست، لذا نمی‌توان حداقل غلظت مجاز آن‌ها را تعیین کرد. با توجه به ابهامهای بسیار مهم بالا دیاگرام شماره ۲-۱ برای این استفاده غیر مستقیم پیشنهاد می‌شود.

دیاگرام شماره ۲-۱: **فرایندهای تصفیه آب برای مصرفهای غیرمستقیم شرب**



بلوک محیط طبیعی یعنی منابع آب سطحی و یا زیرزمینی برای تصفیه طبیعی، رقیق سازی، گذشت زمان برای ادامه تجزیه بیولوژیکی و مرگ و میر عوامل بیماری‌زا در نظر گرفته می‌شود. در بسیاری از رودخانه‌های کشور در بالادست، فاضلاب‌های خام، نیمه تصفیه شده و گهگاه تصفیه شده مستقیم و یا از طریق چاه‌های نشتی به رودخانه‌ها تخلیه می‌شود و در پایین دست، شهرها و شهرک‌هایی آب شرب خود را از رودخانه دریافت می‌کنند. با توجه به همان بحث بالا این روش تخلیه فاضلاب و آبگیری نمی‌تواند ادامه یابد زیرا کم کم اهمیت ویروس‌ها و ترکیبهای آلی محلول موجود در آن ها بیشتر می‌شود. زیرا اولا در همه جا امکانات تشخیص غلظت آن‌ها وجود ندارد و ثانیا بسیاری از دستگاه های اندازه‌گیری حساسیت کافی تعیین غلظت کم آن‌ها را ندارند و به همین دلیل‌ها هرگاه چنین شرایطی ایجاد شود، آب گرفته شده از رودخانه با اعمال فرایندهای تصفیه متعارف آبی طبق استاندارد ۱۰۵۳ نمی‌تواند تولید شود و به همین دلیل در این زمینه معیار و استانداردی هم پیشنهاد نشده است. اما در مورد تغذیه آب زیرزمینی، تحقیقات زیادی انجام شده و با توجه به فرایندهای مفصل و پیچیده تصفیه فاضلاب در فضاهای خالی لایه‌های خاک که دربارهٔ آنها گفتگو شد معیارهایی تدوین شده است. این معیارها در جدول شماره ۲-۱۵ چنین نشان می‌دهد که پساب تصفیه ثانویه باید از فرایندهای حذف ازت و فسفر و فیلتراسیون بگذرد و قبل از تخلیه به آب زیرزمینی کیفیتی مشابه استاندارد آب شرب پیدا کند و به عنوان مثال تی‌اوسی آن کمتر از ۳ گرم در مترمکعب شود.

توجهات اساسی در برنامه‌ریزی

از اولین کارهای مطالعاتی در استفاده دوباره تعیین مصرف کنندگان این آب غیر متعارف است که در راس آن‌ها سازمان‌های پارک و فضای سبز شهرهاست، بعلاوه باید نیاز صنایع، موسسات اتومبیل‌شویی، ایجاد دریاچه‌های آب‌نما، فلاش تانک توالت‌های عمومی، فعالیت‌های تولید بتن، نیازهای آتش نشانی و شستشوی معابر تعریف شود. این مرحله از کار را می‌توان مطالعات مقدماتی دانست و باید برای سئوال‌های زیر پاسخ تهیه شود.

۱. کدام یک از منابع تولید پساب می تواند به آب غیرمتعارف تبدیل گردد؛

۲. بازارهای مصرف این آب کدامند و در کجا قرار دارند؛

۳. مقدار تولید پساب و نیاز به آن چیست و وزن نسبی آن در بیلان آب منطقه چقدر است؛

۴. چه مقرراتی برای حفظ سلامت مردم و محیط‌زیست وجود دارد و کمبود آن برای نظارت کدام است؛

۵. پذیرش جامعه برای استفاده دوباره چگونه است؛

۶. قیمت تمام شده آن در محل تحویل چقدر است و چه نسبتی به قیمت آب متعارف دارد؛

۷. مسئولان تولید، انتقال و توزیع چه‌کسانی هستند و مصرف کننده کیست و تعهدات آن‌ها چیست.

بهرحال هدف این مرحله از مطالعات تعیین مصرف کنندگان بزرگ و کوچک و موقعیت جغرافیایی آن‌ها ست.

در مرحله دوم باید مصرف کنندگان را از نظر نیاز کمی و کیفی پساب تقسیم‌بندی کرد. برای این مطالعه ابهام‌های زیر باید روشن شود:

۱. کیفیت آب غیر متعارف تحویل دادنی و کیفیت موردنیاز مصرف کننده؛

۲. میزان نیاز روزانه مصرف کننده و میزان درخور تحویل و تغییرات نیاز چیست؛

۳. قیمت امروز آب متعارف و قیمت آینده آن در رابطه باقیمت آب غیرمتعارف تولیدی چقدر است؛

۴. قوانین و مقررات موجود در این کار تا چه حد کافی است؛

پس از این مرحله از مطالعه و رفع ابهام‌ها، لازم است لیست مصرف کنندگان بزرگ تهیه شود و با توجه به میزان پساب تولیدی و نیازهای مصرف کنندگان بالقوه، کار غربال نمودن ادامه پیدا کند و باید برای هر یک از مصرف کنندگان بالقوه مطالعاتی در زمینه موضوعهای زیر انجام شود.

- کیفیت و کمیت و تغییرات نیاز مصرف کننده به پساب در هفته و فصل و حتی روزانه چقدر است و با تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده که باید به صورت فرم پرسش‌نامه باشد می‌توان تاسیسات لازم را طراحی و برآورد کرد و قیمت تمام شده پساب را محاسبه نمود.
- هر یک از صنایع و مصرف کنندگان و حتی کشاورزان چگونه می‌توانند در سرمایه‌گذاری طرح شرکت کنند و چه منافعی خواهند داشت. تضمین تحویل پساب با کمیت و کیفیت مطلوب مصرف‌کننده و تضمین مصرف کننده برای خرید چگونه است.

به هرحال هدف از این مطالعه‌ها جلب مشتری و اطمینان به این است که مصرف‌کنندگان تضمین خرید خواهند داد. پس مهمترین اصل جلب اعتماد جامعه مصرف کننده پساب تصفیه شده به بهداشت و امنیت پروژه است. لذا باید:

۱. اطمینان داشت که پساب تصفیه شده تولیدی طبق مشخصات موردنیاز مصرف‌کننده است؛

۲. اطمینان داشت که تاسیسات دارای امکاناتی است که هیچگاه تولید از نظر کمی و کیفی دچار نقض نمی‌شود؛

۳. توجه داشت که اتصال ناجور پیش نیاید و آب غیر متعارف در جای نامناسب موردمصرف قرار نگیرد.

لذا هیچ نگرانی در مورد بروز و انتشار بیماری‌های ناشی از استفاده و آلودگی محیط زیست به وجود نیاید. توجه شود که:

در پساب تصفیه شده عوامل بیماری زا، کیست و تخم انگل‌ها و ویروس‌های روده‌ای از بین رفته یا در حد بی خطر در آن باقی مانده باشد و با وجود ترکیبهای شیمیایی آلی در آن توجه شود که از این رهگذر به منابع آب نرسند. در نتیجه با توجه به کیفیت آب غیرمتعارف مورد نیاز مصرف‌کنندگان، پساب تصفیه شود، لذا باید فرایندهای لازم تصفیه تدوین و طراحی شود که پسابی طبق نیازهای مصرف کننده تولید گردد.

در فاضلاب شهر باکتری‌های مولد بیماری، پروتوزواهای مولد بیماری، عوامل انگلی و ویروس‌ها حضور دارند که اگر در طراحی استفاده دوباره بی‌توجهی شود عوامل بیماری می‌تواند به مردم سرایت کند که نقض اصل اول شرط استفاده از پساب است.

در یک مطالعه موردی وضعیت عوامل بیماری‌زا در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دارای امکانات تصفیه ثانویه قبل از کلرزنی طبق جدول شماره ۲-۴ بوده است. به طور کلی بیشتر عوامل بیماری‌زا و انگل‌ها در حدود۸۰-۹۰ درصد در فرایندهای تصفیه ابتدایی و ثانویه حذف می‌شوند، اما فعلا در مورد درصد حذف آن‌ها تنها با شاخص کلیفرم گوارشی می‌توان قضاوت کرد. ملاحظه شد که بیشتر عوامل بیماری زا در محیط خارج بدن تکثیر نمی‌یابند و بسیاری از انگل‌ها نیز در محیط خاک رشد پیدا نمی‌کنند. همه آن‌ها در خارج از بدن با نرخی از بین می‌روند. این نرخ بستگی به عوامل چندی دارد که درباره شان گفتگو شده است. دوام عوامل بیماری زا در جدول شماره ۲-۵ نشان داده شده است.

- **ذرات معلق[1] در هوا:** ذرات جامد و مایع معلق کوچکتر از ۵۰ میکرون در هوا را آئروسل گویند.

1. Aerosols

جدول شماره ۲-۴

میکروب‌ها در فاضلاب‌خام و پساب تصفیه خانه فاضلاب در ۱۰۰ لیتر، طبق یک گزارش موردی

نوع میکروب	خام	پساب	درصد حذف
کلیفرم‌های گوارشی	تا ۱۰۰۰۰۰	۷۷۶۴	۹۲
آنتروککسی	تا ۱۰۰۰۰۰	۲۱۸۶	۹۷
ویروس‌های روده‌ای	تا ۵۰۰۰	۶۵۰-۲۰	۸۸
کیست ژیاردیا	تا ۵۰۰۰۰	۲۲۹۷-۵	۹۸
اوکیست کرپتوسپوریدیوم	۱۵۰۰	۱۴۰	۹۰

منبع: مرجع شماره ۶

بیشتر ویروس‌ها و باکتری‌های بیماری‌زا در اندازه‌ای هستند که می‌توانند از این طریق وارد مجراهای تنفسی انسان شوند، لذا هرگاه‌پساب در آبیاری فضاهای سبز به روش بارانی انجام شود و یا در سیستم‌های خنک کننده به کار رود تشکیل ذرات معلق آن خطر انتقال بیماری

جدول شماره ۲-۵

دوام عوامل بیماری‌زا در محیط (مدت دوام بر حسب روز) در دمای ۳۰-۲۰ درجه سانتی‌گراد

عامل بیماری زا	در آب و فاضلاب	روی محصول	در خاک
ویروس‌ها: ویروس‌های روده‌ای	کمتر از ۱۲۰ ولی معمولا کمتر از ۵۰	کمتر از ۶۰ ولی معمولا کمتر از ۱۵	کمتر از ۱۰۰ و معمولا کمتر از ۲۰
باکتری‌ها:			
کلیفرم‌های گوارشی	کمتر از ۶۰ معمولا کمتر از ۳۰	کمتر از ۳۰ معمولا کمتر از ۱۵	کمتر از ۷۰ - معمولا کمتر از ۲۰
سالمونلا	کمتر از ۶۰ معمولا کمتر از ۳۰	کمتر از ۳۰ معمولا کمتر از ۱۵	کمتر از ۷۰ - معمولا کمتر از ۲۰
شیگلا	کمتر از ۳۰ معمولا کمتر از ۱۰	کمتر از ۱۰ معمولا کمتر از ۵	-
ویبریو	کمتر از ۳۰ معمولا کمتر از ۱۵	کمتر از ۵ - معمولا کمتر از ۲	کمتر از ۲۰ - معمولا کمتر از ۱۰
پرتوزاها: آمیب هیستولیکا	کمتر از ۳۰ معمولا کمتر از ۱۵	کمتر از ۱۰ - معمولا کمتر از ۲	کمتر از ۲۰ - معمولا کمتر از ۱۰
انگل‌ها: تخم آسکاریس	ماه‌های زیاد	کمتر از ۶۰ - معمولا کمتر از ۳۰	ماه‌های زیاد

منبع: مرجع شماره ۶

جدول شماره ۲-۶

تعداد عوامل بیماری‌زا در ۱۰۰ لیتر فاضلاب خام و پساب تصفیه شده شهر سن پیترزبورگ فلوریدا

نوع میکروب	فاضلاب خام	پساب
ویروس‌های روده‌ای	۱۰۳۳	۰/۰۱
کرپتوسپوریدیوم	کمتر از ۱۴۵۰	۰/۷۵
کیست ژیاردیا	۶۸۹۰	۰/۴۹

منبع: مرجع شماره ۶

را ایجاد می کند. حذف آمیب‌ها دارای لگاریتم ۳ و برای حذف باکتری‌ها زیر ۱۰۰ درصد بوده است. حاصل تحقیقاتی در جدول ۲-۶ نشان داده شده است.

تصفیه فاضلاب

هدف از تصفیه فاضلاب، جدا کردن مواد دفعی از آب حامل آن است و فرایندهای زیر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- زدایش جامدات حجیم و شناور؛
- زدایش روغن‌ها و چربی‌ها؛
- زدایش جامدات معلق سنگینتر از آب؛
- زدایش جامدات معلق ته نشین نشدنی و کلوئیدها؛
- زدایش بخشی از میکروب‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها.

فرایندهای فوق در دو مرحله تصفیه اولیه و ثانویه انجام می‌شود و تصفیه ثانویه همان تصفیه بیولوژیکی است. انتخاب فرایندها نه فقط به نوع استفاده از پساب بستگی دارد، بلکه کیفیت فاضلاب خام هم روی انتخاب فرایندها دخالت دارد. کیفیت فاضلاب خام به فرایندها و فعالیت‌های مولد آن بستگی دارد، مانند فاضلاب‌های خانه‌ها و اماکن عمومی یا فاضلاب صنایع و یا سیلاب‌های شهری که به شبکه جمع‌آوری فاضلاب تخلیه می‌شود. تمام بحث این فصل درباره پساب تصفیه‌خانه‌های متعارف فاضلاب است و انتظار این است که اگر صنایع، فاضلاب خود را به شبکه جمع آوری فاضلاب شهری تخلیه می‌کنند باید دارای تصفیه‌خانه ای باشند تا پساب تولیدی در حدود فاضلاب خام شهری گردد.

به هرحال در جدول شماره ۲-۷ درصد حذف آلاینده‌های فاضلاب به وسیله تصفیه

اولیه و ثانویه نشان داده شده است. اولاً باید توجه داشت که ارقام فوق برآمده از یک طرح، اجرا و بهره‌برداری خوب است و ثانیا توجه شود که درصد حذف بسیاری از آلاینده‌ها به صورت طیفی وسیع نشان داده شده است. لذا عملکرد هر تصفیه‌خانه‌ای باید به کمک آزمایشهای مفصل تعیین شود.

حذف کلیفرم‌ها که ۰-۹۹ درصد نشان داده شده است گویای آن است که هر تصفیه‌خانه فاضلاب دارای عملکرد خاص خویش است که باید تعیین شود.

یادآوری می‌شود که هدف از ارائه این فصل بیان پتانسیل استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌است و موضوع فرایندهای تصفیه‌فاضلاب و فرایندهای تصفیه پساب در نظر نیست. موضوع اول مربوط به علم تصفیه فاضلاب و موضوع دوم مربوط به دانش تصفیه پساب است که موضوعهای مورد توجه این کتاب نیست. اما ویژگیهای پساب مناسب کاربرد در هر شرایط و برای هدفهای مختلف به تفضیل ارائه شده است و کارشناس مسئول تاسیسات تصفیه پساب با استفاده از فرایندهای شناخته شده باید به تولید محصول با کیفیت مورد نظر برسد.

جدول شماره ۲-۷: درصد حذف آلاینده‌ها در فرایندهای تصفیه فاضلاب

آلاینده	تصفیه اولیه	تصفیه ثانویه - لجن فعال
کدورت	۳۱	
بی‌اودی	۴۲	۸۹
کل ذرات معلق	۳۸	۷۲
روغن‌ها و چربی‌ها	۶۵	۸۳
آرسنیک	۳۴	۸۳
کادمیوم	۳۸	۲۸
کرم	۴۴	۵۵
آهن	۴۳	۶۵
سرب	۵۲	۶۰
کلیفرم‌های گوارشی	کمتر از ۱۰	۹۹-۰
سالمونلا	۱۵-۰	۹۹-۷۰
شیگلا	۱۵	۹۰-۸۰
تخم انگل‌ها	۹۵-۵۰	بسیار محدود
ویروس‌های روده‌ای	محدود	۹۹-۷۵

منبع: مرجع شماره ۶

گندزدایی: مهمترین فرایند موثر در نابودی میکروب‌ها گندزدایی است و مهمترین گندزدای مورد مصرف درصنعت آب و فاضلاب کلر است. گرچه ازن و اشعه ماورای بنفش هم در این صنعت به کار می‌رود.

در انتخاب گندزدا باید به عوامل زیر باید توجه شود.

- درجه اثر گندزدا؛
- درجه اعتماد به کاربرد آن؛
- هزینه های سرمایه‌گذاری؛
- هزینه های بهره‌برداری و نگهداری؛
- سهولت حمل و نقل؛
- انعطاف‌پذیری کاربرد؛
- سهولت و امنیت کار با آن؛
- اثرهای جانبی نامطلوب آن.

عملکرد کلر به عنوان گندزدا بستگی به دما و پی‌اچ آب، درجه اختلاط، زمان تماس، وجود ترکیبهای خنثی‌کننده مانند احیاکننده‌ها، غلظت کلر و طبیعت و غلظت میکروب‌ها در آب دارد.

به طورکلی باکتری‌ها مقاومت کمتری نسبت به کلر، و ویروس‌ها مقاومت بیشتری به آن دارند. کیست و تخم انگل‌ها از ویروس‌ها هم مقاومت بیشتری نسبت به کلر از خود نشان می‌دهند.

میزان لازم افزایش کلر با توجه به عوامل فوق به صورت آزمایشگاهی باید تعیین شود و با تعیین زمان تماس و غلظت باقی‌مانده آن می‌توان تصمیمگیری کرد. در خصوص کاربرد گندزداها توصیه می‌شود به مراجع مربوط به تصفیه آب و فاضلاب مراجعه شود.

تصفیه پیشرفته و بیشتر

فرایندهای مورد استفاده برای تصفیه بیشتر پساب عبارتند از:

- فیلتراسیون که معمولا همراه با اختلاط با منعقدکننده و تولید ذره است؛
- گندزدایی به وسیله کلر؛
- حذف ازت؛

- حذف فسفر؛
- انعقاد- ته‌نشینی در شرایط خاص؛
- جذب به وسیلهٔ کربن فعال؛
- میکرو، و اولترافیلتراسیون؛
- نانوفیلتراسیون؛
- اسمز معکوس.

هر یک از فرایندهای بالا دارای کارایی خاصی هستند که کاربردشان باید با توجه به نکته‌های زیر تعیین شود:

۱. با توجه به کیفیت مطلوب آب غیر متعارف برای استفاده که در جدول‌های بعدی آمده است، فرایندهای تصفیه پساب انتخاب شود؛

۲. عملکرد بیشتر فرایندهای فوق به طور متعارف شناخته شده هستند و بر اساس آن باید تصمیم گرفته شود؛

۳. لازم است به کمک عملیات پیلوت از نتیجه کار اطمینان به دست آید؛

۴. فرایندهای مورد استفاده باید دارای درجه اعتماد بالا و ریسک پایین باشد؛

برای افزایش درجه اعتماد به نتایج عملیات تصفیه پساب و تولید آب غیر متعارف درخور اعتماد، معیارهایی توصیه شده است که عبارتند از:

۱. متصدیان بهره‌برداری از تاسیسات انتقال و توزیع پساب تصفیه‌شده و واحدهای تصفیه پیشرفته باید دارای گواهی صلاحیت کار در این بخش باشند؛

۲. تجهیز تاسیسات فرایندهای تصفیه پیشرفته به ابزار دقیق به منظور اطمینان از عملکرد مطلوب واحدها و اعلام خطر در صورت بروز عملکرد نامطلوب؛

۳. تهیه و اجرای یک برنامه جامع پایش به منظور کنترل کیفیت آب تولیدی به کمک عملیات آزمایشگاهی؛

۴. پیش‌بینی امکانات ذخیره و تصفیه مجدد پساب تصفیه شده ای که دارای معیارهای کیفی لازم نیست؛

۵. پیشبینی امکانات ذخیره پساب تصفیه شده، در زمان نیاز کم مصرف کننده و تحویل آن در زمان نیاز بیشتر از تولید تاسیسات؛

۶. توجه خاص به انجام عملیات پیش تصفیه فاضلاب‌های صنعتی قبل از تخلیه به شبکه جمع‌آوری فاضلاب عمومی، تا عناصر خطرناک در پساب تصفیه شده وجود نداشته باشد؛

۷. در طراحی فرایندها و انتخاب تعداد واحدها و مدول‌ها توجه شود که تاسیسات از انعطاف پذیری کافی برخوردار بوده و پیشبینی واحدهای یدک درنظر گرفته شود؛

۸. تامین تجهیزات تولید نیروی الکتریسیته (دیزل ژنراتور) در محل هنگام قطع خط تامین نیرو.

برای هر یک از ردیف‌های فوق معیارها و سیاست‌های خاص توصیه شده است که یک تیم خبره طراحی تاسیسات اصلاح پساب و بازیافت آن برای مصرفهای مختلف به کمک مراجع معتبر موجود می‌تواند کار مطالعات، تعریف گزینه‌ها، تدوین معیارهای طراحی، انجام محاسبه‌ها و مقایسه اقتصادی و اجرایی را انجام داده و گزینه مطلوب را معلوم کند و لذا در این مختصر به آن پرداخته نمی‌شود.

با بررسی اجمالی جدول شماره ۲-۱۶ که هدف از تصفیه پساب استفاده غیر مستقیم برای مصرف شرب و از طریق تغذیه منابع آب زیرزمینی است، مشاهده می‌شود که پساب تصفیه شده مرحله ثانویه باید طوری تصفیه شود که با معیارهای کلیفرم، بی‌اودی، کدورت، تی‌اوسی با کمترین استانداردهای آب شرب مطابقت داشته باشد، تا مناسب تغذیه آب زیرزمینی شده و حداقل ۹ ماه هم در منبع آب زیرزمینی باقی بماند. فرایندهای لازم برای تصفیه این آب عبارت از فیلتراسیون مستقیم و تصفیه پیشرفته حذف ازت و فسفر است.

یاداوری می‌شود که از مهمترین ویژگیهای خطرناک پساب و پساب تصفیه شده، ویروس‌ها و ترکیبهای آلی محلول است که نیاز به توجهات زیادی دارد و همان‌طور هم که قبلاً یاداوری شد، هدف این فصل معرفی فرایندها و عملکرد تصفیه پساب‌ها نیست، بلکه ارائه معیارها و استانداردهایی است که مورد توجه قرار گرفته است تا از این مجموعه بتوان معیارها و استانداردهای بومی مورد نیاز کشور را تدوین کرد.

باید توجه داشت که فرایندهای تحت نام فرایندهای پیشرفته تصفیه فاضلاب که در بالا اشاره شد قادر به حذف بسیاری از مواد آلی محلول در پساب نیستند و چنانکه مشاهده شد در حذف بی‌اودی، سی‌اودی و تی‌اوسی تا سقف ۸۵ درصد آن هم با شرایطی، امکانپذیر است. با استفاده از فرایندهای تصفیه متعارف آب یعنی اختلاط، انعقاد و لخته سازی، زلال‌سازی و فیلتراسیون، طبق آزمایشهایی ۹۹ درصد پلی ویروس‌ها حذف شدنی است و می‌تواند کدورت

آب را در حدی کاهش دهد که گندزدایی مفید واقع شود. حاصل طرح‌های پیلوت نشان داده است که فیلتراسیون مستقیم با لخته‌سازی قبل از آن نیز تا سقف ۹۹ درصد پلی‌ویروس‌ها را حذف می‌کند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام گرفته، ایالت کالیفرنیا در سال ۱۹۸۸ معیارهای زیر را برای فیلتراسیون مستقیم پساب‌ها به منظور تولید آب غیر متعارف با انتظار نبود ویروس‌ها تدوین کرده است.

- افزایش یک منعقدکننده قبل از فیلتر ضروری است مگر آنکه کدورت آب کمتر از ۵ ان تی یو باشد؛
- حداکثر بار هیدرولیکی فیلتر ۱۲ متر در ساعت؛
- میانگین کدورت آب خروجی از فیلترها ۲ ان تی یو و یا کمتر باشد؛
- افزایش کلر برای گندزدایی با درجه اختلاط بالا؛
- زمان نظری تماس کلر حداقل ۲ ساعت؛
- کمترین حد کلر باقیمانده پس از زمان تماس ۰/۵ گرم در مترمکعب؛
- تناسب طول به عرض و یا عمق حوضچه تماس ۴۰:۱ باشد؛
- رقم متوسط میانی مجموع کلیفرم‌ها در ۷ روز هفته در پساب ۲/۲ در ۱۰۰ میلی‌لیتر و یا کمتر باشد و در هیچ نمونه نباید از ۲۳ در ۱۰۰ میلی‌لیتر بیشتر شود.

با توجه به اینکه اگر کیفیت پساب طبق معیارهای لازم نباشد سلامتی جامعه به خطر می‌افتد، درجه اعتماد به تولید پساب مطلوب باید بالا باشد. لذا طراحی، اجرا و بهره‌برداری از تاسیسات باید با دقت زیاد انجام گیرد، زیرا هر یک از عناصر تاسیسات ممکن است عملکرد خود را در حد طراحی و انتظار انجام ندهند که در بالا به آن اشاره شد.

تاسیسات توزیع پساب تصفیه شده

با توجه به بحث‌های مربوط به کمبود آب و وجود پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و انجام بررسی‌های مربوط به امکانات استفاده دوباره که ارائه شد، داشتن دو شبکه مختلف آب شرب و بهداشتی و شبکه توزیع آب غیر متعارف مورد توجه کشورهایی مانند امریکا قرار گرفته و مورد استفاده است.

با توجه به استاندارد کیفی آب غیر متعارف، مشاهده می‌شود که ظاهرا از نظر بی‌اودی، مواد معلق جامد، کدورت و کلیفرم آبی مانند آب شرب است، اما در مورد وجود مواد شیمیایی مختلف محلول در آن سخنی نمی‌رود زیرا امکانات اندازه‌گیری آن‌ها در پساب تصفیه شده محدود است، لذا اثرهای آن روی انسان نامعلوم و به همین جهت از آن به عنوان آب غیرمتعارف یاد می‌شود.

با توجه به وضعیت منابع آب در کشور و تخلیه انواع فاضلاب‌ها به طور مستقیم و غیرمستقیم به آن، در واقع در بسیاری از موارد، آب جاری در شبکه‌های توزیع کشور، در همان کلاس آب غیر متعارف و یا نزدیک به آن قرار دارد.

در معیارهای سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، حد مجاز تی‌اوسی در آب غیرمتعارف برای تقویت منابع آبی که قرار است برای مصارف شرب استفاده شود حدود ۲-۳ میلی گرم در لیتر است، ارقام موجود در رساله‌های دانشجویی در مورد کیفیت آب خام بعضی رودخانه‌ها که برای شرب مورد استفاده است ۶-۸ میلی گرم در لیتر را نشان می‌دهد. لذا فرایندهای متعارف برای تصفیه این آب‌ها برای مصارف شرب کافی نیست.

در این صورت نمی‌توان آب خام دارای تی اوسی بیشتر از حدود ۵ میلی گرم در لیتر را آب متعارف نامید. مگر آنکه امکانات اندازه‌گیری تمام آلاینده‌های ممکن موجود در این منابع اندازه‌گیری شده و نبود آنها در آب شبکه اثبات شود. به هرحال همان‌طور که در بخش‌های قبلی گفته شد در امریکا در چند شهر شبکه توزیع آب غیرمتعارف ایجاد و در حال بهره‌برداری است. حال در صورتی که اندیشه اجرای یک شبکه توزیع آب غیرمتعارف توسعه یافته و به مرحله اجرا برسد این نکته‌ها باید مورد توجه قرار گیرد.

- تجهیزات لازم برای جلوگیری از اتصال آن به شبکه آب متعارف پیشبینی شود؛
- تمام تاسیسات دارای مارک و علائم هشدار دهنده باشند تا با آب شرب اشتباه نشود؛
- برای طرح و اجرای آن، آیین‌نامه خاص تهیه شود؛
- تیم مسئول طراحی، اجرا و بهره‌برداری با مقررات فوق آشنایی کامل داشته باشند.

حفظ بهداشت محیط زیست

مشاهده گردید که در فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه‌شده با نام پساب بیماری‌زاهای زنده و مرده وجود دارند که مهمترین آن‌ها عبارت است از:

- بیماری‌زاهای زنده مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، کیست و تخم انگل‌ها؛
- فلزات سنگین و نمک‌ها؛
- ازت، فسفر و پتاس که مواد غذایی گیاهان و جلبک‌ها هستند؛
- ترکیبهای شیمیایی مورد مصرف جامعه مانند اکسیدکننده‌ها، اسیدها، بازها، پلیمرها و غیره.

حال در صورتی که پساب قبل از استفاده و یا قبل از تخلیه به محیط مورد تصفیه بیشتر قرار نگیرد باعث آلودگی و ویرانی محیط زیست می‌گردد.

برای مثال اگر پساب در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد ۳ گروه از مردم جامعه در خطر بیماری‌ها قرار می‌گیرند که عبارتند از:

- مصرف‌کنندگان مواد غذایی حاصل از آبیاری با پساب؛
- کشاورزان و خانواده‌های آن‌ها که در این مزارع به کار مشغولند؛
- ساکنین مجتمع‌های مسکونی و حتی عابرین اطراف مزارع مورد بحث.

لذا لازم است به کمک قانون و آیین نامه هر نوع استفاده دوباره از آب تحت محدودیت و کنترل قرار گیرد. آلاینده‌های پیشگفته نه فقط باعث بیماری گروه‌های مورد بحث می‌شود، بلکه با آلودگی و ویرانی محیط زیست مشکلات محیط زیستی هم فراهم می‌نمایند. آلودگی خاک، آب زیرزمینی و آب‌های سطحی هم از پیامدهای احتمالی استفاده از پساب‌های تصفیه نشده است که نشریات موجود گویای بروز آنهاست. لذا هر طرح استفاده دوباره از آب باید همراه باشد با طرح پایش پیامدهای خوب و بد در زندگی مردم که به صورت جدول کنترل‌ها[1] پیامدها تدوین شده باشد و مجری کنترل و پایش باید مستقل از بهره‌برداری از طرح باشد.

طبق قانون و آیین‌نامه‌های موجود مسئولیت پایش هر طرح استفاده از پساب به عهده سازمان حفاظت محیط زیست و مجوز صدور پروانه استفاده به عهده وزارت نیرو و استفاده در کشاورزی هم بخش کشاورزی منطقه را درگیر خود می‌نماید. از طرفی چون استفاده از پساب با بهداشت و سلامت مردم سروکار دارد وزارت بهداشت هم احساس مسئولیت دارد لذا همکاری نزدیک ۳ وزارتخانه و سازمان را می‌طلبد و تشکیلات بین بخشی برای انجام آن لازم است.

مشاهدات صحرایی و بررسی مقاله‌های تحقیقاتی نشان می‌دهد که استفاده از

1. Check-List

پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دارای برنامه‌های پایش بهداشتی و محیط زیستی نیست و این نگرانی را به وجود می‌آورد که ممکن است پیامدهای بازگشت‌ناپذیر به وجود آید.

در جدول شماره ۲-۱۶ انواع استفاده از پساب و ارتباط آن با کیفیت مناسب و ویژگی‌های لازم مراقبت مورد توصیه سازمان حفاظت محیط زیست امریکا نشان داده شده است که می‌تواند برای تدوین آیین‌نامه‌های پایش مورد استفاده قرار گیرد.

آیین‌نامه‌های استفاده از پساب

منظور از آیین‌نامه در اینجا مقرراتی است که به صورت قانون در بعضی ایالتهای امریکا در آمده و مسئولان دولتی نظارت بر اجرای آن‌ها را به عهده دارند. گهگاه صحبت از خطوط راهنما[1] می‌شود که هدف آن راهنمایی دست‌اندرکاران پروژه است. ابتدا می‌توان محل‌های مصرف پساب تصفیه شده و یا آب غیر متعارف را طبق لیست زیر و براساس بحث‌های قبلی تعریف کرد.

- **مصرف نامحدود شهری**: آبیاری فضاهایی که دسترسی مردم به آن دارای محدودیت نیست مانند پارک‌ها، زمین‌های بازی، محوطه‌های مدارس و مناطق مسکونی، فلاش تانک‌ها، تهویه مطبوع، مبارزه با آتش‌سوزی‌ها، فعالیت‌های ساختمانی و دریاچه‌های زیباسازی؛
- **مصرف محدود شهری**: آبیاری فضاهایی که می‌توان ورود مردم را تحت کنترل داشت، مانند زمین‌های بازی گلف، گورستان‌ها و جزایر وسط بزرگراه‌ها؛
- **مصرف برای تولید محصولات کشاورزی**: آبیاری گیاهانی که محصولات آن‌ها به مصرف مردم می‌رسد یا به طور مستقیم و خام و یا پس از فراوری در کارخانه؛
- **مصرف درکشاورزی**: آبیاری گیاهانی که برای تولید علوفه و یا گیاهانی که الیاف آن مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا آبیاری گیاهانی که برای تولید دانه و آبیاری مراتع به کار می‌روند؛
- **مصرف‌های تفریحی نامحدود**: کاربرد پساب تصفیه شده در آبنماهایی که هیچ نوع محدودیت تماس در آنها پیشبینی نمی‌شود؛
- **مصرف‌های تفریحی محدود**: کاربرد پساب تصفیه شده برای ایجاد دریاچه‌هایی که تنها می‌تواند برای ماهیگیری و قایقرانی مورد استفاده قرار گیرد و نه برای شنا و آب‌تنی.

1. Guidelines

- **مصرف برای توسعه محیط:** پساب می‌تواند برای ایجاد تالاب، بهبود تالاب طبیعی موجود و یا تقویت آب آن‌ها به کار رود؛
- **مصرف‌های صنعتی:** از پساب می‌توان در بخش‌های مختلف صنعت مانند دستگاه‌های خنک‌کننده، آب جبرانی، دیگ بخار و فرایندهای مختلف استفاده کرد؛
- **تغذیه منابع آب زیرزمینی:** این تغذیه ممکن است، از طریق نفوذ به لایه‌های زیرین مانند برکه‌های نشت و چاه تزریق انجام شود؛
- استفاده **غیر مستقیم برای شرب:** تخلیه آگاهانه پساب تصفیه شده کامل به منابع آب‌های سطحی و یا منابع آب‌های زیرزمینی که به عنوان منبع آب شرب ممکن است به کار رود.

در ایالتهایی از امریکا که استفاده دوباره انجام می‌شود آیین‌نامه ها و معیارهایی تدوین شده است که دست کم، کیفیت پساب را تعریف می‌کند. و به طور کلی هر جا که مصرف نامحدود شهری تعریف شده است پساب باید در حد بالایی مورد تصفیه پیشرفته قرار گیرد و هر جا که تماس انسان با آن غیر محتمل است معیار کمتری توصیه می‌شود.

مهمترین معیار کیفیت پساب را بی‌اودی، کدورت و کلیفرم قرار داده‌اند. در جدول شماره ۲-۸ نمونه‌ای از مقررات چند ایالت در زمینه کیفیت پساب تصفیه شده نشان داده شده است. از جدول می‌توان دریافت که پساب پس از تصفیه برای مصرفهای نامحدود از نظر کدورت و کلیفرم بسیار سختگیرانه تدوین شده است تا خطر انتقال بیماری از بین برود. طبق جدول تعداد کلیفرم گوارشی در آن نیز در بیشتر ایالتها صفر در نظر گرفته شده است. لذا کاربرد پساب با نام به اصطلاح استفاده دوباره نباید سلامتی و بهداشت جامعه را به خطر اندازد.

در جدول شماره ۲-۹ کیفیت پساب برای مصرفهایی که دسترسی مردم به آن‌ها باید با محدودیت همراه باشد نشان داده شده است.

بعضی از ایالتهای متحد امریکا کیفیت پساب تصفیه شده برای هر نوع مصرف را تقریبا یکسان درنظر گرفته‌اند و همان‌طور که دیده می‌شود حداقل کیفیت پساب‌های خروجی از تصفیه ثانویه با عملکرد عالی است که در این صورت طبق جدول شماره ۲-۷ کلیفرم‌ها و ویروس‌ها در حدود ۹۹ درصد باید حذف شده باشند. توجه به ارقام مربوط به کلیفرم‌های گوارشی در پساب ضروری است و همان‌طور که دیده می‌شود، ارقام بسیار کم و تا صفر را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۲-۸: کاربرد بدون محدودیت دسترسی به محل - شهری

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	۳۰	۵	۳۰
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۵	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰
کدورت(ان تی یو) حد وسط حداکثر	۲ ۵	۲ ۵	تعریف نشده	۲	تعریف نشده	۳	۲ ۵
کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر حد وسط حداکثر	گوارشی ۰ ۲۳	مجموع ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۷۵٪ موارد صفر ۲۵	گوارشی ۲/۲ ۲۳طی ۳۰ روز	گوارشی ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۲۰ ۷۵	مجموع ۲/۲ ۲۳

منبع: مرجع شماره ۶

جدول شماره ۲-۹: کاربرد با محدودیت دسترسی به محل - شهری

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه اکسیداسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	۳۰	۲۰	۳۰
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۵	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰
کدورت(ان تی یو) حد وسط حداکثر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۲	تعریف نشده	۳	۲ ۵
کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر حد وسط حداکثر	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	مجموع ۲۳ ۲۴۰	گوارشی ۷۵٪ موارد صفر ۲۵	گوارشی ۲۳ ۲۰۰	گوارشی ۲۳ ۲۴۰	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	مجموع ۲۳ ۲۴۰

منبع: مرجع شماره ۶

استفاده از پساب برای آبیاری گیاهانی که محصولات آنها خورده می‌شود در بعضی از ایالتها ممنوع است و در ایالتهایی دیگر در صورتی که محصول خام خورده نشود و یا باید تحت فراوری صنعتی قرار گیرد، مجوز آبیاری با پساب داده می‌شود و حدود و مراحل تصفیه هم در ایالتهای مختلف یکسان نیست. در جدول شماره ۲-۱۰ کیفیت مناسب آبیاری گیاهانی‌که محصولات آن‌ها به مصرف انسان می‌رسد ارائه شده است.

جدول شماره ۲-۱۰:
آبیاری با پساب برای گیاهانی که محصولات آنها برای خوراک انسان در نظر گرفته می شود

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	۳۰	۵	۳۰
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۵	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰
کدورت(ان تی یو) حد وسط حداکثر	۲ ۵	۲ ۵	تعریف نشده	۲	تعریف نشده	۳	۲ ۵
کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر حد وسط حداکثر	گوارشی ۰ ۲۳	مجموع ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۷۵٪ موارد صفر ۲۵	گوارشی ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۲۰۰ ۴۰۰	گوارشی ۲۰ ۷۵	مجموع ۲/۲ ۲۳

منبع: مرجع شماره ۶

از جدول شماره ۲-۱۰ می‌توان دریافت که برای پسابی که به آبیاری گیاهان مورد مصرف خوراک انسان می‌رسد محدودیت‌هایی از نظر مواد آلی اکسیژن خواه، کدورت و کلیفرم وجود دارد. به خصوص توجه به حدود کدورت نشان می‌دهد که آب تقریباً باید بسیار زلال و صاف بوده و کلیفرم آن نزدیک به آب شرب باشد. در جدول شماره ۲-۱۱ کیفیت پساب مناسب آبیاری کشاورزی که دارای اهمیت غذایی نیست ارائه شده است.

مصرفهای تفریحی بدون محدودیت، شرایطی است که احتمال تماس مردم با پساب ممکن است و لذا لازم است پساب، فرایندهای تصفیه پیشرفته را بگذراند. همان‌طور که جدول

جدول شماره ۲-۱۱: آبیاری گیاهان بدون تولید محصول غذایی برای انسان

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	۳۰	۵	۳۰
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰
کدورت(ان تی یو) حدوسط حداکثر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۲	تعریف نشده	۳	۲ ۵
کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر حدوسط حداکثر	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	مجموع ۲۳ ۲۴۰	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	گوارشی ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۲۰۰ ۴۰۰	گوارشی ۲۰ ۷۵	مجموع ۲۳ ۲۴۰

منبع: مرجع شماره ۶

شماره ۲-۱۲ نشان می‌دهد، بعضی از ایالتها در تدوین و تعریف بعضی از خصوصیات پساب تا سال ۲۰۰۴ اقدامی نکرده‌اند.

جدول شماره ۲-۱۲: استفاده از پساب برای مصرفهای تفریحی بدون محدودیت تماس

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰	۵	۳۰
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰
کدورت(ان تی یو) حدوسط حداکثر	تعریف نشده	۲ ۵	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳	۲ ۵
کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر حدوسط حداکثر	تعریف نشده	مجموع ۲/۲ ۲۳	تعریف نشده	تعریف نشده	گوارشی ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۲۰ ۷۵	مجموع ۲/۲ ۲۳

منبع: مرجع شماره ۶

در جدول شماره ۲-۱۳ مصرفهای تفریحی با محدودیت ارائه شده است. جدولها به روشنی مشخصات کیفی پساب تصفیه شده را برای مصرفهای مختلف نشان می‌دهد که می‌تواند به عنوان راهنما از طرف کارشناسان کشور مورداستفاده قرار گیرد

جدول شماره ۲-۱۳: استفاده از پساب برای مصرفهای تفریحی با محدودیت تماس

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰	۲۰	۳۰
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳۰
کدورت(ان تی یو) حدوسط حداکثر	۲ ۵	تعریف نشده	تعریف نشده	۲	تعریف نشده	تعریف نشده	۲ ۵
کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر حدوسط حداکثر	گوارشی صفر ۲۳	مجموع ۲/۲ ۲۳	تعریف نشده	گوارشی ۲/۲ ۲۳	گوارشی ۲۳ ۲۰۰	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	مجموع ۲/۲ ۲۳

منبع: مرجع شماره ۶

از بین ۷ ایالت آورده شده در جدولهای قبلی دو ایالت در مورد کیفیت پساب مناسب تخلیه به محیط مانند تالاب‌ها معیارهایی تدوین کرده‌اند که در جدول شماره ۲-۱۴ ارائه می‌شود.

جدول شماره ۲-۱۴: کیفیت پساب تخلیه شدنی به تالاب‌ها و وتلندها

	فلوریدا	واشنگتن
حدودتصفیه	تصفیه پیشرفته	اکسیداسیون ـ انعقاد و فیلتر
بی‌اودی ۵ روزه	۵ میلی‌گرم در لیتر	۲۰ میلی‌گرم در لیتر
مجموع مواد معلق جامد	۵ میلی‌گرم در لیتر	۲۰ میلی‌گرم در لیتر
کلیفرم	تعریف نشده	گوارشی ۲/۲ در ۱۰۰ میلی لیترمتوسط ۲۳ در ۱۰۰ میلی لیتر حداکثر
آمونیاک کل	۲ میلی‌گرم در لیتر	از حد مجاز آب‌های متعارف تجاوز نکند.
فسفر کل	۱ میلی‌گرم در لیتر	۱ میلی‌گرم در لیتر

و بالاخره در مورد استفاده مجدد در صنعت، جدول شماره ۲-۱۵ آورده شده است.

جدول شماره ۲-۱۵: کیفیت پساب مناسب کاربرد در صنعت

	آریزونا	کالیفرنیا	فلوریدا	هاوایی	نوادا	تگزاس	واشنگتن
حدود تصفیه پیشنهادی	تصفیه ثانویه فیلتراسیون گندزدایی	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	اکسیداسیون فیلتراسیون گندزدایی	تصفیه ثانویه گندزدایی	تعریف نشده	اکسیداسیون انعقاد فیلتراسیون گندزدایی
بی‌اودی ۵ روزه میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده
مواد جامد معلق میلی گرم در لیتر	تعریف نشده	تعریف نشده	۲۰	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده
کدورت(ان تی یو) حد وسط حداکثر	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	تعریف نشده	۳	تعریف نشده
کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر حد وسط حداکثر	تعریف نشده	مجموع ۲۳ ۲۴۰	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	گوارشی ۲۳ ۲۰۰	تعریف نشده	گوارشی ۲۰۰ ۸۰۰	مجموع ۲۳ ۲۴۰

منبع: مرجع شماره ۶

خطوط راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره

در جدول شماره ۲-۱۶ خطوط اساسی برای انتخاب فرایندهای تصفیه، کیفیت پساب تصفیه شده، مراقبت از کیفیت پساب و حدود فاصله تا منبع آب شرب بین انواع استفاده دوباره به عنوان راهنما ارائه می‌شود.

پیشنهادهایی برای مصرفهای زیر

- مصرفهای شهری؛
- آبیاری با ایجاد محدودیت برای مردم؛
- مصرفهای کشاورزی به منظور تولید محصولات غذایی:
  - محصولات غذایی که تحت فراوری قرار نمی‌گیرند؛
  - محصولات غذایی که تحت فراوری برای مصرف آماده می‌شوند و آبیاری درختان میوه
- مصرف‌های کشاورزی بدون تولید محصولات غذایی، آبیاری مراتع، غذاهای دامی و تولید محصولات فیبری و تولید دانه‌ها؛

- دریاچه‌های تفریحی؛
- دریاچه‌های تزیینی؛
- کارهای ساختمانی؛
- مصرفهای صنعتی؛
- استفاده دوباره برای توسعه محیط زیست؛
- تغذیه منابع آب زیرزمینی؛
  - پخش در روی زمین؛
  - تزریق به زمین؛
- استفاده دوباره غیرمستقیم برای مصرفهای شرب؛

این راهنما برای پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌های شهری با تخلیه بسیار محدود فاضلاب‌های صنعتی تهیه شده است. شرایط محلی، اقتصادی، صنعتی و عوامل دیگر روی کاربرد آن‌ها بی‌تاثیر نیست.

آنچه به عنوان راهنما تدوین شده، بر مبنای اطلاعات زیر انجام گرفته است:

- تجربه‌های استفاده دوباره در امریکا و نقاط دیگر جهان؛
- اطلاعات حاصل از ادبیات این حرفه؛
- اطلاعات به دست آمده از کارهای مشابه در ایالت‌های مختلف؛
- اجرا پذیری؛
- مبانی اصول مهندسی.

باشد که در کشور ما هم این ملاحظات که با سلامتی مردم ارتباط دارد مورد عنایت واقع شود و به پساب تصفیه خانه های فاضلاب شهری نام آب اطلاق نشود و در نتیجه اصطلاح استفاده دوباره مورد تجدید نظر قرار گیرد. برای تولید محصولی به نام آب از فاضلاب شهری مراحل متعدد تصفیه مورد نیاز است. چنانکه طبق جدول شماره ۲-۲ میزان تی او سی در پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب می‌تواند تا حد ۲۰ میلی گرم در لیتر باشد و حال اگر آن را از ممبران اسمزمعکوس بتوان عبور داد حداکثر ۹۵ درصد آن حذف می شود و باقیمانده آن هنوز معادل یک میلی گرم در لیتر است که مناسب شرب نیست.

جدول شماره ۲-۱۶: **راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره**

نوع استفاده دوباره	حدود تصفیه لازم	کیفیت پساب تصفیه شده	مراقبت از کیفیت پساب تصفیه شده	فاصله مانع	تفسیرها
اول: مصرفهای شهری • آبیاری انواع فضاهای سبز و زیبایی محیط • زمین‌های بازی گلف • پارک‌ها • گورستان‌ها • شستشوی اتومبیل • فلاش تانک توالت‌ها • آتش نشانی • تهویه مطبوع صنایع و تجاری	تصفیه ثانویه (۴) فیلتراسیون (۵) گندزدایی (۶)	• پی‌اچ ۶-۹ • بی‌اودی کمتر از ۱۰ (۷) میلی‌گرم در لیتر • کدورت کمتر از ۲ ان‌تی‌یو • کلیفرم گوارشی صفر در ۱۰۰ میلی لیتر (۱۰،۹) • کلر باقی‌مانده حداقل یک میلی‌گرم در لیتر (۱۱)	• پی‌اچ - هفتگی • بی‌اودی هفتگی (۷) • کدورت مستمر (۸) • کلیفرم روزانه • کلر مستمر	۱۵ متر تا چاه آب شرب	• اگر دسترسی مردم به سایت کنترل‌پذیر باشد کیفیت پساب ممکن است در سطح پایین‌تری قرار گیرد. تعداد کلیفرم‌های گوارشی تا سقف ۱۴ در ۱۰۰ میلی لیتر افزایش یابد. • افزایش پلیمر و یا دلمه ساز شاید قبل از فیلتر ضروری شود. • در پساب نباید عوامل بیماری‌زای زنده تشخیص دادنی باشد. • پساب باید صاف و بدون بو باشد. • با توجه به سی تی گندزدا برای نابودی و غیر فعال سازی ویروس‌ها و انگل‌ها تصمیمگیری شود. • غلظت کلر باقی‌مانده باید بیشتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر در شبکه حفظ شود.
دوم: • آبیاری مناطق با محدودیت دسترسی توسط عموم • چمن‌کاری‌ها درخت‌کاری‌ها و مناطق مشابه که می توان از حضور مردم جلوگیری کرد.	تصفیه ثانویه (۴) و گندزدایی	• پی‌اچ ۶-۹ • بی‌اودی کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر • مجموع مواد معلق جامد کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر • کلر باقیمانده حداقل یک میلی‌گرم در لیتر • کلیفرم گوارشی کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر (۱۴،۱۳،۹)	• پی‌اچ - هفتگی • بی‌اودی - هفتگی • جامدات معلق - روزانه • کلیفرم - روزانه • کلر باقیمانده - مستمر	۹۰ متر تا چاه‌های آب شرب و ۳۰ متر تا مرز عبور مردم اگر آبیاری بارانی انجام می‌گیرد.	• در صورت استفاده از آبیاری بارانی، مجموع جامدات معلق کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر باید باشد تا از بروز گرفتگی اجتناب گردد.

جدول ۲-۶: راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره ادامه جدول شماره ۲-۶

نقسیرها	فاصله مانع	مراقبت از کیفیت پساب تصفیه شده	کیفیت پساب تصفیه شده	حدود تصفیه لازم	نوع استفاده دوباره
• افزایش پایمر و یا دملهٔ ساز شایان قبل از فیلتر ضروری شود. • در پساب نیایه عوامل بیماری‌زای زنده تشخیص داده نشود. • غلظت پایین مواد غذایی ممکن است دو دوانی از رشد گیاه جلوگیری کند. • تا ۱۵ روز پس از خاتمه آبیاری، چربی دامهای شیری در مرتع مضر واقع شود. • اگر این مدت به دلیلی عملی نیست باید غلظت کلر در پساب نیایه انجام بگیرد. • افزایش پایه تا مجموع کلیفرم گوارشی کمتر از ۱۴ در ۱۰۰ میلی لیتر شود.	۱۵ متر تا آب شرب چاه‌های	• پیوا ۶-۹ • کدورت - مستمر • کلیفرم - روزانه کلر • کلر باقیمانده - مستمر	• پیوا ۶-۹ • بی‌اوی - هفتگی • کدورت - مستمر • کلیفرم - روزانه کلر • کلر باقیمانده - مستمر • کلیفرم گوارشی صفر یک میلی‌گرم در لیتر (۱۱) • کلر باقیمانده حداقل صفر (۱۰,۹) • کلیفرم گوارشی • کدورت کمتر از ۱۲ ان‌تی‌یو • مجموع جامدات محلق کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • بی‌اوی کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب	تصفیه ثانویه (۲) فیلتراسیون (۵) گندزدایی (۶)	استفاده دوباره در کشاورزی سوم: • تولید محصولات غذایی نوون عملیات فرآوری صنعتی • آبیاری سطحی و بارانی هر نوع گیاه برای تولید مواد غذایی و محصولاتی که خام خورده می‌شوند.
• افزایش پایمر و یا دملهٔ ساز شایان قبل از فیلتر ضروری شود. • در پساب نیایه عوامل بیماری‌زای زنده تشخیص داده نشود. • غلظت بیشتر و بازمان تماس دراز مدت تر برای تاوری و غیر فعال سازی ویروس‌ها و انگل‌ها شایان لازم شود. • غلظت بالای مواد غذایی موجود در پساب (ازت - فسفر) ممکن است در دوراتی برای گیاه مضر باشد.	۱۵ متر تا آب شرب چاه‌های	• پیوا ۶-۹ • بی‌اوی - هفتگی • کدورت - مستمر • کلیفرم - روزانه کلر • کلر باقیمانده - مستمر	• پیوا ۶-۹ • بی‌اوی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم (۷) میلی‌گرم در لیتر • کدورت کمتر از ۱۲ ان‌تی‌یو • کلیفرم گوارشی صفر • کلر باقیمانده حداقل یک میلی‌گرم در لیتر	تصفیه ثانویه (۲) گندزدایی (۶)	استفاده دوباره در کشاورزی چهارم: • توزیع محصولات غذایی که پس از فرآوری مصرف می‌شوند. • آبیاری سطحی و باغ‌های میوه و انگور
• اگر آبیاری به روش بارانی است مجموع جامدات معلق بایستی از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر باشد تا گرفتگی روی نازله‌ها ایجاد نشود. • غلظت بالای عناصر غذایی ممکن است اثرهای نامطلوب روی گیاه داشته باشد.	۹۰ متر تا چاه‌های آب شرب و ۳۰ متر تا مرز تمامی مردم اگر آبیاری بارانی باشد.	• پیوا ۶-۹ • بی‌اوی - هفتگی • مواد جامد - روزانه • کلر باقیمانده - مستمر • کلیفرم - روزانه	• پیوا ۶-۹ • بی‌اوی کمتر از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر (۹) • مجموع مواد معلق کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر • کلر باقیمانده حداقل یک میلی‌گرم در لیتر • کلیفرم گوارشی کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر (۹,۱۳,۱۴)	تصفیه ثانویه (۲) گندزدایی (۶)	استفاده دوباره در کشاورزی چهارم: • توزیع محصولات غذایی که پس از فرآوری مصرف می‌شوند. • آبیاری سطحی و باغ‌های میوه و انگور

جدول ۲-۱۶: راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره — ادامه

نوع استفاده دوباره	تصفیه لازم حداقل	کیفیت پساب تصفیه شده	مراقبت از کیفیت پساب تصفیه شده	فاصله مانع	نقسیرها
نمم: استفاده دوباره در صنایع • خنک کننده‌ها بدون گردش دوباره	تصفیه ثانویه (۲) گندزدایی (۶)	• بی‌او‌دی کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • جامدات معلق کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • کل باقیمانده کل یک میلی‌گرم در لیتر • کلیفرم گوارشی کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر	• بی‌او‌دی – هفتگی • بی‌او‌دی – هفتگی • جامدات معلق – روزانه • کلیفرم – روزانه • کل باقیمانده – مستمر	۹۰ متر تا مرز دسترسی عمومی	• انتشار قطرات ناشی از باد نباید به کارگران و مردم برسد.
دهم: برج خنک‌کننده با گردش دوباره	تصفیه ثانویه (۲) گندزدایی (۶) کاربرد دلمه‌ساز (۵) وفیتراسیون	• بی‌او‌د طبق شرایط نیاز • بی‌او‌دی کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • جمع جامدات معلق کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • کلیفرم گوارشی کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر • کل باقیمانده حداقل یک میلی‌گرم در لیتر	• بی‌او‌د – هفتگی • بی‌او‌دی – هفتگی • جمع جامدات معلق – روزانه • کلیفرم – روزانه • کل باقیمانده – مستمر	۹۰ متر تا مرز دسترسی عمومی که پستگی به دره گندزدایی دارد	• قطرات پساب نباید توسط باد به کارگران و فضای عمومی برسد. • برای جلوگیری از خوردگی، ترسیب و رشد بیولوژیکی و پاتوژن کفه، مصرف کننده طبق میل خود پساب را مورد تصفیه بیشتر قرار دهد.
یادنهم: کاربرد پساب برای حفظ محیط زیست: تالاب‌ها و تقویت جریان آب‌انبار	حداقل تصفیه ثانویه گندزدایی	• بی‌او‌دی کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • جمع جامدات معلق کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • کلیفرم گوارشی کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر	• بی‌او‌دی – هفتگی • جمع جامدات معلق – روزانه • کلیفرم – روزانه • کل باقیمانده – مستمر		• در شرایطی برای حفظ آبزیان خشکسازی کلر ضرورت پیدا می‌کند. • اثر احتمالی آن روی منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد. • باتوجه به کیفیت آب دریافت کننده، شاید تصفیه بیشتر ضرورت پیدا کند.
مشترم: کاربردهای ساختمانی • تراکم خاک • کنترل گرد و غبار • شستشوی شن و ماسه برای ساخت بتن	تصفیه ثانویه (۲) گندزدایی (۶)	• بی‌او‌دی کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب • جمع جامدات معلق – روزانه ۳۰ گرم در متر مکعب • کلیفرم گوارشی کمتر از ۲۰۰ در ۱۰۰ میلی لیتر • کل باقی‌مانده حداقل یک‌گرم در مترمکعب	• بی‌او‌دی – هفتگی • جامدات معلق – روزانه • کلیفرم – روزانه • کل باقیمانده – مستمر		• حداقل تماس کارگران با پساب • فاصله بالای گندزدایی برای حفظ کلیفرم گوارشی کمتر از ۱۴ در ۱۰۰ میلی لیتر در صورتی که احتمال تماس بیشتر است.

جدول شماره ۱۶–۲: راهنمای پیشنهادی برای استفاده دوباره ادامه

نوع استفاده دوباره	تصفیه لازم حداقل	کیفیت پساب تصفیه شده	مراقبت از کیفیت پساب تصفیه شده	فاصله مانع	نقسیرها
چهاردهم: استفاده غیر مستقیم برای شرب با تزریق به مخزن آب زیرزمینی	تصفیه ثانویه (۲) گندزدایی فیلتراسیون تصفیه پیشرفته فاضلاب (۱۶)	**حداقل ها** • پی‌اچ ۶/۵ – ۸/۵ • کدورت کمتر از ۱۲ ان‌تی‌یو • کلیفرم‌ها صفر در ۱۰۰ میلی‌لیتر • کربن‌آلی باقیمانده – ۱۰ میلی‌گرم در لیتر • تی‌اوسی کمتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر • تی‌اوکس کمتر از ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر • طبق استاندارد آب شرب	**حداقل ها** • پی‌اچ – روزانه • کلیفرم – روزانه • کربن‌آلی باقیمانده – مستمر • استاندارد آب شرب – فصلی	**فاصله** چاه برداشت ۴۰۰ متر تا بحاله • آب تزریق شده باید حداقل ۹ ماه در مخزن زیرزمینی باقی بماند. • پیش‌بینی چاه‌های مشاهده‌ای ضروری است. • کیفیت پساب در محل تزریق کنترل بشود. • این پساب باید حاوی عوامل بیماری‌زا نباشد. • افزایش غلظت کلر شاید ضرورت پیدا نکند.	• توجه شود که این عملیات مانع آب شرب را تحت تاثیر قرار نداده • برای جلوگیری از گرفتگی لایه‌های خاک ممکن است، تصفیه تالیه ضرورت پیدا کند • برای تزریق از طریق چاه پساب باید پس از فیلتراسیون، گندزدایی شود.
پانزدهم: استفاده غیرمستقیم برای شرب تقویت مخازن آب سطحی	تصفیه ثانویه (۲) فیلتراسیون (۵) گندزدایی (۶) تصفیه پیشرفته فاضلاب (۱۶)	**حداقل ها** • پی‌اچ ۶/۵ – ۸/۵ • کدورت کمتر از ۱۲ ان‌تی‌یو • کلیفرم‌ها صفر در ۱۰۰ میلی‌لیتر • تی‌اوسی کمتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر • طبق استاندارد آب شرب	**حداقل ها** • پی‌اچ – روزانه • کلیفرم – روزانه • کدورت – مستمر • کربن‌آلی باقیمانده – مستمر • کلیت آب شرب تصفیه بیشتر بستگی به آلاینده‌ها دارد.	**شرایط محل** • با توجه به شرایط استفاده از آب رودخانه و آبگیرهای آب شرب پایین دست تصفیه انتخاب می شود. • آب احیاء شده نباید عوامل بیماری‌زای فعال داشته باشد. • افزایش کلر باقیمانده توصیه می شود.	
سیزدهم: استفاده غیرمستقیم برای شرب تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی از طریق پخش آن در لایه های آبدار موردِ استفاده برای شرب	تصفیه ثانویه (۲) تصفیه پیشرفته (۱۶)	• پس از عبور از لایه های بالای سفره، آب باید دارای کیفیت مشابه آب شرب گردد.	**حداقل ها** • پی‌اچ – روزانه • کلیفرم – روزانه • کدورت – مستمر • کربن‌آلی باقیمانده – مستمر • استاندارد آب شرب – فصلی (۱۷) • بی‌اوی – هفتگی • کدورت – مستمر	**فاصله** چاه برداشت ۱۵۰ متر تا ۲ متر	• فاصله تزریق تا سفره آب حداقل ۲ متر • آب تزریق شده تا زمان برداشت باید حداقل شش ماه در مخزن زیرزمینی باقی بماند. • نوع تصفیه آب استخراج شده بستگی به عوامل بسیار متعدد زمین‌شناختی دارد. • از چاه‌های مشاهده‌ای برای مراقبت از اثرات تزریق باید استفاده کرد. • آب تزریقی در زمان رسیدن به سفره آب باید دارای عوامل بیماری‌زا نباشد.

توجهات در مورد جدول شماره۲-۱۶

۱. این خطوط راهنما بر اساس تجربه‌های حاصل از طرح‌های اجرا شده در امریکا تهیه شده و برای ایالتهایی که جهت استفاده دوباره آیین‌نامه‌ای تهیه نکرده‌اند تدوین شده است. طبیعی است که می تواند مورد توجه و استفاده کارشناسان کشورهای دیگر مانند کشور ما قرار گیرد. شرایط محلی و اوضاع اجتماعی - اقتصادی در تصمیمگیری دخالت خواهد داشت.

۲. در اینجا منظور از کیفیت پساب ویژگی‌های آن در محل خروج از تصفیه‌خانه فاضلاب است.

۳. فاصله‌های پیشنهادی برای حفظ منبع آب شرب از آلودگی است.

۴. منظور از تصفیه ثانویه فرایندهای لجن فعال، فیلترهای چکنده[1]، واحدهای مکانیکی گردنده در تصفیه بیولوژیکی است، اما شامل برکه‌های تثبیت هم می‌شود. پساب خروجی از تصفیه‌ثانویه باید از نظر غلظت بی‌اودی و مجموع جامدات معلق کمتر از ۳۰ گرم در متر مکعب باشد.

۵. منظور از فیلتراسیون عبارت از عبور پساب از خاک دست‌نخورده و یا صافی‌های ماسه ای و یا ماسه ای - آنتراسیت و یا فیلترهای پارچه‌ای و میکروفیلتر و تاسیسات مشابه است.

۶. هدف گندزدایی نابودی، غیر فعال سازی و یا زدایش عوامل بیماری زا به وسیلهٔ عوامل شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی است. گندزدایی ممکن است با کاربرد کلر به دست آید و یا به کمک اشعه ماورای‌بنفش، ازن و ترکیبات دیگر حاصل شود. کاربرد ممبران‌ها برای زدایش بیماری‌زاها از پساب هم در این تعریف قرار می‌گیرد.

۷. طبق روش تعیین بی‌اودی پنج روزه.

۸. کدورت مورد نظر باید قبل از کلرزنی حاصل شود و منظور از کدورت متوسط، کدورت متوسط ۲۴ ساعته است. این کدورت هیچگاه نباید از ۵ ان تی یو تجاوز کند. اگر جامدات معلق برای تعیین کدورت به کار می‌رود، آن‌هم نباید از ۵ گرم در متر مکعب تجاوز کند.

۹. منظور از عدد کلیفرم، عدد میانه حاصل از آنالیزهای هفتگی است، روش کار می تواند فیلترهای ممبرانی و یا آزمایش‌هایی لوله‌ای باشد.

---

1. Trickling Filters

۱۰. تعداد کلیفرم‌های گوارشی نباید از ۱۴ عدد در ۱۰۰ میلی‌لیتر در نمونه تجاوز کند.

۱۱. کلر باقیمانده پس از زمان تماس باید اندازه‌گیری و تعیین شود و شامل نوع آزاد و مرکب است.

۱۲. توصیه می‌شود قبل از استفاده از پساب کیفیت باکتریولوژیکی آن تعریف شود.

۱۳. تعداد کلیفرم‌های گوارشی نباید از ۸۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر تجاوز کند.

۱۴. بعضی از برکه‌های تثبیت قادرند کیفیت خروجی را به این حد برسانند و گندزدایی ضرورت پیدا نکند.

۱۵. منظور از فراوری این است که محصول برداشت شده قبل از تحویل برای فروش تحت تاثیر فرایندهایی قرار می‌گیرند که عوامل بیماری‌زا را نابود می کند.

۱۶. منظور از تصفیه پیشرفته فاضلاب زلال‌سازی شیمیایی، ازت زدایی، اسمز معکوس، جذب کربنی، تبادل یونی و اولترافیلتراسیون است.

مشارکت جامعه

مطالب دو فصل اول و دوم حکایت از این دارد که کشور ما، با توجه به روند افزایش جمعیت و ضرورتا روند طرح و اجرای پروژه‌های توسعه در سه بخش کشاورزی، صنعت و شهری با دو مشکل روبه‌رو خواهد شد، اول کمبود آب و دوم آلودگی آب.

در مورد کمبود آب سخن از طرح و اجرای پروژه‌های مدیریت مصرف است که هدف توفیق در مصرف بهینه و صرفه‌جویی در آن شمرده می‌شود و دوم کنترل فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست است. یکی از عوامل محیط زیست، منابع آب است و مشاهده شد که از حدود پتانسیل ۱۵۰ میلیارد مترمکعب آب تجدید شونده کشور در حدود ۱۰۰ میلیارد آن مورد بهره‌برداری است. بالطبع طرح های مهار و مصرف بقیه نیز در برنامه‌ریزی کلان کشور در نظر گرفته می‌شود.

لیکن در دراز مدت باز هم کشور باکمبود آب روبه‌رو است و لازم است به دنبال منابع دیگر باشد. اول استفاده از فاضلاب‌های شهری آن‌هم پس از بهره‌برداری از فرایندهای تصفیه اولیه و ثانویه و در شرایط مختلف فرایندهای تصفیه بیشتر مانند انعقاد، فیلتراسیون، گندزدایی، اکسیداسیون، حذف ازت و فسفر و غیره که در جدول شماره ۲-۱۶ به صورت خطوط کلی که

مورد پیشنهاد دو موسسه[1] امریکایی است آورده شده است و دوم استفاده از منابع آب لب شور و شور کشور. استفاده از هر دو منبع آب غیر متعارف، با توجه به اینکه جامعه‌های کشور ما، مانند بقیه نقاط دنیا با آن آشنایی طولانی ندارد لازم است در رشد اندیشه تولید و مصرف آن مشارکت داشته باشد. بخصوص در مورد استفاده از پساب به همکاری بسیار جدی جامعه نیازمند است. لذا باید مردم با ضرورت استفاده دوباره از پساب آشنایی پیدا کنند تا بتوانند مشارکت جویند. به موازات مطالعه‌های مربوط به جلب مشارکت عموم مردم و بویژه مصرف کنندگان بالقوه لازم است قوانین مربوط به اصطلاح استفاده دوباره تدوین شود تا مدیران دولتی، مهندسان مشاور و دست‌اندرکاران انجام مطالعات و طراحی‌ها و پیمانکاران مجری طرح‌ها با آن‌ها آشنا شوند و مسئولیت خویش در قبال قانون را بدانند و بدنه اصلی متون این فصل نیز در همین زمینه تدوین شده است. این پساب تصفیه شده هنوز نمی تواند به نام آب شناخته شود و در این کتاب آب غیرمتعارف نامگذاری شده است.

جدول شماره ۲-۱۶ زمینه مناسبی برای تدوین آیین‌نامه‌ها و مقررات به اصطلاح استفاده دوباره از پساب تصفیه‌خانه های فاضلاب در بخش‌های مختلف توسعه جامعه است. در خاتمه به همه مهندسان مشاور و مدیران و برنامه‌ریزان دست اندرکار استفاده از پساب، آن هم پس از کاربرد فرایندهای تصفیه پساب هشدار داده می‌شود که ملاک اصلی در این سیاست باید حفظ سلامتی مردم و بهداشت محیط و جلوگیری از آلودگی محیط زیست باشد و تمام معیارهای دیگر نمی‌تواند این اصل را نادیده بگیرد. در این استفاده معیارهایی برای مراقبت مستمر بر کیفیت پساب مورد استفاده و تغییرات بهداشت محیط و سلامت جامعه باید تدوین و به طور مستمر اجرا شود. هرگاه و به هر دلیل امکان اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی پساب وجود ندارد، فرض باید بر اصل نامناسب بودن آن قرار گیرد.

یاداوری می‌شود، همان طور که در صفحات این فصل و فصل اول آورده شد پیگیری سیاست‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی باید اولویت نخست باشد زیرا به‌طور غیرقابل قبول از این منبع‌ها استفاده می‌شود. در صورت ضرورت استفاده از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب اولین اولویت ردیف پنجم و پس از آن ردیف چهارم جدول شماره

1. U.S. Environmental Protection Agency - U.S. Agency for International Development

۲-۱۶ قرار گیرد و استفاده از ردیف سوم، در کشور ما که برنامه‌های بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات تصفیه و مراقبت مستمر از کیفیت تولید قابل اعتماد نیست هرگز استفاده نشود.

استفاده دوباره در دنیا

پس از معرفی جدول شماره ۲-۱۶ پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در مورد کیفیت پساب تصفیه شده و نوع استفاده دوباره، به طور بسیار اجمالی مروری به وضعیت استفاده دوباره در بعضی از کشورهای جهان می‌شود.

- **آرژانتین:** مسئولان استفاده دوباره در آرژانتین سعی بر این دارند که پساب مورد استفاده، طبق استانداردهای سازمان بهداشت جهانی باشد و یکی از پروژه‌های بزرگ این کشور طرح استفاده دوباره در مندوزا[1]ست که ۱۶۰،۰۰۰ متر مکعب فاضلاب در روز پس از عبور از یک سری برکه‌های تثبیت با سطح کل ۲۹۰ هکتار برای آبیاری ۳۶۴۰ هکتار اراضی تحت پوشش محصولات انگور، زیتون، یونجه، درختان میوه و جنگل کاری به کار می‌رود. ضمن تهیه طرح دیگری با ظرفیت ۱۰۰،۰۰۰ متر مکعب و تصفیه مشابه روش بالا، یعنی برکه‌های تثبیت و پس از اختلاط با آب رودخانه مندوزا قرار است در کشاورزی به کار رود. ضمنا برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی و انتخاب روش آبیاری برای مناطق با محدودیت دسترسی، مطالعه‌ای در دست انجام است.
- **استرالیا:** در محدوده‌ای در منطقه شمال شهر ملبورن طرحی در دست انجام است که قرار است در آن مسئله توسعه پایدار مورد مطالعه قرار گیرد. یکی از مشخصه‌های آن اجرای مدیریت صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده دوباره از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری فضای سبز و فلاش تانک خانه‌هاست، لذا یک شبکه توزیع آب غیرمتعارف اجرا می‌شود. کیفیت این آب باید طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست استرالیا در گروه آ قرار گیرد که مشخصات آن عبارت است از:

۱. تعداد "ای‌کولای" در ۱۰۰ میلی‌لیتر یک عدد؛

۲. تعداد انگل در ۱۰۰ میلی‌لیتر یک عدد؛

1. Mendoza

۳. تعداد پروتوزوا در ۵۰ میلی‌لیتر یک عدد؛

۴. تعداد ویروس در ۵۰ میلی‌لیتر یک عدد.

در این طرح تاسیسات ذخیره پساب پیشبینی شده است که تغییرات نیاز طرح را جبران کند. بعلاوه تغذیه به لایه های زیر سطح زمین برای ذخیره و استفاده دوباره انجام می‌گیرد و در ایام بارانی و نبود نیاز به استفاده دوباره، پساب به رودخانه تخلیه می شود و لذا برای دو نوع تخلیه مطالعات اثرهای محیط زیستی در دست انجام است.

در پروژه دیگری در استرالیا در منطقه‌ای در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال آدلاید طرحی اجرا خواهد شد که در ۳۲۰۰ واحد مسکونی حدود ۸ تا ۹ هزار نفر ساکن بوده و با جمع‌آوری فاضلاب و آب باران بام خانه‌ها و گذرگاه‌ها و تصفیه آن و اجرای یک شبکه توزیع آب غیر متعارف به داخل خانه‌ها برای مصرفهای فلاش تانک توالت‌ها، آبیاری فضاهای سبز، شستشوی اتومبیل و دیگر مصرفهای خارج از ساختمان تحویل گردد و امید است تا ۵۰ درصد از مصرف آب متعارف کاهش پیدا کند.

- **بلژیک:** کشور بلژیک در بین کشورهای اروپایی کمترین سرانه ملی آب خام را دارد و این سرانه عبارت است از ۲۰۰۰ مترمکعب. به علت همین کمبود آب، صنایعی مانند نیروگاها و صنایع فراوری مواد غذایی به استفاده از پساب تصفیه شده علاقه نشان داده‌اند بخصوص در مناطقی که سفره آب رو به پایین رفتن است این استفاده دوباره بیشتر است. بعلاوه جلوگیری از تخلیه پساب‌ها به محیط زیست خود استفاده دوباره را برمی‌انگیزد. یکی از پروژه استفاده غیر مستقیم از پساب که از نظر اقتصادی نیز توجیه شده است عبارت است از جمع‌آوری فاضلاب منطقه وولپن[1] به میزان ۲/۵ میلیون مترمکعب در سال و پس از تصفیه توسط میکروفیلتر و اسمز معکوس، آن‌را به منابع زیرزمینی تزریق کرده و پس از یک تا دو ماه از آن برای تقویت منابع آب شرب به کار می‌برند.

در پروژه دیگری مقدار ۸۰۰۰ متر مکعب فاضلاب تصفیه شده در روز قرار است در صنایع نساجی به کار رود و پساب باید توسط صافی ماسه‌ای، میکروفیلتر و اسمز معکوس تصفیه شود.

1. Wulpen

- **برزیل:** کشور برزیل با سرانه خام حدود ۴۰،۰۰۰ متر مکعب دارای بهترین شرایط از این جهت است لیکن حدود ۸۰ درصد آن در حوزه آبریز آمازون ریزش می‌کند و تنها ۲۰ درصد آن در مناطقی می‌ریزد که ۶۵ درصد جمعیت در آن قرار دارد. برای مثال منطقه تی یته[1] با ۱۸ میلیون نفر جمعیت که دارای بزرگترین مجتمع‌های صنعتی دنیاست دارای سرانه خام آب ۱۷۹ متر مکعب است و به همین دلیل طرح‌های استفاده دوباره در صنایع رو به گسترش است. و اکنون شهرداری‌ها نیز در اندیشه استفاده دوباره برای مصرفهای غیر شرب هستند.

  کلان شهر سائوپولو با جمعیت ۱۸ میلیون نفر و مجتمع‌های صنعتی زیاد به دلیل کمبود آب، بخشی از نیاز خود را از حوزه‌های آبگیر دیگر تامین می‌کند. و اکنون دو منبع جدید برای استفاده دوباره مورد توجه قرار گرفته است که عبارتند از فاضلاب شهر که البته حجم زیادی از فاضلاب‌های صنعتی به آن تخلیه می شود و نیز سیلاب‌های جمع‌آوری شده. طرح استفاده دوباره برای سه کاربرد زیر در نظر گرفته شده است.
  - **کاربرد صنعتی:** برای برج‌های خنک‌کننده، آب دیگ‌های بخار، فرایندهای مکانیکی و تولید فلزات، شستشوی کف کارگاه‌ها و آبیاری فضاهای سبز صنعتی.
  - **مصرف شهری با محدودیت:** برای توالت‌ها، شستشوی گذرگاهها، آبنماها، شستشوی کانال‌های سیلاب‌ها و فاضلابروها، تهیه بتن، لایه‌کوبی خاک برای فعالیت‌های ساختمانی، آبیاری زمین‌های بازی، پارک‌ها و باغ‌ها.
  - **مصرف شهری بدون محدودیت:** برای آبیاری فضاهای سبزی که دسترسی عموم به آنها محدود است و آبیاری محصولات صنعتی، دامی و مراتع.
- **چین:** مهمترین بخش مسئول بروز آلودگی منابع آب در چین صنایع‌اند و به همین جهت هدف اول مبارزه با آلودگی ناشی از صنایع است. چنانکه در سال ۲۰۰۱ تعداد تصفیه خانه‌های فاضلاب شهری کشور چین ۴۵۲ واحد بوده است که حدود ۳۰۷ واحد آن‌ها دارای تجهیزات تصفیه ثانویه و پیشرفته است.

  شهر تیانان[2] با جمعیت ۲ میلیون نفر دست‌اندرکار تهیه یک برنامه جامع محیط زیستی است که از ۹۰۰،۰۰۰ متر مکعب فاضلاب تصفیه شده در روز حدود ۵۰۰،۰۰۰ مترمکعب در روز

1. Tiete

2. Taiyauan City

آن را که از طریق برکه‌هایی به نام فن‌ریور به آب زیرزمینی تزریق کرده و مورد استفاده دوباره قرار دهد. برکه‌ها به طول تقریبی ۵ کیلومتر به موازات رودخانه احداث شده و حجم آن ۲ میلیون مترمکعب است که تقریبا نصف بستر رودخانه را اشغال می‌کند. با پیشبینی تاسیساتی، ترتیبی داده شده است که سیلاب‌های بیشتر از بسامد ۲ سال به داخل برکه‌ها هدایت شود. با توجه به دانه‌بندی درشت کف بستر برکه انتظار می‌رود که تغذیه آب زیرزمینی انجام گیرد و آب چاه‌های مورد استفاده نیاز صنایع را تامین کند.

در این منطقه سفره آب باسرعت رو به پایین رفتن است و کیفیت آب لایه‌های بالایی آن رو به بدی گذاشته است. چنانکه نیترات‌های آن با تخلیه فاضلاب‌های شهری افزایش پیدا کرده و همچنین شوری آن به دلیل استفاده دوباره صنایع و تخلیه به آن افزایش یافته است، به طوری که کیفیت این آب تنها مناسب مصرفهای صنعتی و غیر شرب است. و برای جلوگیری از افزایش شوری آب بخشی از پساب تصفیه خانه فاضلاب شهر به رودخانه‌ها تخلیه می‌شود تا آب زیرزمینی را تغذیه کند.

- **مصر:** حدود ۹۶ درصد کشور مصر صحراست و به ندرت در آن باران می‌بارد. تنها منبع آب کشور رودخانه‌نیل است. در حدود سال ۲۰۰۴ مقدار فاضلاب تولیدی این کشور حدود ۴۹۳۰ میلیون متر مکعب در سال بود که در ۱۲۱ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری حدود ۱۶۴۰ میلیون متر مکعب آن تصفیه شده و در ۴۲،۰۰۰ هکتار به طور مستقیم و یا پس از اختلاط با آب متعارف مورد استفاده قرار می‌گرفت.

از حدود سال‌های ۱۹۰۰ از فاضلاب برای آبیاری باغهای میوه واقع در اراضی ماسه‌ای نزدیک قاهره استفاده شده است و سطح کل اراضی تحت پوشش به حدود ۱۰۰۰ هکتار افزایش یافته است. در مصر هنوز هیچ گونه معیار و مبنایی برای استفاده دوباره تدوین نشده است.

البته طبق قانون مارشال ۱۹۸۴ استفاده از فاضلاب خام برای آبیاری محصولات کشاورزی ممنوع است مگر پس از تصفیه و رسیدن به معیارهای کیفی لازم. آبیاری سبزیجاتی که خام خورده می‌شوند، صرف‌نظر از درجه تصفیه فاضلاب، ممنوع است و اکنون با همکاری سازمان امریکایی توسعه بین‌المللی، سرگرم تهیه آیین‌نامه استفاده بدون خطر پساب برای آبیاری درختان غیر میوه‌دار، خرما، مرکبات، انار، زیتون و انواع محصولات دانه‌ای مانند لوبیا و غیره است.

- **فرانسه:** سرانه آب خام سالانه کشور فرانسه حدود ۳۰۴۷ متر مکعب است و لذا در حد خودکفایی قرار دارد. اما به دلیل توزیع غیر یکنواخت بارشها همراه با افزایش نیازهای کشاورزی، در بخش‌هایی از کشور کمبود آب وجود دارد. با این وصف میانگین مصرف سرانه در طی ۱۰ سال گذشته ۲۱ درصد افزایش یافته است. بخش کشاورزی کشور فرانسه با ۴۲ درصد افزایش مصرف روبه‌رو است و دلیل آن هم افزایش اراضی کشت آبی است. در این اواخر کاهش مصرف آب خانگی رخ داده است.

در فرانسه از قرن نوزدهم استفاده دوباره از آب برای مصارف غیرشرب معمول بوده است و از قدیمی‌ترین آن پروژه‌ها، آشر[1] نزدیک پاریس و تاسیسات رمس[2] است. انگیزه‌های اصلی استفاده دوباره در این کشور عبارت است از :

۱. جبران کمبود آب؛

۲. حفاظت محیط زیست و بهبود بهداشت عمومی؛

۳. جلوگیری از آلودگی سواحل آتلانتیک که برای پرورش صدف و سبزیجات مورد استفاده است.

باید گفت در موارد زیادی و بدون توجه و برنامه‌ریزی استفاده غیر مستقیم برای مصرفهای شرب از فاضلاب وجود دارد زیرا به دلیل تخلیه فاضلاب به منابع آبهای سطحی اختلاط انجام می‌گیرد و در پایین دست آبگیری برای مصرف شرب وجود دارد. این وضعیت در شرایط فعلی در کشور ما هم تشخیص داده می‌شود.

در منطقه کلرمون روزانه بیشتر از ۱۰،۰۰۰ مترمکعب پساب برای آبیاری ۷۵۰ هکتار اراضی کشاورزی به کار می‌رود و فرایندهای مورد استفاده برای تصفیه فاضلاب عبارت است از تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه توسط لجن فعال و برکه‌های تصفیه بیشتر و پس از آن گندزدایی. موارد دیگر استفاده از پساب با فرایندهای مشابه فوق در فرانسه وجود دارد.

- **یونان:** کشور یونان نیز به کمبود آب بخصوص در تابستان‌ها دچار است. با اینکه میزان بارشهای سالانه کافی است اما به دلایل تغییرات میزان بارشها در زمان و مکان، در بیشتر اوقات کمبود آب وجود دارد. بخصوص در تابستان‌ها این کمبود بیشتر احساس می‌شود.

---

1. Acheres
2. Reims Plant

انتقال آب از حوزه‌های پر آب هم به دلیل وجود کوهستان‌ها ساده نیست و لذا استفاده از پساب در بیلان بودجه آبی دارای اهمیت شده است. در سال ۲۰۰۰ در حدود ۶۰ درصد جمعیت کشور تحت پوشش شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب بودند و فاضلاب جمع‌آوری شده در ۲۷۰ تصفیه‌خانه با ظرفیت ۱/۳ میلیون مترمکعب در روز مورد تصفیه قرار می‌گرفت تقریبا ۸۳ درصد این فاضلاب در مناطقی تولید می شود که دچار کمبود آب بود، لذا استفاده از آن مورد توجه قرار گرفت. با توجه به اینکه ۸۸ درصد پساب تولید شده در فاصله‌های کمتر از ۵ کیلومتر نسبت به اراضی کشاورزی وجود داشت، لذا هزینه لازم برای استفاده از آن به نسبت کم بود. معیارهای استفاده از پساب به وسیله وزارت محیط زیست و خدمات عمومی در دست تهیه است.

- **هندوستان:** هندوستان با جمعیت بیشتر از یک میلیارد و نیم که حدود ۳۰ درصد آن در کلانشهرهایی با جمعیت ۱۰- ۱۲ میلیون نفر ساکن هستند. سرانه آب تجدید شونده این کشور در حدود ۱۲۴۴ متر مکعب در سال است و از حدود ۴۰ درصد پتانسیل منابع آب خود بهره‌گیری می‌کند و ۹۲ درصد آن هم به وسیله بخش کشاورزی مصرف می‌شود. طبق آمار موجود در سال ۱۹۸۵ بیشتر از ۷۳،۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی با فاضلاب، آبیاری می‌شد و این روند رو به افزایش است.

طبق قانون، آبیاری سبزیهایی که خام خورده می‌شوند نباید با فاضلاب انجام شود، اما به دلایل زیاد این قانون کمتر مورد اجرا قرار می‌گیرد. در بعضی از ایالتها استاندارد میکربی پساب برای استفاده دوباره وجود ندارد لذا بین کارگران این مزارع بیماری‌های روده‌ای، کم خونی و ناراحتی‌های دستگاه گوارش بسیار رایج است. البته مصرف کنندگان این سبزیها هم در خطر بیماری های مربوط هستند.

شهر حیدر آباد فاضلاب تولیدی خود به میزان حدود ۷۰۰،۰۰۰ متر مکعب در روز را به رودخانه موسی تخلیه می‌کند، از این میزان تنها ۴ درصد آن پس از عبور از فرایند تصفیه ثانویه به رودخانه تخلیه می شود. آب این رودخانه برای آبیاری ۴۰،۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور خلاصه در بسیاری از کشورهای دیگر مانند ایتالیا، ژاپن، اردن، کویت و غیره پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی استفاده می‌شود که بعضی از آن‌ها از آیین‌نامه و قوانین حفاظت از بهداشت و سلامت مردم استفاده می کنند.

آبی که پس از استفاده به نام فاضلاب شناخته می‌شود و پس از تصفیه اولیه و ثانویه نام پساب به آن داده می‌شود، لازم است مراحل بیشتر تصفیه را بگذراند تا به آب غیرمتعارف تبدیل شود و برای استفاده دوباره آن معیار اول بهداشت و سلامت جامعه و معیار دوم حفظ محیط زیست می‌باشد.

استفاده دوباره یک ضرورت است و دارای مزایایی هم می‌باشد. لذا ما نیز باید برای استفاده دوباره از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرها برنامه‌ریزی نمائیم. طبق قوانین موجود، وزارت نیرو مسئول صدور پروانه استفاده دوباره است و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و سازمان حفاظت محیط زیست مسئول پایش پیامدهای بهداشتی و محیط زیستی استفاده دوباره و وزارت کشاورزی دست اندرکار استفاده آن در کشاورزی است.

با توجه به جدول شماره ۲-۱۶ و پتانسیل‌های استفاده دوباره، لازم است برای مصرفهای مختلف آئین‌نامه‌های کیفیت آب غیرمتعارف و فرایندهای تصفیه پساب مورد استفاده تدوین گردد و روش‌های پایش هم تعریف شود.

طبعا در شرایط آب و هوایی مختلف کشور و واکنش جوامع نسبت به استفاده دوباره اقداماتی چون آموزش و افزایش آگاهی‌های جامعه ضرورت دارد. اما در مناطق مختلف کشور تدوین معیارهایی برای الویت‌بندی استفاده دوباره گام اول است که به شدت تحت تاثیر کشاورزی بومی مانند نوع کشت و بازار مصرف محصول و نوع خاک و روش‌های سنتی آبیاری است. سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت نیرو لازم است با تشکیل کار گروه‌های تخصصی نسبت به تهیه آئین‌نامه کیفیت پساب و نوع آبیاری و نوع کشت با همکاری وزارت بهداشت و وزارت کشاورزی اقدام نماید تا بتوان در چارچوب قانون و آئین‌نامه از روش‌های صحیح استفاده دوباره حمایت و از استفاده‌های دوباره مضر برای بهداشت و محیط زیست جلوگیری بشود.

در تدوین آئین‌نامه‌های موردنظر اصل جایگزینی آب متعارف با آب غیرمتعارف با توجه به فعالیت‌های کشاورزی باید در درجه اول توجه قرار گیرد.

تردیدی نیست که استفاده دوباره اگر با توجه به اصول علمی انجام نگیرد می‌تواند باعث تخریب محیط زیست گردد و لذا پایش مستمر به کمک شاخص‌های تعریف شده ضرورت دارد.

فصل سوم ◀ وضعیت نمک زدایی در جهان

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- مفهوم نمک زدایی
- تاریخچه نمک‌زدایی
- طبقه بندی آبها از لحاظ شوری
- پذیرش جهانی صنعت نمک زدایی
- چشم انداز نمک زدایی در اوایل هزاره سوم
- وضعیت نمک‌زدایی در جهان در هزاره سوم
- شرکت های برتر در زمینه تاسیسات نمک زدایی
- بازار آینده نمک‌زدایی
- مطالعه موردی تاسیسات نمک زدایی در جهان
- وضعیت تاسیسات نمک زدایی در ایران

مقدمه

کشور ما ایران از جمله کشورهایی است که در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک واقع شده و علاوه بر کم بودن میانگین بارش سالانه با پراکندگی زمانی و مکانی ناهمگون و نامناسب آن نیز مواجه است. دامنه بارندگی در ایران از حداکثر ۲۰۰۰ میلی‌متر در سواحل شمالی تا ۵۰ میلی‌متر در کویر مرکزی متغیر است. نیمی از جمعیت کشور در مناطق شمالی و غربی کشور زندگی می‌کنند و از ۷۰ درصد منابع آبی برخوردارند و در مقابل نصف دیگر جمعیت در مناطق مرکزی، شرقی

و جنوبی کشور زندگی می‌کنند و تنها به ۳۰ درصد منابع آبی دسترسی دارند. افزایش جمعیت طی ۴۰ سال گذشته موجب کاهش سرانه منابع آبی تجدیدپذیر کشور از ۷۰۰۰ مترمکعب به کمتر از ۱۵۰۰ مترمکعب در سال‌های اخیر رسیده است و پیشبینی می‌شود با ادامه روند رشد جمعیت، سرانه منابع آبی در ایران در سال ۱۴۰۰، به ۱۳۰۰ مترمکعب کاهش یابد که نشانه ورود کشور، به شرایط تنش آبی است.

بر اساس آمار موجود حدود۲۰ استان کشور در دهه گذشته از حداکثر ظرفیت سفره‌های آب زیرزمینی خود استفاده کرده‌اند. خشکسالی‌های سال های گذشته حتی موجب برداشت اضافه از منابع آب زیرزمینی شده است که این اضافه برداشت باعث افت بیشتر سطح آب زیرزمینی در همه مناطق و پیشروی جبهه آب شور در بعضی از دشت‌ها شده است. به طوری که در حال حاضر حدود ۱۵۳ دشت از حدود ۷۰۰ دشت کشور جزء مناطق ممنوعه و بحرانی از نظر برداشت آب معرفی شده‌اند که بیشتر این تعداد دشتها در نواحی مرکزی و شرقی ایران واقع شده‌اند و همچنین حدود ۳۷۳۱ چشمه و ۲۵۰۰ رشته قنات درسراسر کشور خشک شده است. همچنین در کشور ما مقوله آلودگی آب به تدریج به یک چالش جدی مبدل می‌شود.

پدیده رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی، افزایش مصرف آب برای مصرفهای بهداشتی در شهرها و روستاها، توسعه اراضی آبی و مصرف بی‌رویه کود و سم در اراضی کشاورزی و مصرف بیش از اندازه آب در بخش کشاورزی و در نتیجه تولید زهاب‌های آلوده، گسترش صنایع و بی‌مبالاتی در تصفیه پسابهای صنعتی و رهاسازی آنها به رودخانه‌ها و منابع آب زیرزمینی و هجوم آبهای شور به سفره‌های آب متعارف همگی از چالش‌های مهم در مقوله کیفیت منابع آبی در کشور به حساب می‌آید. بنابراین لزوم برنامه ریزی و مدیریت تأمین نیاز این کالای حیاتی از یک طرف و محدودیت منابع آب متعارف در دسترس از طرف دیگر، بهره گیری از منابع غیرمتعارف موجود مانند منابع آبهای شور و لب شور را در کانون توجه کلیه مدیران و کارشناسان قرار می‌دهد. در این راستا شهرها و استانهایی که با کمبود منابع آب متعارف سطحی و زیرزمینی روبه‌رویند و بیشتر در کنار دریاها و یا روی سفره های زیر زمینی آب شور و یا لب شور قرار دارند، می‌توانند برای تأمین آب مورد نیازشان و عبور از بحران‌های آبی، بیشترین بهره را از فناوری‌های نمک‌زدایی ببرند. لذا استفاده از فناوری‌ها و راهکارهای نوین جهت تامین و تولید آب متعارف از آبهای غیر متعارف در کشور، می‌تواند امری استراتژیک برای منطقه‌های بحران خیز و خشک

باشد و با استفاده از این فناوریها می‌توان گام‌های مثبتی جهت رفع نیازهای مردم در راه توسعه پایدار برداشت.

مفهوم نمک زدایی[1]

نمک‌زدایی فرایند حذف نمک از آب است. نمک‌زدایی آب با روشهای مختلفی انجام می‌گیرد و نتیجه همیشه یکی است و آن تولید آب شرب از آب دریا[2] یا آب لب‌شور[3] است.

در سراسر تاریخ، انسانها به طور مستمر برای تصفیه آب شور جهت کاربردهای شرب و کشاورزی در تلاش بوده اند. از کل آب‌های روی زمین ۹۴ درصد، آب شور اقیانوس‌ها و ۶ درصد آب متعارف است که از این میزان ۶ درصدی حدود ۲۷ درصد در قطب‌ها و ۷۲ درصد در زیر سطح زمین موجود است. در این راستا تکنولوژی‌های نمک‌زدایی محدوده منابع آب در دسترس برای استفاده به وسیله جوامع را افزایش داده است و لذا می توان از ۹۴ درصد آب شور بهره‌گیری کرد.

در گذشته تنها آب با مجموع املاح محلول[4] (نمک) کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای تامین آب شرب جوامع در نظر گرفته می‌شد، که گاهی اوقات این کیفیت، ابعاد و موقعیت جوامع را محدود کرده و اغلب باعث مشکلات در جوامعی می‌شد که نمی‌توانستند در نزدیکی منابع آب متعارف ساکن شوند. کاربرد تکنولوژی‌های نمک‌زدایی در طی ۶۰ سال گذشته وضعیت زندگی را در مناطق بسیاری تغییر داده است. در حال حاضر روستاها، شهرها و صنایع در بسیاری مناطق بایر و کم‌آب کره زمین که آب‌دریا یا لب‌شور موجود را با تکنولوژی‌هایی نمک‌زدایی می‌کنند، توسعه یافته است. این تغییرات در مناطق بایر و خشک خاورمیانه، شمال افریقا و بعضی جزایر کارائیب که کمبود آب شرب به طور جدی پیشرفت و توسعه آنها را محدود کرده بود، درخور ملاحظه است. اکنون شهرهای مدرن و صنایع اصلی در بعضی مناطقی که از آب متعارف تولیدی توسط نمک‌زدایی آب لب‌شور و دریا بهره‌می‌برند، توسعه یافته است.

تاریخچه نمک‌زدایی

نمک‌زدایی فرایندی طبیعی، پیوسته و بخش ضروری گردش آب در طبیعت است. باران به

1. Desalination 2. Sea Water 3 . Brackish Water 4. Total Dissolved Solids

زمین می‌بارد و سپس این آب در روی زمین به سمت دریاها حرکت می‌کند، مردم این آب را برای هدفهای مختلفی به کار می‌برند. همان‌طور که آب در روی زمین و در زیر سطح آن حرکت می‌کند مواد معدنی و سایر مواد را در خود حل می کند به طوری که میزان شوری آن افزایش می یابد. سپس این آب به سمت اقیانوس ها و سایر نقاط طبیعی مانند دریاهای مرده یا رودخانه‌های بزرگ نمک حرکت می کند و بخشی از آن به وسیلهٔ انرژی خورشید تبخیر می‌شود. آب تبخیری نمک‌هایش را به جای گذاشته و نتیجه تبخیر آب تولید ابرهاست که باعث ریزش باران و ادامه گردش آب در طبیعت می‌شود.

توسعه اصلی صنعت نمک‌زدایی در دهه ۱۹۴۰ در طی جنگ جهانی دوم روی داد، هنگامی که نیروهای مختلف نظامی مستقر در نقاط بایر نیازمند تامین آب برای نیروهایشان شدند، اندیشه نمک‌زدایی آب رشد کرد. بعد از جنگ پتانسیل نمک‌زدایی بسیار وسیع تشخیص داده شد و این مطالعات در کشورهای مختلف دنیا ادامه یافت. یکی از مهمترین تلاش های متمرکز در این زمینه به وسیلهٔ دولت امریکا از طریق ایجاد و بنیانگذاری دفتر آب شور[1] در اوایل دهه ۱۹۶۰ و سازمانهای جانشین آن مانند دفتر تکنولوژی و تحقیقات آب انجام شد. و در این مسیر مبالغ چشمگیری را به منظور تحقیقات بیشتر و بررسی های اولیه و توسعه تکنولوژی‌های مختلف نمک‌زدایی آب‌های لب‌شور و دریا اختصاص داد.

در اواخر دهه ۱۹۶۰، واحدهای تجاری با ظرفیت حدود ۸۰۰۰ مترمکعب در روز در نقاط مختلف دنیا نصب شد که این واحدها بیشتر گرمایی بودند و برای نمک‌زدایی آب دریا به کار می‌رفتند. اما در دهه ۱۹۷۰ فرایندهای تجاری ممبرانی مانند الکترودیالیز[2] و اسمز معکوس به طور وسیع به کار گرفته شد. در ابتدا فرایند تبخیر - تقطیر برای نمک‌زدایی آب لب‌شور و دریا استفاده می‌شد که این فرایند گرانقیمت بود و کاربرد نمک‌زدایی برای هدفهای شهری را محدود می‌ساخت. با توسعه الکترودیالیز آب لب‌شور، تولید آب بسیار اقتصادیتر شد و کاربردهای بسیاری برای آن در نظر گرفته شد. در دهه ۱۹۸۰ استفاده از تکنولوژی نمک‌زدایی یک اقدام و سرمایه‌گذاری کاملا تجارتی بود و تکنولوژی از تجربیات به دست آمده (گاه خوب، گاه بد) واحدهایی که در دهه‌های گذشته ساخته و راهبری شدند، توسعه یافت. در دهه ۱۹۹۰ کاربرد

1. Saline Water Office 2. Electrodyalis

جدول شماره ۳-۱: **روش‌های نمک‌زدایی**

جداسازی	مصرف انرژی	فرایند	روش نمک زدایی
آب از نمک	گرمایی	تبخیر- تقطیر	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای[1]
			تقطیر چند مرحله ای[2]
			تراکم بخارگرمایی[3]
			تقطیر خورشیدی
		کریستالیزاسیون	انجماد
			فرایند هیدراته گازی
		فیلتراسیون / تبخیر	تقطیر غشایی
	مکانیکی	تبخیر	تراکم بخار مکانیکی[4]
		ممبرانی	اسمز معکوس[5]
نمک از آب	الکتریکی	ممبران انتخابی	الکترودیالیز
	شیمیایی	تبادل	تبادل یونی

تکنولوژیهای نمک‌زدایی برای تولید آب شهری فراگیر شد به طوری که در اواخر دهه اول هزاره سوم این صنعت رشدی ۳ برابر دهه گذشته پیدا کرد.

در سراسر دنیا انواع بسیاری از تکنولوژی های نمک زدایی به کار برده می شود. بعضی از این تکنولوژی‌ها به طور کامل توسعه یافته و در اندازه‌های بزرگ برای تولید آب به کارمی‌روند در حالی که بعضی دیگر در واحدهای کوچک و برای اهداف تحقیقاتی و توسعه‌ای کاربرد دارند.

در جدول شماره ۳-۱ متداولترین تکنولوژی‌های کاربردی نمک‌زدایی ارائه شده است.

طبقه بندی آبها از لحاظ شوری

در دنیا آب طبیعی بدون نمک وجود ندارد. اما آبهایی که دارای نمک نسبتا کمی است، آب متعارف[6] محسوب می‌شود. میزان نمک (مجموع املاح محلول) آبهای شرب کمتر از ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر است. این میزان در آبهای لب شور ۱۰۰۰-۱۰،۰۰۰ ، در آبهای شور بیش از ۱۰،۰۰۰

1. Multi Flush Distillation
2. Multi Effect Distillation
3. Thermal Vapor Compression
4. Mechanical Vapor Compression
5. Reverse Osmosis
6. Fresh Water

جدول شماره ۳-۲: **حدود طبقه‌بندی آب‌های شور**

طبقه بندی	کل جامدات محلول (میلی‌گرم در لیتر)
آب متعارف	۰-۱۰۰۰
آب لب شور	۱۰۰۰-۱۰،۰۰۰
آب شور	بیش از ۱۰،۰۰۰
پساب شور	بیش از ۱۰۰،۰۰۰

و در پساب شور بیش از ۱۰۰،۰۰۰ میلی گرم در لیتر است. در جدول شماره ۳-۲ طبقه بندی آبهای شور ارائه شده است.

بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی[1] میزان مطلوب مجموع املاح محلول در آب ۶۰۰ میلی گرم در لیتر و میزان مجاز آن ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر است. در استاندارد ۱۰۵۳ ویژگیهای آب آشامیدنی ملی کشور، حداکثر مجاز مجموع املاح محلول ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر است و در شرایط استثنایی میزان ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر نیز پیشنهاد شده است.

مجموع املاح محلول پذیرفتنی آب آبیاری برای رشد سالم گیاه بسته به نوع گیاه و نوع خاک و تناوب آبیاری در محدوده ۰-۳۵۰۰ میلی گرم در لیتر است. مصرف آب برای دامپروری بسته به نوع دام متغیر است و به عنوان مثال برای گوسفند در محدوده ۷۰۰۰ میلی گرم در لیتر قرار دارد. بیشتر تکنولوژی‌های نمک‌زدایی توانایی کاهش شوری آب دریا به میزان کمتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر را دارند.

در جدول شماره ۳-۳ ترکیب یون های اصلی آب دریاها شامل دریای معمولی، مدیترانه ،خلیج فارس در منطقه کویت و دریای سرخ در منطقه جده ارائه شده است. همان گونه که دیده می‌شود بالاترین میزان مجموع املاح محلول متعلق به آب خلیج فارس است که حدود ۴۵،۰۰۰ میلی گرم در لیتر است. می‌توان دید که در منطقه خلیج فارس میزان کلرید آب حدود ۲۳،۰۰۰ و میزان سدیم حدود ۱۶،۰۰۰ میلی گرم در لیتر است.

1. World Health Organization (WHO)

جدول شماره ۳-۳: **غلظت یون های اصلی آب دریا برحسب میلی گرم در لیتر**

اجزاء	آب دریاها	مدیترانه شرقی	خلیج فارس (کویت)	دریای سرخ (جده)
کلرید (Cl^{-1})	۱۸۹۸۰	۲۱۲۰۰	۲۳۰۰۰	۲۲۲۱۹
سدیم (Na^{+1})	۱۰۵۵۶	۱۱۸۰۰	۱۵۸۵۰	۱۴۲۵۵
سولفات (SO_4^{-2})	۲۶۴۹	۲۹۵۰	۳۲۰۰	۳۰۷۸
منیزیم (Mg^{+2})	۱۲۶۲	۱۴۰۳	۱۷۶۵	۷۴۲
کلسیم (Ca^{+2})	۴۰۰	۴۲۳	۵۰۰	۲۲۵
پتاسیم (K^{+1})	۳۸۰	۴۶۳	۴۶۰	۲۱۰
بی کربنات (HCO_3^{-1})	۱۴۰	--	۱۴۲	۱۴۶
استرانسیم (Sr^{+2})	۱۳	--	--	--
برمید (Br^{-1})	۶۵	۱۵۵	۸۰	۷۲
اسید بریک (H_3BO_3)	۲۶	۷۲	--	--
فلورید (F^{-1})	۱	--	--	--
سیلیکات (SiO_3^{-2})	۱	--	۱/۵	--
ید (I^{-1})	۱>	۲	--	--
سایر	۱	--	--	--
کل جامدات محلول (TDS)	۳۴۴۸۳	۳۸۶۰۰	۴۵۰۰۰	۴۱۰۰۰

-- : گزارش نشده است.

لازم به یاداوری است که جدول شماره ۳-۳ تنها جهت اطلاع است و باید در هنگام بررسی و مطالعات طراحی تاسیسات نمک‌زدایی نسبت به آزمایشهای دقیق کیفیت آب خام اقدام کرد.

پذیرش جهانی صنعت نمک زدایی

نمک زدایی قدمتی حدود پنج دهه دارد. در ابتدا در اوایل دهه ۱۹۶۰ تنها فرایند نمک زدایی آب دریا، فرایند تبخیر - تقطیر و تنها گزینه ممکن و اقتصادی برای دستیابی به ظرفیت‌های بزرگ تاسیسات دوگانه تولید الکتریسیته/ آب، استفاده از تکنولوژی تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای بود. در حدود ۱۰ سال بعد دو تکنولوژی جدید نمک زدایی آب دریا به نام‌های تقطیر چند مرحله‌ای و اسمز معکوس معرفی شد.

از دهه ۱۹۶۰ دو گزینه عملی برای نمک زدایی آب های لب شور به نام های الکترودیالیز و اسمز معکوس معرفی شد. الکترودیالیز برای آب با شوری پایین یا برای هدفهای خاصی مانند حذف نیترات به کار برده می شود. در حالی که اسمز معکوس برای محدوده وسیعی از منابع آب خام کاربرد دارد که این محدوده در حال حاضر توسعه یافته و منابع آب های سطحی مختلفی را در بر می گیرد که شامل استفاده از پساب تصفیه خانه های فاضلاب از طریق به کارگیری سیستم‌های ممبرانی توسعه یافته اولترافیلتر[1] یا میکروفیلتر[2] همراه با ممبران های اسمز معکوس با گرفتگی پایین است.

از دهه ۱۹۷۰، سه تکنولوژی تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند مرحله‌ای و اسمز معکوس فرایندهای اصلی در نمک زدایی آب دریا بودند. تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند مرحله‌ای به طور همزمان با تولید الکتریسیته به کار گرفته می‌شوند، در حالی که اسمز معکوس تنها گزینه ممکن برای کاربردهای مستقل نمک‌زدایی آب دریاست. در حال حاضر مهمترین فرایندهای گرمایی شامل تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند مرحله‌ای و تراکم بخار و فرایندهای ممبرانی شامل اسمز معکوس، الکترودیالیز و نانوفیلتر است.

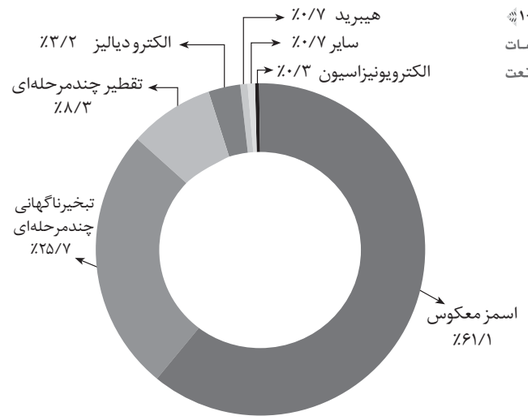
اصلیترین فرایندها در نمک‌زدایی آبهای لب‌شور و دریا فرایندهای تبخیر ناگهانی چند مرحله ای و اسمز معکوس هستند که براساس براورد انجمن بین المللی نمک زدایی[3] در سال ۲۰۰۹ حدود ۸۷ درصد کل ظرفیت نصب شده را در اختیار دارند.

در شکل شماره ۳-۱ ظرفیت تاسیسات نصب شده برای نمک زدایی براساس نوع تکنولوژی نشان داده شده است. همان گونه که در شکل شماره ۳-۱ دیده می‌شود تکنولوژی

1. Ultrafiltration 2. Microfiltration 3. International Desalination Association (IDA)

اسمز معکوس با حدود ۶۱/۱ درصد ظرفیت نصب شده پیشرو در تکنولوژی نمک‌زدایی است و بعد از آن تکنولوژی تبخیر ناگهانی چند مرحله ای ۲۵/۷ درصد، تقطیر چند مرحله‌ای با ۸/۳ درصد، الکترودیالیز با ۳/۲ قرار دارند.

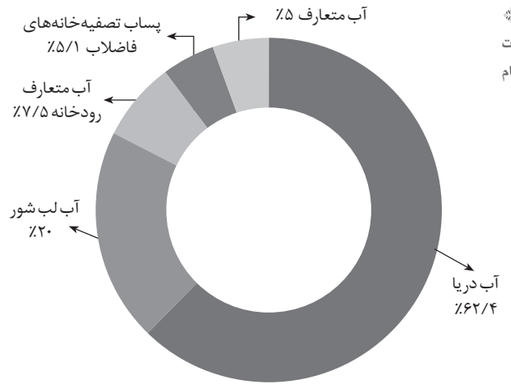
دیاگرام شماره ۳-۱
ظرفیت نصب شده تاسیسات نمک‌زدایی براساس نوع صنعت



آب خام در کیفیت های مختلف به وسیلهٔ تاسیسات نمک زدایی تصفیه می شود که بیشتر شامل آب دریا و آب لب شور هستند. مطابق شکل شماره ۳-۲ میزان ۶۲/۴ درصد آب دریا، ۲۰ درصدآب لب شور، ۷/۵ درصد آب رودخانه، ۵/۱ درصد پساب تصفیه خانه های فاضلاب و ۵ درصد آب متعارف توسط فرایندهای نمک زدایی تولید می گردند. همان گونه که بیان شد آب دریا از طریق فرایندهای مختلف گرمایی و نیز اسمز معکوس، نمک زدایی می‌شود در حالی که آبهای لب شور بیشتر به وسیلهٔ اسمز معکوس و الکترودیالیز تصفیه می گردند.

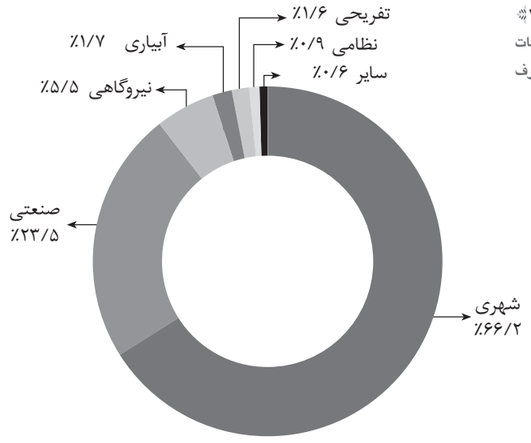
نمک زدایی آب های لب شور و دریا به طور وسیع در دهه های اخیر گسترش یافته است و برای تامین نیازهای شهری و صنعتی در مناطق خشک، نیمه خشک و یا کم آب به کار می‌رود. تداوم پیشرفت در تکنولوژی نمک‌زدایی و کاهش هزینه های آن باعث شده است تا از این صنعت به عنوان گزینه‌ای مطمئن جهت رفع کمبود جهانی آب بهره گرفت.

دیاگرام شماره ۳-۲
ظرفیت نصب شده تاسیسات نمک‌زدایی براساس کیفیت آب خام



مطابق شکل شماره ۳-۳ میزان ۶۶/۲ درصد ظرفیت نصب شده تاسیسات نمک‌زدایی برای نیازهای شهری، ۲۳/۵ درصد صنعتی، ۵/۵ درصد نیروگاهی، ۱/۷ درصد آب صنعتی، ۱/۶ درصد صنعت توریسم، ۰/۹ درصد نظامی و ۰/۶ درصد در سایر مصرفها کاربرد دارد.

دیاگرام شماره ۳-۳
ظرفیت نصب شده تاسیسات نمک‌زدایی براساس نوع مصرف



چشم انداز نمک زدایی در اوایل هزاره سوم

نکته‌های مهم در دستاوردهای این صنعت در اوایل هزاره سوم به شرح زیر است:

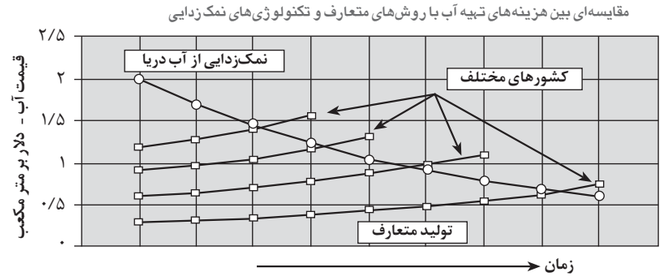
- **انرژی مورد نیاز برای نمک‌زدایی آب دریا:** در طی ۴۰ سال گذشته انرژی مورد نیاز برای تولید یک مترمکعب آب دریا از حدود ۲۶ کیلووات ساعت به حدود ۳ کیلووات ساعت رسیده است که گویای کاهشی حدود ۸۸ درصد است.
- **تکنولوژی نمک‌زدایی آب دریا:** عملکرد صنعت نمک زدایی به روش اسمزمعکوس از آب دریا در حال پیشرفت است اما بیشتر واحدهای بزرگ نمک‌زدایی که در کشورهای دارای نفت نصب شده‌اند فرایندهای تبخیر ناگهانی چند مرحله ای و به میزان کمتر تقطیر چند مرحله‌ای است که مصرف انرژی بالاتری دارند.
- **قیمت تولید آب:** کاهش قیمت آب در ۱۰ سال گذشته درخور توجه است، بویژه با موافقتنامه‌های خصوصی سازی در این رابطه فروش آب آشامیدنی تولیدی از آب دریا را محدوده ۰/۵۳ - ۰/۷۲ دلار برمتر مکعب قرار داده است.
- **نمک‌زدایی آب لب شور:** پیشرفت‌های عظیم تکنولوژی بویژه در صنعت ممبران‌های اسمز معکوس برای نمک زدایی از آب های لب شور با توجه به شتاب رشد در تعداد واحدهای نصب شده در جهان،درخور ملاحظه است. در حال حاضر قیمت نمک‌زدایی آب لب شور حدود ۰/۲۶ دلار برمتر مکعب است. شکل شماره ۳-۴ مقایسه‌ای بین هزینه‌های تهیه آب با روشهای متعارف و تکنولوژی‌های نمک‌زدایی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، به دلایل بسیار، هزینه‌های تصفیه نهایی آب‌های متعارف رو به افزایش بوده در حالی که هزینه‌های نمک‌زدایی رو به کاهش است.
- طرح‌های راهگشای واحدهای نمک زدایی - در پایان دهه ۱۹۹۰ تعداد زیادی قرارداد طراحی، ساخت، سرمایه‌گذاری، راهبری و مالکیت (بی او او)[1] یا در نهایت انتقال (بی او او تی)[2] تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا با توسعه‌دهندگان این صنعت بسته شد که از آن جمله تاسیسات نمک‌زدایی به روش اسمزمعکوس آب دریا در قبرس به ظرفیت ۴۰ هزار مترمکعب در روز برای تحویل آب در

1. Build- Own-Operate
2. Build- Own-Operate- Transfer

حدود قیمت ۰/۸-۰/۸۵ دلار برمترمکعب و تاسیسات ۱۰۰ هزارمترمکعب در روز اسمز معکوس آب دریا در نزدیکی خلیج تامپا[1] در فلوریدای آمریکا برای ۰/۴۵ - ۰/۵۵ دلار بر مترمکعب است.

- **رشد جمعیت:** جمعیت جهان در سال ۲۰۰۰ از مرز ۶ میلیارد نفرگذشت بر اساس گزارشهای سازمان ملل با اینکه نرخ رشد جمعیت کند شده اما به رشد خود ادامه داده و رشد جمعیت به معنای افزایش نیاز به آب است. جمعیت امروز جهان ۷ میلیارد نفر است.

دیاگرام شماره ۳-۴
مقایسه‌ای بین هزینه‌های تهیه آب با روش‌های متعارف و تکنولوژی‌های نمک زدایی



وضعیت نمک‌زدایی در جهان در هزاره سوم

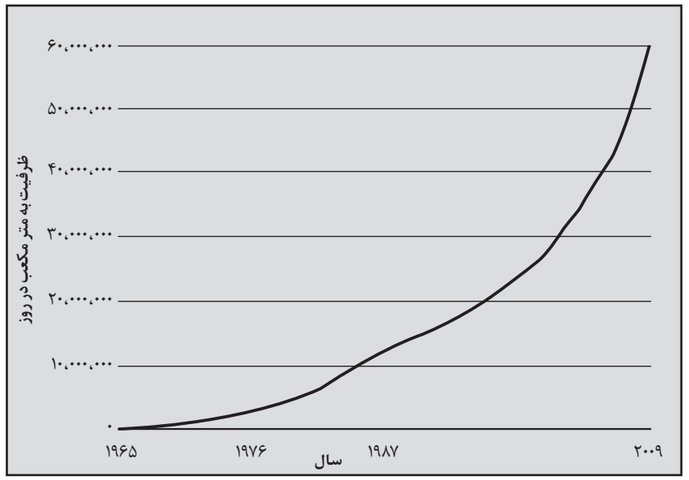
براساس گزارش شماره ۲۲ انجمن بین المللی نمک زدایی در سال ۲۰۰۹ ظرفیت تحت قرارداد تاسیسات نمک زدایی به ۶۸/۵ میلیون متر مکعب در روز افزایش یافته است، که گویای تعداد ۱۴،۷۵۴ واحد تاسیسات نمک زدایی در سراسر دنیاست.

از آنجا که کلیه تاسیسات تحت قرارداد، وارد مدار بهره‌برداری نشده‌اند، گزارش پیشگفته ظرفیت کل تاسیسات نمک‌زدایی تکمیل شده را ۵۹/۹ میلیون مترمکعب در روز پیشنهاد می کند که این، گویای حدود ۱۸ میلیون مترمکعب در روز ظرفیت در حال نصب است. البته این اعداد بیان کنندهٔ تاسیسات نمک‌زدایی با ظرفیت بیش از ۱۰۰ متر مکعب در روز است که در حقیقت در صورت در نظر گرفتن تاسیسات کوچک پیشبینی می‌شود کل ظرفیت تحت قرارداد تاسیسات نمک‌زدایی در سراسر جهان به ۷۰/۹ میلیون مترمکعب در روز برسد.

1. Tampa Bay

دیاگرام شماره ۳-۵

ظرفیت تولید جهانی تاسیسات نمک زدایی تکمیل شده از سال ۱۹۶۶



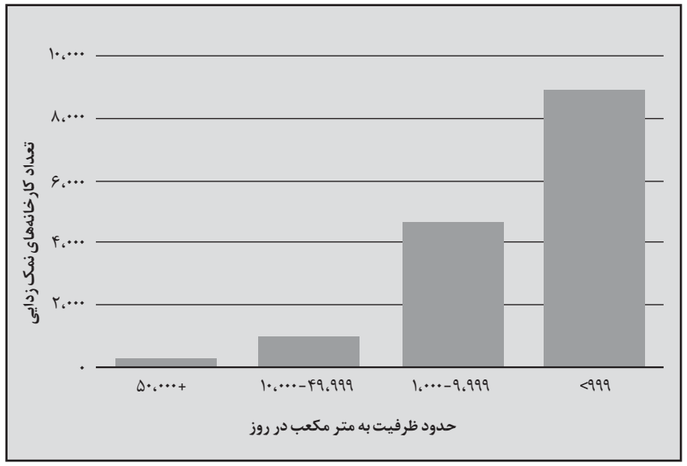
در دیاگرام شماره ۳-۵ رشد جهانی ظرفیت تولید تحت قرارداد تاسیسات نمک‌زدایی از سال ۱۹۶۶ نشان داده شده است. این ظرفیت نشاندهندهٔ مجموع کل تاسیسات حتی تاسیسات خارج از مدار بهره‌برداری و نیز کلیه تکنولوژی‌های نمک‌زدایی مشتمل بر تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند مرحله‌ای، اسمز معکوس و الکترودیالیز مورد استفاده در آب دریا، آب لب شور، آب رودخانه یا آب متعارف برای فرایندهای آب صنعتی می‌شود.

در دیاگرام شماره ۳-۶ تعداد تاسیسات نمک‌زدایی براساس ۴ محدوده ظرفیت تاسیسات از بیش از ۵۰،۰۰۰ مترمکعب در روز تا کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز نشان داده شده است که بیشترین تعداد مربوط به تاسیسات با ظرفیت کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز با تعداد ۹۰۰۰ واحد است.

در دیاگرام شماره ۳-۷ ظرفیت تاسیسات نمک‌زدایی براساس ۴ محدوده ظرفیت تاسیسات بیش از ۵۰،۰۰۰ مترمکعب در روز تا کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در روز نشان داده شده است که بیشترین این ظرفیت مربوط به تاسیسات با ظرفیت بیش از ۵۰،۰۰۰ مترمکعب در روز است که مجموع ظرفیت تقریبی آن روزانه حدود ۳۵ میلیون مترمکعب در روز است.

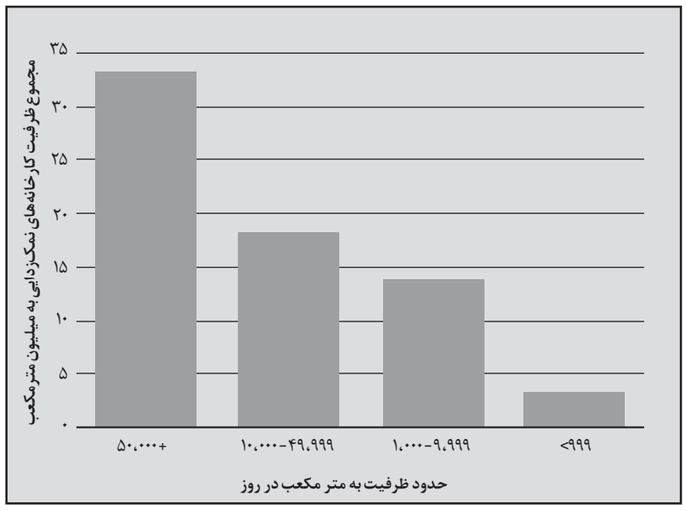
دیاگرام شماره ۳-۶

تعداد کارخانه‌های نمک زدایی تحت قرارداد



دیاگرام شماره ۳-۷

ظرفیت کارخانه‌های نمک‌زدایی تحت قرارداد



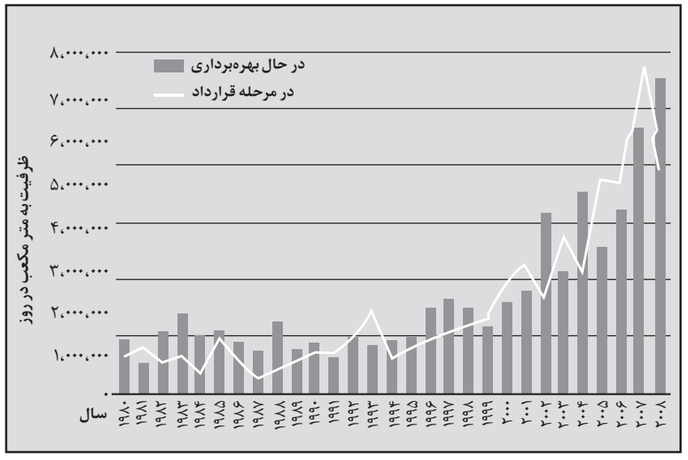
در دیاگرام شماره ۳-۸ ظرفیت تاسیسات نمک‌زدایی راه اندازی شده در طول سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۸ نشان داده شده است. همان گونه که مشهود است مقادیر ظرفیت های جدید تحت قرارداد و راه‌اندازی شده از سال ۲۰۰۳ هر ساله شتاب گرفته است. به طوری که قراردادهای جدید در سال ۲۰۰۷ به بالاترین میزان آن ۷/۶ میلیون مترمکعب در روز رسیده است.

شتاب در بازار نمک زدایی از سال ۲۰۰۳ از طریق افزایش تقاضای تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا شروع شد. مقدار کل ظرفیت جدید نمک زدایی آب دریا که در سال ۲۰۰۳ تکمیل گردید ۱/۱ میلیون مترمکعب در روز بود و این مقدار در سال ۲۰۰۸ به ۳/۷ میلیون مترمکعب در روز رسید. که گویای رشد سالانه‌ای حدود ۲۷ درصد است. در نیمه اول سال ۲۰۰۹ این میزان به ۴/۵ میلیون مترمکعب در روز رسیده است.

دیاگرام شماره ۳-۹ رشد تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا در مقایسه با تاسیسات نمک‌زدایی آب های لب شور و سایر آب های خام براساس ظرفیت های جدید اضافه شده در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. با وجود شایعات فراوان در خصوص کاهش سهم بازار تاسیسات نمک‌زدایی گرمایی، داده‌های گزارشهای اخیر هیچ گونه کاهش شاخصی را در این رابطه در ۵ سال گذشته

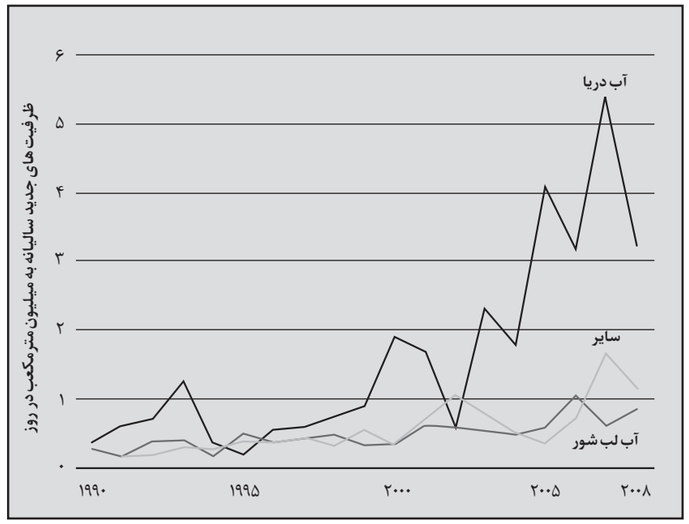
دیاگرام شماره ۳-۸

ظرفیت کارخانه‌های نمک زدایی تحت قرارداد و راه اندازی شده سالهای ۱۹۸۰-۲۰۰۸



دیاگرام شماره ۳-۹

ظرفیت‌های جدید سالانه تحت قرارداد براساس نو ع آب خام در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۸



در منطقه خلیج فارس نشان نمی‌دهد. البته رشد بازار ممبران در کشورهایی مانند اسپانیا، الجزایر و استرالیا باعث کاهش سهم کلی بازار تاسیسات نمک‌زدایی گرمایی در دنیا شده است. در شکل شماره ۳-۱۰ منحنی تجمعی ظرفیت تاسیسات نمک زدایی گرمایی و ممبرانی نصب شده در طی سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۸ نشان داده شده است.

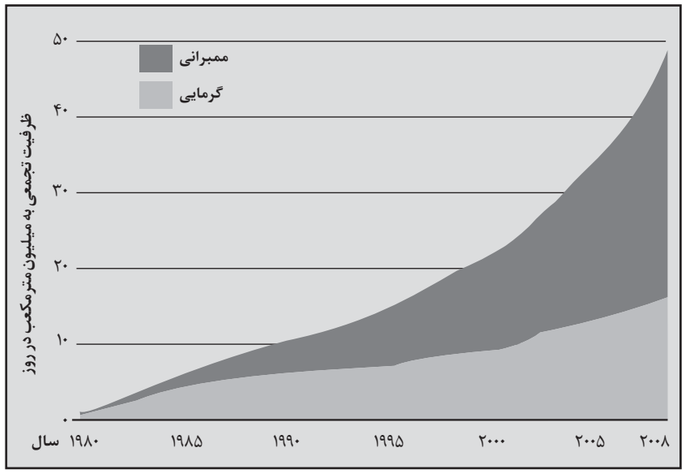
برای نمک‌زدایی آبهای لب شور و حذف جامدات محلول از آب با املاح به نسبت کمتر، انواع تکنولوژی اسمز معکوس برترین گزینه است. گرچه کاربرد تکنولوژی الکترودیالیز[1] و نوع الکترودیالیز ریورسال[2] هنوز مورد استفاده است. در شکل شماره ۳-۱۱ ظرفیت سالانه جدید تحت قرارداد تاسیسات نمک‌زدایی براساس تکنولوژی اسمز معکوس، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند مرحله‌ای نشان داده شده است که نشاندهنده رشد چشمگیر تکنولوژی اسمز معکوس نسبت به سایر تکنولوژی‌هاست.

---

1. Electrodialysis
2. Electrodialysis Reversal

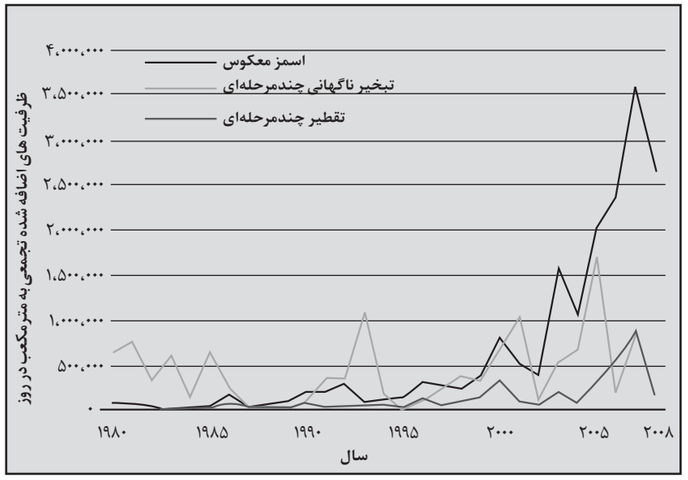
دیاگرام شماره ۳-۱۰

منحنی تجمعی ظرفیت کارخانه‌های نمک زدایی گرمایی و ممبران نصب شده در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۸



دیاگرام شماره ۳-۱۱

ظرفیت سالانه جدید تحت قرارداد کارخانه‌های نمک زدایی براساس نوع تکنولوژی در سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۸



دیاگرام شماره ۳-۱۲

نام ۱۰ کارخانه نمک زدایی برتر از نظر ظرفیت (در حال بهره برداری و در مرحله قرارداد)

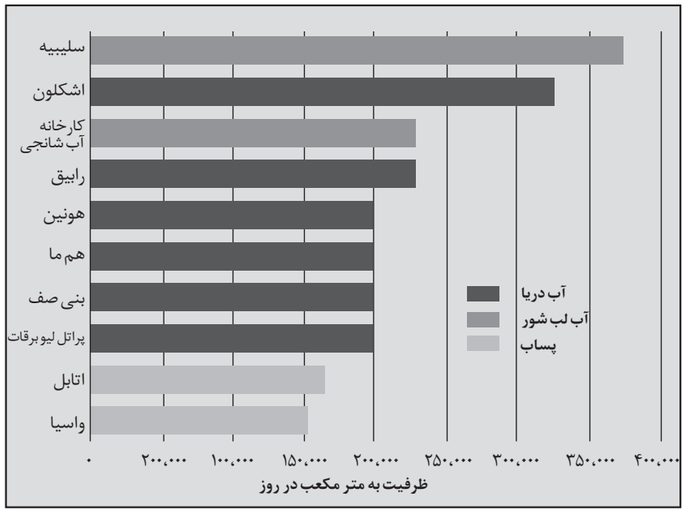
در دیاگرام شماره ۳-۱۲ نام ۱۰ کارخانه نمک‌زدایی برتر از نظر ظرفیت ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود شعیبه ۳ واقع در کشور عربستان با ظرفیت حدود ۸۸۰،۰۰۰ مترمکعب در روز بزرگترین واحد نمک‌زدایی براساس تکنولوژی تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای است و بعد از آن تاسیسات تقطیر چند مرحله‌ای طرفین[1] کشور عربستان با ظرفیت حدود ۷۵۰،۰۰۰ مترمکعب در روز قرار گرفته است. در واقع شکل شماره ۳-۱۲ نشان می‌دهد که تاسیسات بزرگ نمک‌زدایی در دنیا از تکنولوژی گرمایی بهره می گیرند.

در شکل شماره ۳-۱۳ نام ۱۰ کارخانه برتر نمک‌زدایی ممبرانی در حال بهره برداری برحسب ظرفیت و براساس نوع آب خام مورد تصفیه ارائه شده است. همان گونه که در شکل دیده می‌شود تاسیسات نمک‌زدایی از پساب تصفیه خانه فاضلاب سلیبیه کویت با ظرفیت بیش از ۳۷۰،۰۰۰ مترمکعب در روز بیشترین ظرفیت را داراست. همچنین در شکل شماره ۳-۱۴ نام ۱۰ کارخانه برتر نمک‌زدایی گرمایی در حال بهره برداری از نظر ظرفیت ارائه شده است.

1. Torfain

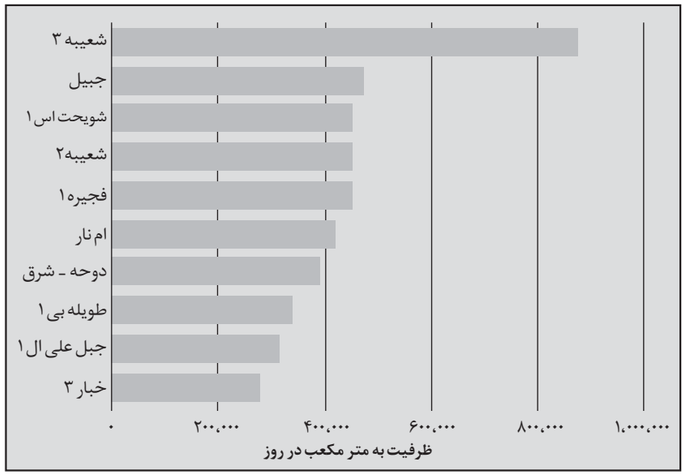
دیاگرام شماره ۳-۱۳

نام ۱۰ کارخانه برتر ممبرانی در حال بهره‌برداری برحسب ظرفیت و آب خام



دیاگرام شماره ۳-۱۴

نام ۱۰ کارخانه برتر گرمایی در حال بهره‌برداری برحسب ظرفیت



شرکت‌های برتر در زمینه تاسیسات نمک‌زدایی

در جدول شماره ۳-۴ رتبه‌بندی ۲۰ شرکت برتر پیمانکاری در زمینه طراحی، اجرا و نصب تاسیسات نمک‌زدایی گرمایی برحسب ظرفیت قرارداد منعقده شده میان سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ داده شده است.

جدول شماره ۳-۴

۲۰ شرکت پیمانکاری برتر در زمینه طراحی، ساخت و تهیه، اجرا و نصب تاسیسات گرمایی از سال ۲۰۰۰

ردیف	شرکت	ظرفیت برحسب قرارداد منعقده از سال ۲۰۰۰ (متر مکعب در روز) تاسیسات نمک زدایی
۱	Veolia Environment	۵،۹۷۶،۳۷۹
۲	Doosan	۳،۵۵۳،۸۰۵
۳	Fisia Italimpianti	۳،۰۲۵،۳۴۴
۴	GE Water	۲،۸۸۸،۵۱۴
۵	Suez Environment	۲،۴۴۸،۷۱۰
۶	Acciona Agua	۱،۴۶۶،۵۱۶
۷	Befesa Agua	۱،۲۰۷،۶۲۴
۸	IDE	۱،۱۸۷،۸۹۸
۹	Biwater AEWT	۱،۱۴۰،۸۵۸
۱۰	Hyflux	۱،۱۲۱،۵۰۸
۱۱	ACS Cobra Tedagua	۱،۰۱۲،۳۴۷
۱۲	Cadagua	۷۳۰،۷۲۴
۱۳	Inima	۶۲۶،۹۰۰
۱۴	Wetico	۶۱۰،۶۰۱
۱۵	Aqualia	۵۲۷،۹۵۰
۱۶	Nomura Micro Science	۵۲۴،۶۱۲
۱۷	Mitsubishi	۴۶۱،۵۳۰
۱۸	Kurita Water Industries	۴۱۹،۱۳۸
۱۹	Sacyr Vallehermoso	۴۰۶،۷۰۰
۲۰	Wabag	۳۷۷،۸۹۰

منبع: مرجع شماره ۱۲

به خاطرآسان شدن دسترسی خوانندگان به وب سایت این شرکت‌ها نام آنها به لاتین ارائه شده است.

در جدول شماره ۳-۵ نام ۱۰ شرکت برتر پیمانکاری در زمینه طراحی، ساخت، تهیه، اجرا و نصب تاسیسات ممبران از سال ۲۰۰۰ ارائه شده است.

جدول شماره ۳-۵

۱۰ شرکت برتر پیمانکاری در زمینه طراحی، ساخت، تهیه، اجرا و نصب تاسیسات ممبران از سال ۲۰۰۰

ردیف	شرکت	ظرفیت برحسب قرارداد منعقد شده از سال ۲۰۰۰ (متر مکعب در روز)
۱	Veolia Environment	۳،۱۷۵،۷۹۱
۲	GE	۲،۸۳۶،۴۸۶
۳	Suez Environment	۲،۴۴۸،۷۱۰
۴	Acciona Agua	۱،۴۶۶،۵۱۶
۵	Abengoa	۱،۱۸۷،۶۲۴
۶	Hyflux	۱،۱۲۱،۵۰۸
۷	Biwater Plc	۱،۰۸۴،۰۸۳
۸	ACS Cobra Tedagua	۱،۰۱۲،۳۴۷
۹	IDE	۸۴۷،۶۸۸
۱۰	Doosan	۷۵،۹۳۲

منبع: مرجع شماره ۱۲

به دلیل مشکلات ناشی از به دست آوردن نام سازندگان تامین کننده ممبران برای پروژه‌ها، رتبه‌بندی سازندگان ممبران با ابهام روبه‌روست. برای ۴۰ درصد ظرفیت تاسیسات، نام سازندگان ممبران شناخته شده نیست و بدین دلیل هیچ رتبه بندی کوتاه‌مدتی نیز امکانپذیر نیست همچنین آشکار است که برای ۶۰ درصد باقیمانده نیز طبقه بندی مطمئنی وجود ندارد.

طبق مدارک موجود شرکت هیدروناتیکس[1] پیشرو در تامین ممبران با یک چهارم ظرفیت نصب شده گزارش شده است و شرکتهای دوو[2] (۱۸/۵ درصد)، دوپونت[3] (۱۸/۱ درصد) و توری[4] (۹/۳ درصد) بعد از آن قرار دارند. البته اگر تنها دهه گذشته در نظر گرفته شود هیدروناتیکس هنوز بزرگترین بازار را با در اختیار داشتن تقریبا ۲۸/۷ درصد داراست و بعد از آن شرکتهای دوو (۲۵/۱ درصد) و توری (۷/۵ درصد) قرار دارند.

1. Hydranautics 2. Dow 3. Dupont 4. Toray

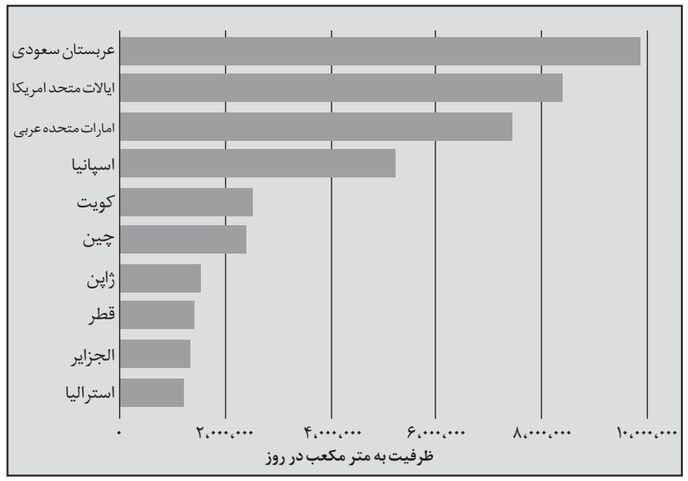
در دیاگرام شماره ۳-۱۵ نام ۱۰ کشور برتر دارای کارخانه های نمک زدایی برحسب کل ظرفیت نصب شده از سال ۱۹۴۵ ارائه شده است. همچنین در دیاگرام‌های شماره ۳-۱۶ و ۳-۱۷ دسته‌بندی کشورها براساس صنعت نمک‌زدایی ممبرانی و گرمایی ارائه شده است.

به طور تاریخی بزرگترین بازار تاسیسات نمک‌زدایی آب لب شور در ایالات متحد امریکا واقع است بازاری که به آهستگی در حال رشد است. و نیز بزرگترین بازار تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا در منطقه خلیج فارس است که رشد آن به شدت تحت تاثیر قیمت نفت است. رشد چشمگیر در بازار نمک‌زدایی از سال ۲۰۰۳ با تغییر در محل جغرافیای تاسیسات نمک‌زدایی آغاز شد. در حالی که منطقه خلیج فارس مرکز ثقل این بازار است، برنامه‌های تاسیسات در ظرفیت های بالای کشورهای استرالیا و الجزایر بسیار درخور توجه است.

براساس تعداد قراردادهای پیشبینی شده برای تاسیسات نمک زدایی کشور اسپانیا باعث ارتقای رتبه این کشور به جایگاه سوم در ظرفیت های اخیر تحت قرارداد منعقده شده است در حالی که کشور امریکا علیرغم داشتن بیشترین میزان ظرفیت اجرا شده به دلیل طولانی شدن فرایند مجوز اجرای پروژه ها بعد از اسپانیا قرار گرفته است.

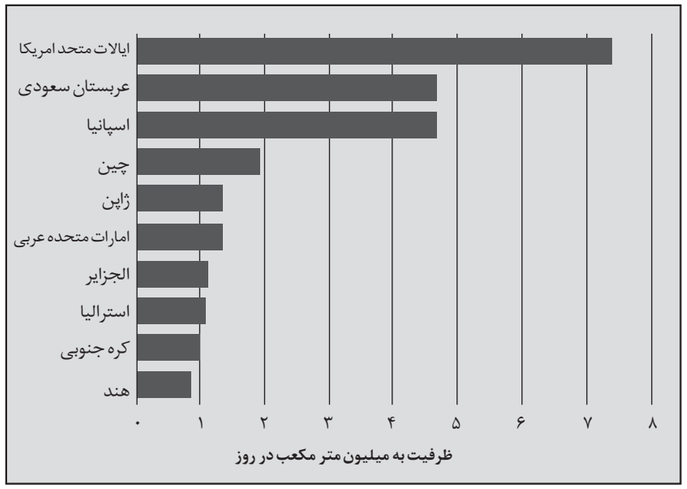
دیاگرام شماره ۳-۱۵

نام ۱۰ کشور برتر کارخانه‌های نمک زدایی برحسب کل ظرفیت نصب شده از سال ۱۹۴۵



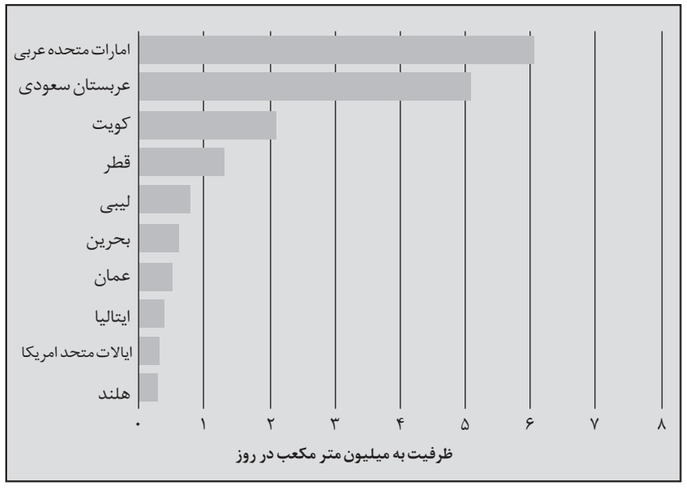
دیاگرام شماره ۳-۱۶

نام ۱۰ کشور برتر برحسب کل ظرفیت نصب شده با استفاده از تکنولوژی ممبران از سال ۱۹۴۵



دیاگرام شماره ۳-۱۷

نام ۱۰ کشور برتر برحسب کل ظرفیت نصب شده با استفاده از تکنولوژی گرمایی از سال ۱۹۴۵



در جدول شماره ۳-۶ نام ۱۰ کشور برتر از نظر ظرفیت تحت قرارداد منعقد شده از سال ۲۰۰۳ ارائه شده است. مطابق جدول شماره ۳-۶ کشور عربستان بالاترین رتبه را از این نظر داشته و پس از آن کشورهای امارات متحده عربی و اسپانیا قرار دارد.

جدول شماره ۳-۶

نام ۱۰ کشور برتر از نظر ظرفیت تحت قرارداد منعقد شده از سال ۲۰۰۳

ردیف	شرکت	ظرفیت برحسب قرارداد منعقده از سال ۲۰۰۰ (متر مکعب در روز)
۱	عربستان سعودی	۴،۱۲۰،۲۷۲
۲	امارات متحده عربی	۴،۱۱۵،۸۲۶
۳	اسپانیا	۳،۱۸۴،۷۰۲
۴	ایالات متحد امریکا	۲،۵۹۴،۴۲۵
۵	چین	۲،۳۸۶،۶۳۸
۶	الجزایر	۲،۲۱۶،۲۳۲
۷	استرالیا	۱،۶۵۱،۷۰۴
۸	قطر	۹۹۰،۲۰۷
۹	هند	۹۱۵،۲۰۳
۱۰	اسرائیل	۸۳۰،۵۶۹

منبع: مرجع شماره ۱۲

جدول شماره ۳-۷

افزایش ظرفیت جهانی تاسیسات نمک‌زدایی برحسب مترمکعب در روز از سال ۱۹۸۰ سال به سال

سال	سالانه جهانی قرارداد منعقد شده ظرفیت جدید	مجموع ظرفیت جهانی بر مبنای قرارداد منعقدشده	ظرفیت سالانه جدید جهانی بهره برداری	مجموع جهانی ظرفیت بهره برداری	درصد افزایش سالانه مجموع جهانی ظرفیت بهره‌برداری
۱۹۸۰	۸۶۹،۴۸۸	۸،۰۵۶،۵۴۳	۹۵۷،۳۳۳	۵،۰۷۶،۲۹۸	-
۱۹۸۱	۱،۰۸۹،۱۴۷	۹،۱۴۵،۶۹۰	۵۰۹،۱۸۰	۵،۵۸۵،۴۷۸	۱۰
۱۹۸۲	۷۵۲،۳۰۳	۹،۸۹۷،۹۹۳	۱،۰۹۰،۷۸۰	۶،۶۷۶،۲۵۸	۱۹/۵
۱۹۸۳	۸۷۶،۱۹۲	۱۰،۷۷۴،۱۸۵	۱،۴۰۸،۱۴۳	۸،۰۸۴،۴۰۱	۲۱/۱
۱۹۸۴	۴۷۷،۷۳۲	۱۱،۲۵۱،۹۱۷	۱،۰۱۱،۶۸۱	۹،۰۹۶،۰۸۲	۱۲/۵
۱۹۸۵	۱،۲۹۴،۲۶۴	۱۲،۵۴۶،۱۸۱	۱،۱۱۳،۷۶۲	۱۰،۲۰۹،۸۴۴	۱۲/۳

ادامه جدول شماره ۳-۷: **افزایش ظرفیت جهانی تاسیسات نمک‌زدایی برحسب مترمکعب در روز از سال ۱۹۸۰ سال به سال**

سال	سالانه جهانی قرارداد منعقد شده ظرفیت جدید	مجموع ظرفیت جهانی بر مبنای قرارداد منعقد شده	ظرفیت سالانه جدید جهانی بهره برداری	مجموع جهانی ظرفیت بهره برداری	درصد افزایش سالانه مجموع جهانی ظرفیت بهره برداری
۱۹۸۶	۷۲۶،۵۴۸	۱۳،۲۷۲،۷۲۹	۹۱۹،۸۱۷	۱۱،۱۲۹،۶۶۱	۹
۱۹۸۷	۳۵۸،۱۲۴	۱۳،۶۳۰،۸۵۳	۷۴۹،۰۷۴	۱۱،۸۷۸،۷۳۵	۶/۷
۱۹۸۸	۵۱۲،۸۹۴	۱۴،۱۴۳،۷۴۷	۱،۲۴۸،۲۷۷	۱۳،۱۲۷،۰۱۲	۱۰/۵
۱۹۸۹	۷۵۴،۱۷۷	۱۴،۸۹۷،۹۲۴	۷۷۶،۱۶۲	۱۳،۹۰۳،۱۷۴	۵/۹
۱۹۹۰	۹۵۹،۸۸۱	۱۵،۸۵۷،۸۰۵	۸۹۷،۴۰۹	۱۴،۸۰۰،۵۸۳	۶/۵
۱۹۹۱	۹۶۴،۸۴۸	۱۶،۸۲۲،۶۵۳	۶۱۹،۲۵۳	۱۵،۴۱۹،۸۳۶	۴/۲
۱۹۹۲	۱،۲۹۱،۵۶۱	۱۸،۱۱۴،۲۱۴	۹۹۸،۸۴۵	۱۶،۴۱۸،۶۸۱	۶/۵
۱۹۹۳	۱،۹۴۱،۵۵۶	۲۰،۰۵۵،۷۷۰	۸۴۷،۳۸۲	۱۷،۲۶۶،۰۶۳	۵/۲
۱۹۹۴	۸۲۷،۹۸۸	۲۰،۸۸۳،۷۵۸	۹۵۱،۴۹۸	۱۸،۲۱۷،۵۶۱	۵/۵
۱۹۹۵	۱،۰۹۴،۰۴۸	۲۱،۹۷۷،۸۰۶	۱،۰۲۲،۹۷۷	۱۹،۲۴۰،۵۳۸	۵/۶
۱۹۹۶	۱،۲۷۴،۰۹۲	۲۳،۲۵۱،۸۹۷	۱،۵۰۱،۶۴۵	۲۰،۷۴۲،۱۸۳	۷/۸
۱۹۹۷	۱،۴۱۷،۰۹۲	۲۴،۶۶۸،۹۸۹	۱،۶۷۲،۴۳۲	۲۲،۴۱۴،۶۱۴	۸/۱
۱۹۹۸	۱،۵۷۷،۲۹۲	۲۶،۲۴۶،۲۸۱	۱،۵۱۶،۴۲۳	۲۳،۹۳۱،۰۳۷	۶/۸
۱۹۹۹	۱،۷۶۸،۲۳۴	۲۸،۰۱۴،۵۱۵	۱،۱۶۸،۲۸۱	۲۵،۰۹۹،۳۱۸	۴/۹
۲۰۰۰	۲،۵۹۴،۲۳۸	۳۰،۶۰۸،۷۵۲	۱،۶۰۴،۱۱۹	۲۶،۷۰۳،۴۳۷	۶/۴
۲۰۰۱	۳،۰۱۴،۳۹۸	۳۳،۶۲۳،۱۵۰	۱،۷۸۵،۰۳۰	۲۸،۴۸۸،۴۶۶	۶/۷
۲۰۰۲	۲،۲۵۳،۳۶۵	۳۵،۸۷۶،۵۱۵	۳،۱۵۷،۹۱۹	۳۱،۶۴۶،۳۸۵	۱۱/۱
۲۰۰۳	۳،۶۷۴،۰۴۲	۳۹،۵۵۰،۵۵۷	۲،۱۲۶،۶۴۹	۳۳،۷۷۳،۰۳۴	۶/۷
۲۰۰۴	۲،۸۰۶،۸۳۴	۴۲،۳۵۷،۳۹۱	۳،۵۳۴،۶۲۸	۳۷،۳۰۷،۶۶۲	۱۰/۵
۲۰۰۵	۵،۰۱۸،۹۸۶	۴۷،۳۷۶،۳۷۷	۲،۵۸۰،۹۴۳	۳۹،۸۸۸،۶۰۵	۶/۹
۲۰۰۶	۴،۹۳۴،۵۸۲	۵۲،۳۱۰،۹۵۹	۳،۱۹۱،۹۱۶	۴۳،۰۸۰،۵۲۰	۸
۲۰۰۷	۷،۶۴۴،۴۱۴	۵۹،۹۵۵،۳۷۳	۴،۶۷۹،۰۴۵	۴۷،۷۵۹،۵۶۶	۱۰/۸
۲۰۰۸	۵۲،۳۳،۳۲۹	۶۵،۱۸۸،۷۰۲	۵،۵۷۰،۴۱۹	۵۳،۳۲۹،۹۸۴	۱۱/۷
۲۰۰۹	۳،۲۶۹،۵۴۴	۶۸،۴۵۸،۲۴۶	۶،۵۵۳،۶۰۰	۵۹،۸۸۳،۵۸۵	۱۲/۳

منبع: مرجع شماره ۱۲

اطلاعات سال ۲۰۰۹ تنها مربوط به ۶ ماهه اول سال است.

با توجه به جدول شماره ۳-۷ و نگاهی به مجموع جهانی ظرفیت بهره برداری سال ۲۰۰۹ و مقایسه با سال ۱۹۸۰ ارقام نشان می دهد که ظرفیت تولید ۱۱ برابر شده است که نشان دهنده ۱۱۰۰ درصد افزایش تولید است.

بازار آینده نمک‌زدایی

بازار نمک‌زدایی در آینده تحت تاثیر رقابت بین فرایندهای متفاوت تصفیه آب قرار خواهد گرفت. که این رقابت بین نمک‌زدایی آبهای دریا و لب‌شور با تصفیه آبهای متعارف بیشتر است که با بدتر شدن کیفیت آبها و پیشرفت آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و چاهها و نیز بهره‌برداری بیش از حد از این منابع آشکار خواهد بود. این امر در مورد کشورهایی که در مناطق خشک واقعند و با افزایش جمعیت و صنعتی شدن شدید روبه‌رو هستند، چشمگیرتر است. لذا رقابت بین فرایندها سخت تحت تاثیر هزینه آب است. هزینه آبی که به وسیلهٔ تاسیسات بزرگ نمک‌زدایی آب دریا تهیه می‌شود در حدود ۰/۸ دلار بر متر مکعب (طویله و فجیره در امارات متحده عربی) است که این هزینه، برای کشورهای عربی حوزه خلیج فارس بسیار به صرفه و پایین است.

هزینه آب تولیدی از واحدهایی با اندازه مشابه (چندین هزار متر مکعب در روز) در سایر نقاط دنیا، بویژه در کشورهای صنعتی، ممکن است پایینتر باشد، بویژه اگر گرمای هدر رفته نیروگاهی هم در دسترس باشد. در کشورهای پیشرفته قیمتهای آب حتی ممکن است در حدود قیمتهای آب تولیدی از واحدهای تصفیه متعارف باشد. به علاوه برای توسعه فرایندهای نمک‌زدایی آب دریا توسعه فناوری های جدید محتمل است. برای مثال در آینده سطوح تبادل حرارت در واحدهای گرمایی بسیار ارزانتر می‌شود بدلیل اینکه می توان با توسعه تکنولوژی، انرژی هدر رفته را کاهش داد و یا با زیاد کردن شمار مرحله‌ها، اختلاف فشار بین فازها را پایینتر آورد.

مورد دیگر فرایندهای پیش‌تصفیه آب دریاست که با به کارگیری سیستم‌های ممبرانی میکروفیلتر و اولترافیلتر و همچنین فرایندهای خاص در ارتباط با واحدهای اسمز معکوس، می‌تواند بهینه گردد. این بدان معنی است که نمک‌زدایی آب دریا در بسیاری از مناطق جایگزین سایر تکنولوژی‌های تولید آب خواهد شد. در واقع اکنون توافقهای گسترده‌ای برای درنظر گرفتن اسمز معکوس به عنوان بهترین تکنولوژی نمک‌زدایی در دسترس وجود دارد (البته در صورت

تولید همزمان برق و آب فرایندهای گرمایی تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای و تقطیر چندمرحله‌ای از نقطه نظر فنی - اقتصادی بهترین گزینه ها هستند) که به دلیل مزایای خاص زیر در محدوده وسیعی از موقعیت‌ها و شرایط به کار برده می‌شوند: بازدهی انرژی، مقبولیت هزینه تمام شده آب، انعطاف راهبری با میزان بالای دسترسی، اثرات زیست محیطی کمتر و ....

البته معایب اولیه اسمز معکوس در کارایی و هزینه سرمایه‌گذاری آن بوده که در حال حاضر به دلیل پیشرفت‌های مستمر در زمینه خصوصیات فنی و قیمت ممبران بسیار کمتر شده است که این روند کاهش هزینه‌ها با پیشرفتهای احتمالی و نوید بخش در مواد ساخت ممبران‌های جدید، ابزار بازیافت انرژی و فرایندهای پیش تصفیه پیشرفته مانند کاربرد فرایندهای غشایی ترکیبی ادامه خواهد داشت.

بازار آینده نمک‌زدایی اساسا تحت تاثیر دو مورد است:

- هزینه‌های آب تولیدی در تاسیسات نمک‌زدایی.
- اثرات تخریب محیط زیست.

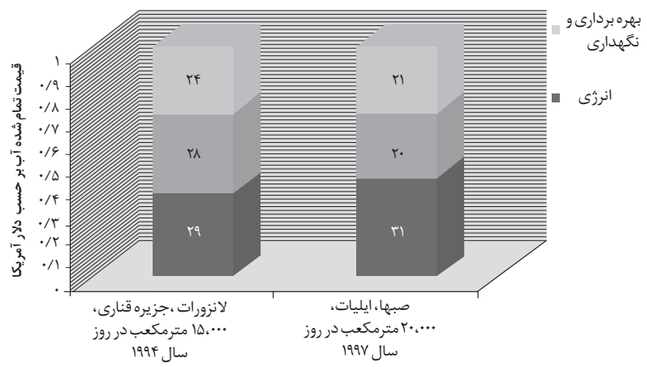
در سال‌های اخیر هزینه‌های تولید آب نمک‌زدایی به طور چشمگیری کاهش یافته است و پیشبینی می‌شود که در آینده هم این روند ادامه خواهد داشت که به توسعه فرایندهای جدید و طراحی‌های آینده بستگی خواهد داشت.

مطالعه موردی تاسیسات نمک‌زدایی در جهان

در اواخر دهه ۱۹۹۰ و در شروع هزاره سوم نصب تاسیسات بزرگ نمک زدایی در امریکا، قبرس، اسرائیل و سایر نقاط جهان تحت مدیریت پروژه ساخت، مالکیت، بهره برداری و در نهایت ساخت، مالکیت، بهره برداری و انتقال بر اساس روشهای بین المللی مناقصات شروع گردید. و منجر به کمترین قیمت واقعی تمام شده آب در اسرائیل و اسپانیا شد. قیمت تمام شده آب در تاسیسات لانزاروت۳ در جزایر قناری(اسپانیا)، شروع بهره برداری از سال ۱۹۹۴ بر اساس شرایط متعارف ۸۱ سنت دلار بر متر مکعب بود و قیمت تمام شده آب در تاسیسات صبها (سی) ۱۰،۰۰۰ مترمکعب در روز در ایلیات اسرائیل شروع بهره برداری ۱۹۹۷ حدود ۸۰ سنت دلار بر مترمکعب تخمین زده شد. قیمت مورد انتظار در همان تاسیسات بعد از افزایش ظرفیت به ۲۰،۰۰۰ مترمکعب در روز ۷۲ سنت دلار بر متر مکعب تخمین زده می شود. تقسیم بندی هزینه این تاسیسات در دیاگرام شماره ۳-۱۸ نشان داده شده است.

دیاگرام شماره ۳-۱۸

قیمت تمام شده آب تولیدی از اسمز معکوس آب دریا در دو پروژه در حال بهره برداری - دهه ۹۰- با فرضیات :
بهره ۱۰درصد، هزینه برق ۵ سنت دلار بر کیلووات ساعت و عمر ممبران ۵ سال



به‌دلیل پیشرفت‌های شگرف در تکنولوژی بویژه در تکنولوژی اسمزمعکوس آب دریا و شرایط مالی مناسب مانند نرخ های پایین بهره و در مواردی استفاده از پتانسیل‌های خصوصی‌سازی بدون مالیات و رقابت‌ها باعث کاهش شدید قیمت‌ها گردید که می‌توان به تاسیسات نمک‌زدایی اسمز معکوس آب دریا به قیمت ۴۵ سنت دلار بر متر مکعب برای ظرفیت حدود ۹۵،۰۰۰ مترمکعب در روز در ساحل غربی فلوریدا خلیج تامپا[1] و تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا در اشکلون اسرائیل به قیمت ۵۲ سنت دلار بر متر مکعب برای ظرفیت ۵۰ میلیون مترمکعب در سال اشاره نمود. تقسیم بندی قیمت تمام شده آب برای تاسیسات اسمز معکوس اشکلون به ظرفیت ۵۰ میلیون مترمکعب در سال در دسترس نمی باشد اما بر اساس ارزیابی هزینه های تاسیساتی به همان ظرفیت و نیز هزینه سرمایه گذاری ویژه ۸۰۰ دلار بر مترمکعب در روز تقسیم‌بندی هزینه ذیل (بر حسب سنت دلار بر متر مکعب) حاصل می گردد.

- کل هزینه سرمایه گذاری(۱۰ درصد نرخ ثابت بهره): ۲۴/۲
- انرژی (۵ سنت بر مترمکعب و میزان برق ۳/۷ کیلووات ساعت بر متر مکعب): ۱۸/۵
- راهبری و نگهداری:

۱. البته به دلیل مشکلات متعدد و ورشکستگی ۳ شرکت مسئول در زمان راه اندازی نرخ آب به ۵۵ سنت دلار بر متر مکعب رسید و در سال ۲۰۰۶ با بازسازی مجدد تاسیسات قیمت تمام شده آب به ۸۴ سنت دلار بر مترمکعب آب تولیدی رسیده است.

- تثبیت آب و کاهش بر: ۸
- مجموع (سنت دلار بر مترمکعب): ۶۳/۶

کاهش قیمت به ۵۲ سنت دلار بر مترمکعب بیشتر به علت کاهش قیمت برق تامینی از ایستگاههای برق یکپارچه و منابع مالی مطلوب پروژه است.

از دیگر مناقصات خصوصی سازی جدید در منطقه خاورمیانه می توان به تاسیسات اسمز معکوس آب دریا به ظرفیت حدود ۸۰،۰۰۰ مترمکعب در روز برای تامین آب آشامیدنی ۳۵۰،۰۰۰ نفر جمعیت ساکن منطقه شرقیه کشور پادشاهی عمان در اواخر سال ۲۰۰۶ اشاره کرد. وزارت اقتصاد ملی کشور پادشاهی عمان طی یک مناقصه بین المللی قرارداد ۲۲ سال راهبری این تاسیسات را به شرکت وولیا[1] به همراه شریک عمانی این شرکت، گروه سهیل بهوان به قیمت آب ۱/۳۵ یورو بر متر مکعب واگذار کرد.

در جدول شماره ۳-۸ قیمت آب استحصالی از برخی تاسیسات نمک زدایی آب دریا در جهان براساس روش‌های خصوصی سازی بی او او/ بی او تی ارائه شده است.

لازم به یاداوری است که برای در نظر گرفتن قیمت‌های حاصل از پروژه‌های خصوصی‌سازی بی او او/ بی او تی دانستن تمام جوانب پروژه ضروری است. برای مثال قیمت برق مصرفی در پروژه طویله حدود ۲ سنت دلار بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است که این امر باعث کاهش قیمت آب استحصالی شده است. در پروژه تاسیسات نمک زدایی آب دریا در اشکلون که فاز اولش در سال ۲۰۰۱ وارد مدار بهره‌برداری شد به دلیل در نظر گرفتن مدل مالی خاص قیمت تمام شده آب در مقایسه با سایر پروژه‌های خصوصی‌سازی بسیار کمتر برآورد شد. در حالی که قیمت آب استحصالی این تاسیسات پس از بهینه‌سازی در سال ۲۰۰۸ حدود ۷۸ سنت دلار برآورد می‌شود. قیمت آب استحصالی تاسیسات نمک‌زدایی خلیج تامپا فلوریدا پس از بازسازی در سال ۲۰۰۶ از ۵۵ سنت دلار بر مترمکعب به ۸۴ سنت دلار بر مترمکعب افزایش یافته است. در پروژه‌های تولید آب متعارف از آب دریا عمدتا قیمت تمام شده آب در تاسیسات بزرگ اسمزمعکوس به شرح زیر محاسبه می‌شود:

- انرژی (برحسب ۷ سنت دلار بر کیلووات ساعت): ۳۶ درصد
- مواد شیمیایی: ۱۲ درصد

1. Veolia

جدول شماره ۳-۸: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در جهان**

نام تاسیسات	تاریخ راه اندازی	قیمت آب (دلار بر مترمکعب)	ظرفیت (مترمکعب در روز)	فرایند
سانتا باربارا - کالیفرنیا	۱۹۹۱	۱/۲۲	۲۵،۳۶۰	SWRO
باهاماس	۱۹۹۶	۱/۲۸	۹،۸۴۰	SWRO
دهکلیا - قبرس	۱۹۹۷	۱/۱۹	۴۰،۰۰۰	SWRO
لارناکا- قبرس	۱۹۹۹	۰/۷۶	۵۴،۰۰۰	SWRO
طویله C - امارات(تخمین)	۲۰۰۰	۰/۷۲	۳۲۵،۰۰۰	SWRO
اشکلون - اسرائیل	۲۰۰۱	۰/۵۲	۳۲۶،۱۴۴	SWRO
طویله A1 - امارات	۲۰۰۱	۰/۷۰	۲۳۶،۱۸۵	MED
کربونراس - اسپانیا	۲۰۰۲	۰/۵۷	۱۲۰،۰۰۰	SWRO
پوینت لیساس - ترینیدا	۲۰۰۲	۰/۷۱	۱۱۹،۰۰۰	SWRO
تواس - سنگاپور	۲۰۰۳	۰/۴۸	۱۳۶،۳۶۰	SWRO
تامپا بای - فلوریدا	۲۰۰۴	۰/۵۵	۹۵،۰۰۰	SWRO
آرزیو - الجزایر	۲۰۰۵	۰/۹۰	۸۶،۰۰۰	SWRO
بنی صف - الجزایر	۲۰۰۵	۰/۷۰	۱۵۰،۰۰۰	SWRO
کپ دجینت - الجزایر	۲۰۰۵	۰/۷۳	۱۰۰،۰۰۰	SWRO
دعا عودا - الجزایر	۲۰۰۵	۰/۷۵	۱۲۰،۰۰۰	SWRO
فوکوکا - ژاپن	۲۰۰۵	۱/۸۴	۵۰،۰۰۰	SWRO
همام - الجزایر	۲۰۰۵	۰/۸۲	۲۰۰،۰۰۰	SWRO
لس انجلس - کالیفرنیا (تخمین)	۲۰۰۵	۰/۸۲	۹۴،۶۲۵	SWRO
پالماچیم - اسرائیل	۲۰۰۵	۰/۷۸	۱۱۰،۰۰۰	SWRO
پالایشگاه ریلاینس - هند	۲۰۰۵	۱/۵۳	۱۴،۴۰۰	MED
شعیبه ۳ - عربستان	۲۰۰۵	۰/۵۷	۸۸۱،۱۵۰	MSF
اسکیکدا - الجزایر	۲۰۰۵	۰/۷۴	۱۰۰،۰۰۰	SWRO
وست بیسین - کالیفرنیا (تخمین)	۲۰۰۵	۰/۶۴	۳۷،۸۵۰	SWRO
بلوهیلز - باهاماس	۲۰۰۶	۱/۳۰	۲۷،۲۵۰	SWRO
مرافیق - عربستان	۲۰۰۶	۰/۸۳	۷۵۸،۵۱۶	MED

منبع: مرجع شماره ۱۲

ادامه جدول شماره ۳-۸: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در جهان**

نام تاسیسات	تاریخ راه اندازی	قیمت آب (دلار بر مترمکعب)	ظرفیت (مترمکعب در روز)	فرایند
پرت ـ استرالیا	۲۰۰۶	۰/۷۵	۱۴۳،۷۰۰	SWRO
شوقیق ـ عربستان	۲۰۰۶	۱/۰۳	۲۱۳،۴۷۵	SWRO
تامپابای ـ فلوریدا (بازسازی)	۲۰۰۶	۰/۸۴	۹۵،۰۰۰	SWRO
کارلزباد ـ کالیفرنیا (تخمین)	۲۰۰۷	۰/۷۷	۱۸۹،۲۵۰	SWRO
چن نایی ـ هند	۲۰۰۷	۱/۱۰	۱۰۰،۰۰۰	SWRO
دهکلیا ـ قبرس (بازسازی)	۲۰۰۷	۰/۸۸	۴۰،۰۰۰	SWRO
فجیره۲ ـ امارات	۲۰۰۷	۰/۸۵	۵۹۰،۰۰۰	Hybrid
گلد کاست ـ استرالیا	۲۰۰۷	۱/۰۹	۱۳۳،۰۰۰	SWRO
هادرا ـ اسرائیل	۲۰۰۷	۰/۶۰	۳۳۰،۰۰۰	SWRO
مالتا (مختلف، متوسط)	۲۰۰۷	۰/۷۲	۲۰،۰۰۰	SWRO
سور ـ عمان	۲۰۰۷	۱/۲۰	۸۰،۲۰۰	SWRO
تیان جین ـ چین	۲۰۰۷	۰/۹۵	۱۵۰،۰۰۰	SWRO
اددور ـ بحرین	۲۰۰۸	۰/۹۳	۲۱۸،۰۰۰	SWRO
اشکلون ـ اسرائیل (بهینه)	۲۰۰۸	۰/۷۸	۳۲۶،۱۴۴	SWRO
الطرف ـ الجزایر (مناقصه)	۲۰۰۸	۰/۸۹	۵۰،۰۰۰	SWRO
هادرا ـ اسرائیل (بهینه)	۲۰۰۸	۰/۸۶	۳۳۰،۰۰۰	SWRO
هیدد ـ امارات	۲۰۰۸	۰/۶۹	۴۰۰،۰۰۰	MSF
جده بارج	۲۰۰۸	۲/۲۷	۵۲،۰۰۰	SWRO
مکتا ـ الجزایر (مناقصه)	۲۰۰۸	۰/۵۶	۵۰۰،۰۰۰	SWRO
اود سبت ـ الجزایر	۲۰۰۸	۰/۶۸	۱۰۰،۰۰۰	SWRO
پالماچیم ـ اسرائیل (بهینه)	۲۰۰۸	۰/۸۶	۸۳،۲۷۰	SWRO
رس آزور ـ عربستان (مناقصه)	۲۰۰۸	۱/۰۹	۱،۰۰۰،۰۰۰	Hybrid
رس لافانB	۲۰۰۸	۰/۸۰	۲۷۲،۵۲۰	MSF
شوویحت ۲ ـ ابوظبی	۲۰۰۸	۱/۱۳	۴۵۴،۶۱۰	MSF
تانتون ـ ماساچوست	۲۰۰۸	۱/۵۳	۱۸،۹۲۵	SWRO
تینس ـ الجزایر	۲۰۰۸	۰/۵۹	۲۰۰،۰۰۰	SWRO
توس ـ سنگاپور (بهینه)	۲۰۰۸	۰/۵۷	۱۳۶،۳۶۰	SWRO

منبع: مرجع شماره ۱۲

- نگهداری: ۶ درصد
- نیروی انسانی: ۴ درصد
- ممبران (عمر مفید ۵ سال): ۴ درصد
- فیلترهای کارتریج: ۱ درصد

در پایان، یادآوری می‌شود که مقایسه قیمت تمام شده طرح‌های مختلف، دستاورد مطلوبی ندارد زیرا بسیاری از هزینه‌ها و یارانه‌ها به دلایل مختلف در محاسبه‌ها نشان داده نمی‌شود و لذا برای هر طرح ویژه محاسبه‌ها باید بر مبنای داده های خاص انجام گیرد.

وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی در ایران

در دیاگرام شماره۳-۱۹ تاسیسات نمک زدایی در منطقه خاورمیانه در سال ۲۰۰۴ نشان داده شده است. در جدول شماره۳-۹ وضعیت نمک زدایی آب در ایران برحسب مکان، ظرفیت، تعداد واحد، نوع فرایند (تبخیری یا غشایی)، کیفیت آب (آب دریا یا آب لب شور)، مصرف‌کننده (شهری، صنعتی و نظامی)، سال ساخت، سال بهره برداری و تامین کننده تجهیزات (براساس اطلاعات انجمن بین المللی نمک‌زدایی) ارائه شده است.

همان‌طور که بیان شد در هزاره سوم جایگاه تکنولوژی نمک‌زدایی بویژه تکنولوژی اسمز معکوس به صورت وسیعی در محافل مدیریتی و کارشناسی تامین منابع آب کشورها دیده می‌شود که کشور ما ایران نیز از این قاعده مستثنی نخواهد بود.

دیاگرام شماره ۳-۱۹ تاسیسات نمک زدایی در منطقه خاورمیانه

جدول شماره ۳-۹: وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۱	بندر بوشهر	۱۰۰	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۷۴	۱۹۷۵	KRUPP DE
۲	بندر بوشهر	۱۱۳	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۷۳	۱۹۷۵	PWT PORTALS GB
۳	بندر بوشهر	۱۱۳	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۷۳	۱۹۷۵	PWT PORTALS GB
۴	بندر بوشهر	۱۲۰	۱	الکترودیالیز	آب لب شور	صنعتی	۱۹۶۳	۱۹۶۴	PWT PORTALS GB
۵	بندر بوشهر	۱۲۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	نیروگاه	۱۹۸۵	۱۹۸۵	PWT PORTALS GB
۶	تهران	۱۲۱	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	PWT PORTALS GB
۷	نکا	۱۲۵	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۸۱	۱۹۸۲	SERCK COMO DE
۸	ایران	۱۴۴	۱	-	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۱	۱۹۹۳	EBNER DE
۹	یزد	۱۴۵	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۳	۱۹۹۵	BALCKE DUERR DE
۱۰	خلیج فارس	۲۰۰	۱	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IDE IL
۱۱	اهواز	۲۱۵	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۶	۱۹۶۸	KRUPP DE
۱۲	ایران	۲۸۰	۲	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۳	۱۹۷۵	PWT PORTALS GB
۱۳	ایران	۳۰۰	۱	اسمز معکوس	آب دریا	صنعتی	۱۹۸۴	۱۹۸۴	DOW DANMARK DK
۱۴	آبادان	۳۲۵	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۴۹	۱۹۵۱	WEIR TECHNA GB
۱۵	ایرانشهر	۳۲۵	۱	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۱	۱۹۹۴	BALCKE DUERR DE
۱۶	جزیره لاوان	۳۷۸	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	AQUA CHEM US
۱۷	جزیره لنگه	۳۷۸	۲	الکترودیالیز	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IONICS US
۱۸	بندر عباس	۴۱۶	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	نظامی	۱۹۷۱	۱۹۷۳	MANUFACTURER A
۱۹	خلیج فارس	۴۹۸	۲	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IDE IL

ادامه جدول شماره ۳-۹: وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۲۰	خلیج فارس	۴۹۸	۲	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IDE IL
۲۱	خلیج فارس	۴۹۸	۲	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IDE IL
۲۲	خلیج فارس	۴۹۸	۲	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	IDE IL
۲۳	خلیج فارس	۴۹۸	۲	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۶	۱۹۷۷	IDE IL
۲۴	جزیره هرمز	۵۰۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۷۳	۱۹۷۴	KRUPP DE
۲۵	جزیره لاوان	۵۲۸	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۲	۱۹۷۳	AQUA CHEM US
۲۶	ایران	۷۲۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۸۷	۱۹۸۸	HAGER ELS?SS DE
۲۷	جزیره لاوان	۷۵۶	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۹	۱۹۷۰	AQUA CHEM US
۲۸	خرمشهر	۸۴۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۷۴	۱۹۷۵	HUBERT STAVO NL
۲۹	خلیج فارس	۹۰۰	۳	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۶۹	۱۹۷۰	IDE IL
۳۰	خلیج فارس	۹۹۵	۵	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۱	۱۹۷۲	IDE IL
۳۱	خلیج فارس	۹۹۶	۴	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IDE IL
۳۲	خلیج فارس	۹۹۸	۲	تراکم بخار	آب دریا	شهری	۱۹۷۶	۱۹۷۷	IDE IL
۳۳	ایران	۱۰۰۰	۱	الکترودیالیز	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۸	۱۹۷۹	IONICS US
۳۴	ایران	۱۰۰۰	۱	الکترودیالی	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۹	۱۹۸۰	IONICS US
۳۵	ایران	۱۰۰۰	۲	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۸۳	۱۹۸۴	KRUPP DE
۳۶	بندر بوشهر	۱۰۰۰	۲	تراکم بخار	آب دریا	نیروگاه	۱۹۷۸	۱۹۸۵	LURGI DE
۳۷	جزیره خارک	۱۰۰۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	نظامی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	KRUPP DE
۳۸	ایران	۱۱۵۱	۱	الکترودیالیز	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۹	۱۹۸۰	IONICS US

ادامه جدول شماره ۳-۹: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران**

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۳۹	ایران	۱۱۵۱	۱	الکترودیالیز	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۹	۱۹۸۰	IONICS US
۴۰	سیری	۱۲۰۲	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	AQUA CHEM US
۴۱	خلیج فارس	۱۲۴۵	۵	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	IDE IL
۴۲	خلیج فارس	۱۲۴۵	۵	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	IDE IL
۴۳	بندر عباس	۱۳۵۰	۳	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۸	۱۹۷۹	TERMOMECCANI IT
۴۴	ایرانشهر	۱۴۴۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۸۳	۱۹۸۴	KRUPP DE
۴۵	خلیج فارس	۱۴۹۴	۶	تراکم بخار	آب دریا	نظامی	۱۹۷۲	۱۹۷۳	IDE IL
۴۶	خلیج فارس	۱۴۹۴	۶	تقطیر چندمرحله ای	آب دریا	نظامی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	IDE IL
۴۷	جزیره خارک	۱۵۰۰	۳	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	نظامی	۱۹۷۳	۱۹۷۴	KRUPP DE
۴۸	خلیج فارس	۱۷۹۶	۴	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	IDE IL
۴۹	بندر عباس	۲۲۵۰	۵	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۷	TERMOMECCANI IT
۵۰	بندر عباس	۲۲۵۰	۵	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۷	۱۹۷۸	TERMOMECCANI IT
۵۱	قم	۲۴۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۲۰۰۱	۲۰۰۱	VEOLIA BEKOX ES
۵۲	چابهار	۲۵۰۰	۵	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	شهری	۱۹۸۳	۱۹۸۵	KRUPP DE
۵۳	بندر عباس	۳۰۰۰	۶	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	نظامی	۱۹۷۳	۱۹۷۵	KRUPP DE
۵۴	بندر بوشهر	۳۰۰۰	۶	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	نظامی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	KRUPP DE
۵۵	جزیره خارک	۴۰۰۰	۲	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۲	۱۹۹۳	WEIR TECHNA GB
۵۶	بندر بوشهر	۴۰۰۰	۸	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	شهری	۱۹۷۳	۱۹۷۵	KRUPP DE
۵۷	تبریز	۷۰۹۶	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۸	WATER PUR US

ادامه جدول شماره ۳-۹: **وضعیت تاسیسات نمک زدایی آب در ایران**

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۵۸	ایران	۱۵۰۰۰	۳	الکترودیالیز	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۲	۱۹۹۴	IONICS US
۵۹	جزیره قشم	۱۲۰۰۰۰	۴	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۹۲	۱۹۹۵	-
۶۰	بندر بوشهر	۱۰۰	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	KRUPP DE
۶۱	بندر بوشهر	۱۰۰۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	KRUPP DE
۶۲	بندر بوشهر	۱۰۰۰	۲	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۸	۱۹۷۹	SASAKURA JP
۶۳	بندر بوشهر	۲۴۰۰	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	نیروگاه	۱۹۷۵	۱۹۷۶	LURGI DE
۶۴	بندر بوشهر	۱۰۰۰۰۰	۳	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۸۵	۱۹۸۹	MHI/SASAKURA
۶۵	جزیره خارک	۳۷۸	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۹	۱۹۷۰	AQUA CHEM US
۶۶	جزیره خارک	۹۴۶	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	AQUA CHEM US
۶۷	جزیره خارک	۲۲۷۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	AQUA CHEM US
۶۸	تهران	۲۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۷	SASAKURA JP
۶۹	جزیره خارک	۲۵۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۶	۱۹۶۸	SASAKURA JP
۷۰	ایران	۲۸۰۰	۳	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۶	۱۹۹۶	CULLIGAN IT
۷۱	بندر امام	۳۸۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۸۳	۱۹۸۴	ORGANO JP
۷۲	کیش	۹۶۱۰	۵	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۷۳	۱۹۷۴	IDE IL
۷۳	تهران	۲۷۱	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۷	VEOLIA USA
۷۴	تهران	۲۵۲	۲	-	آب لب شور	نیروگاه	۱۹۶۶	۱۹۶۷	AQUA CHEM US
۷۵	ایران	۲۳۰	۲	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۸۵	۱۹۸۶	PWT PORTALS GB
۷۶	ایران	۱۳۵۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۶	BIWATER GB

ادامه جدول شماره ۳-۹: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران**

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۷۷	کیش	۳۰۰۰	۱	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۱۹۹۷	۱۹۹۸	ZENON CA
۷۸	کیش	۳۰۰۰	۱	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۱۹۹۷	۱۹۹۸	WEIR TECHNA GB
۷۹	زاهدان	۵۷۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۴	۱۹۷۵	VEOLIA USA
۸۰	کیش	۹۰۸۴	۲	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۱۹۹۹	-	MWD ZA
۸۱	بندر عباس	۳۰۰	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۴	۱۹۷۶	HUBERT STAVO NL
۸۲	ایران	۴۵۰	۱	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۲۰۰۳	۲۰۰۳	VEOLIA BEKOX ES
۸۳	ایران	۲۴۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۲۰۰۳	۲۰۰۳	VEOLIA BEKOX ES
۸۴	بید بلند	۵۷۹	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۸	۱۹۶۹	AITON GB
۸۵	ماهشهر	۲۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۸۳	۱۹۸۴	NIPPON RENSU JP
۸۶	بندر امام	۱۵۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۸۳	۱۹۸۴	ORGANO JP
۸۷	تبریز	۸۶۵	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۸۶	۱۹۸۶	OSMOTEC DE
۸۸	تهران	۱۲۴	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	VEOLIA USA
۸۹	تهران	۱۵۱	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۷	VEOLIA USA
۹۰	تهران	۲۶۴	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	VEOLIA USA
۹۱	تبریز	۸۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۸۰	۱۹۸۱	HUBERT STAVO NL
۹۲	اهواز	۵۴۵	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۸	VEOLIA USA
۹۳	خارک	۱۱۳۴	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۵۹	۱۹۶۰	WEIR TECHNA GB
۹۴	خارک	۱۱۳۵	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۶۵	۱۹۶۶	WEIR TECHNA GB
۹۵	ایران	۵۹۸	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۶۲	۱۹۶۳	WEIR TECHNA GB

ادامه جدول شماره ۳-۹: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران**

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۹۶	کاشان	۴۹۲	۳	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۵۸	۱۹۵۹	AITON GB
۹۷	خارک	۸۸۵	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۸	۱۹۶۹	MITSUBISHI JP
۹۸	خارک	۹۰۵	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۸	۱۹۶۹	SASAKURA JP
۹۹	بندرعباس	۳۰۰۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۷	۱۹۷۹	HUBERT STAVO NL
۱۰۰	پارس جنوبی	۶۰۰۰	۳	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۲۰۰۰	۲۰۰۲	ALFA LAVAL DK
۱۰۱	بندرعباس	۳۰۰۰	۳	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۸۵	۱۹۸۶	KRUPP DE
۱۰۲	ایران	۱۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۸۵	۱۹۸۵	PWT PORTALS GB
۱۰۳	تهران	۴۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۸۹	۱۹۹۰	METITO GROUP AE
۱۰۴	ایران	۲۸۰	۲	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۱۹۸۵	۱۹۸۵	PWT PORTALS GB
۱۰۵	عسلویه	۳۷۵۰۰	۵	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۲۰۰۲	۲۰۰۴	VEOLIA SIDEM FR
۱۰۶	کیش	۵۰۰۰	۵	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۱۹۹۹	۲۰۰۱	WTD IT
۱۰۷	بندر امام	۹۳۶۰۰	۱۰	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۲۰۰۰	۲۰۰۲	VATECH WABAG
۱۰۸	لاوان	۴۸۰	۲	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۸۴	۱۹۸۴	SASAKURA JP
۱۰۹	ایران	۷۲۰	۲	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۰	۱۹۹۰	UNIHA AT
۱۱۰	پارس جنوبی	۵۴۰۰	۳	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۲۰۰۳	۲۰۰۵	SASAKURA JP
۱۱۱	بندرعباس	۱۸۰۰۰	۳	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۰	۱۹۹۴	SNAM PROGETT IT
۱۱۲	آبادان	۳۷۸	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۶۶	۱۹۶۸	AQUA CHEM US
۱۱۳	خارک	۵۵۴۴	۳	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۶	۱۹۹۸	VEOLIA SIDEM FR

ادامه جدول شماره ۳-۹: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران**

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۱۱۴	اصفهان	۱۷۴	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۶	CONTI WATER US
۱۱۵	بندرعباس	۱۵۰۰	۳	تراکم بخار	آب دریا	شهری	۱۹۸۳	۱۹۸۴	VEOLIA SIDEM FR
۱۱۶	ایران	۲۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۲۰۰۱	۲۰۰۱	VEOLIA BEKOX ES
۱۱۷	لاوان	۱۲۳۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۲	۱۹۹۲	-
۱۱۸	کنارک	۳۱۲۰۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	شهری	۱۹۸۵	۱۹۹۱	FISIA IT
۱۱۹	بندرعباس	۸۴۰	۱	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۸۵	۱۹۸۶	HUBERT STAVO NL
۱۲۰	ایران	۸۸۰۰	۴	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۲۰۰۳	۲۰۰۴	VEOLIA BEKOX ES
۱۲۱	بندرعباس	۵۰۰۰	۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	آب دریا	نیروگاه	۱۹۷۶	۱۹۷۸	ANSALDO IT
۱۲۲	ایران	۳۰۰	۱	اسمز معکوس	آب دریا	صنعتی	۲۰۰۳	۲۰۰۴	ACE WATER JP
۱۲۳	ایران	۳۰۰	۱	اسمز معکوس	آب دریا	صنعتی	۲۰۰۳	۲۰۰۴	ACE WATER JP
۱۲۴	ایران	۹۱۰	۱	الکترودیالیز	آب لب شور	شهری	۱۹۶۷	۱۹۶۸	PWT PORTALS GB
۱۲۵	قم	۶۹۹۸	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۵	۱۹۷۷	VEOLIA USA
۱۲۶	پارس جنوبی	۳۹۰۰	۳	تراکم بخار	آب دریا	صنعتی	۱۹۹۹	۲۰۰۱	VEOLIA SIDEM FR
۱۲۷	تبریز	۲۴۰۰۰	۴	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۴	۱۹۹۶	ONDEO FR
۱۲۸	قم	۱۵۰۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۴	۱۹۹۶	IDRECO IT
۱۲۹	تبریز	۲۸۷۶	۲	اسمز معکوس	آب لب شور	نیروگاه	۱۹۷۹	۱۹۸۰	ONDEO FR
۱۳۰	سیری	۱۲۰	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۸۰	۱۹۸۱	SERCK COMO DE
۱۳۱	ایران	۲۲۵	۱	تقطیر چندمرحله‌ای	آب دریا	صنعتی	۱۹۷۱	۱۹۷۳	ENVIROGENICS US

ادامه جدول شماره ۳-۹: **وضعیت تاسیسات نمک‌زدایی آب در ایران**

ردیف	مکان	ظرفیت کل (مترمکعب در روز)	تعداد واحد	نوع فرایند	کیفیت آب	مصرف کننده	سال ساخت	سال بهره‌برداری	تامین کننده واحد
۱۳۲	اصفهان	۱۳۲	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۶	۱۹۷۷	CONTI WATER US
۱۳۳	اصفهان	۱۵۱	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۷	۱۹۷۸	WSA US
۱۳۴	ایران	۲۴۰	۱	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۷۹	۱۹۸۰	HUBERT STAVO NL
۱۳۵	هرمز	۱۰۰۰	۲	تقطیر چندمرحله ای	آب دریا	شهری	۱۹۸۴	۱۹۸۵	SASAKURA JP
۱۳۶	هرمز	۷۵۰۰	۵	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	آب دریا	شهری	۱۹۸۷	۱۹۸۸	SASAKURA JP
۱۳۷	بندر امام	۱۰۳۲	۴	اسمز معکوس	آب لب شور	صنعتی	۱۹۹۳	۱۹۹۵	ONDEO FR
۱۳۸	عسلویه	۱۰۰۰۰	۵	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۲۰۰۴	۲۰۰۴	Linde-NVCO
۱۳۹	عسلویه	۱۰۰۰۰	۵	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۲۰۰۴	۲۰۰۸	BONAB
۱۴۰	جزیره قشم	۵۰۰۰	۳	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۲۰۰۵	۲۰۰۷	WTD- SHASTA
۱۴۱	بندر لنگه	۱۰۰۰۰	۵	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۲۰۰۶	۲۰۰۸	Saze Sazan-Utico
۱۴۲	هندیجان	۶۰۰۰	۳	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۲۰۰۷	۲۰۰۸	NVCO-Axiom
۱۴۳	خرمشهر	۱۰۰۰۰	۵	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۲۰۰۶	۲۰۰۸	Saze Sazan-Utico
۱۴۴	چابهار	۱۵۰۰۰	۶	اسمز معکوس	آب دریا	شهری	۲۰۰۹	-	NVCO-Axiom
۱۴۵	آبادان	۱۰۰۰۰	۵	اسمز معکوس	آب لب شور	شهری	۲۰۰۶	۲۰۰۸	Saze Sazan-Utico
۱۴۶	کیش	۴۰۰۰	۱	تقطیر چندمرحله ای	آب دریا	شهری	۲۰۰۸	۲۰۰۹	Farazar Ab
۱۴۷	کیش	۲۵۰۰	۱	تقطیر چندمرحله ای	آب دریا	شهری	۲۰۱۰	۲۰۱۱	Farazar Ab

فصل چهارم تکنولوژی‌های نمک‌زدایی

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- فرایندهای ممبرانی
- انتخاب ممبران
- معادله‌های صنعت اسمزمعکوس
- تاسیسات نمک‌زدایی با ممبران
- نگرانیهای ناشی از ناخالصی‌های آب در تاسیسات ممبرانی
- طراحی ممبران
- توجهات در امر بازیافت
- انرژی
- فلاکس
- دما
- ترتیب قرارگیری عنصرهای اسمزمعکوس
- تاسیسات اسمزمعکوس و کنترل درصد بازیافت
- الکترودیالیز
- میکروفیلترها و اولترافیلترها
- تاسیسات هیبرید
- فرایندهای نمک‌زدایی حرارتی
- پیش تصفیه
- تصفیه نهایی در تاسیسات نمک‌زدایی

مقدمه

رشد جمعیت در بیشتر کشورها ضرورتا با رشد کشاورزی، صنعت و شهرنشینی برای ایجاد رفاه جامعه همراه است. کشور ما هم با روند نرخ رشد فعلی حدود ۱/۵ درصد در سال، در طی سال‌های ۱۴۲۰ دارای جمعیتی بیش از ۱۱۰ میلیون نفر خواهد بود که در این کتاب رقم ۱۰۰ میلیون نفر ملاک بررسیها قرار گرفته است.

حال با در نظر گرفتن حداقل آب مورد نیاز خام سرانه برای توسعه همه جانبه پایدار حدود ۲۰۰۰ مترمکعب، کشور نیاز به ۲۰۰ میلیارد مترمکعب آب در سال خواهد داشت که گویای کمبود آب است. در فصل اول پتانسیل آب کشور و امیدها و چالش‌های آن به اجمال مطرح شد و نتیجه‌گیری شد که طرح‌های صرفه‌جویی در مصرف و جستجو برای منابع آب دیگر باید در کشور پیگیری شود. ضروری است از منابع آب شور خلیج فارس و دریای مازندران و منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی لب شور کشور با استفاده از تکنولوژی‌های نمک‌زدایی برای تامین آب لازم بهره‌گیری شود. چنانکه طبق مطالب فصل سوم، کشور ما در زمان حال هم در حال استفاده از این صنعت است. مشکل مهم در استفاده از این صنعت، قیمت تمام شده آن است که آن‌هم رو به کاهش است. لذا، صرف‌نظر از قیمت آب، سخن از کمبود منابع آب با اما و اگرهایی روبه‌روست.

تکنولوژی‌هایی که در این صنعت مراحل تکامل خود را طی کرده‌اند و امروز کاربرد تجارتی دارند عبارتند از نمک‌زدایی با استفاده از ممبران‌ها[1] مانند اسمز معکوس، نانوفیلتر و الکترودیالیز و نمک‌زدایی با استفاده از انرژی حرارتی مانند تقطیر چند مرحله‌ای[2]، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای[3]، تراکم بخار آب[4] و ترکیب آن‌ها با هم.

فرایندهای ممبرانی

در شرایط فعلی از انواع ممبران‌های تجارتی چهار تکنولوژی توسعه یافته است که عبارتند از:

---

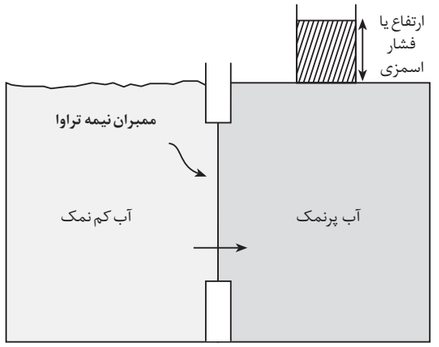
۱. گرچه در ادبیات این دانش برای کلمه ممبران غشاء که یک کلمه عربی است آورده شده، اما تعریف ممبران بیشتر از معنی غشاء است. زیرا به طور کلی چند لایه با مشخصات متفاوت این ممبران را تشکیل می‌دهند لذا در کتاب از کلمه ممبران استفاده می‌شود که با این صنعت ارتباط دارد و عبارت از یک پرده نمیه تراوا است.

2. Multi Effect Distillation 3. Multi Stage Flush 4. Vapour Compression

۱. اسمز معکوس
۲. نانوفیلتر
۳. اولترافیلتر
۴. میکروفیلتر

با نگاهی به دیاگرام شماره ۴-۱ می‌توان چنین اثبات کرد که اگر بین یک محلول به نسبت غلیظ آب‌نمک مانند آب دریا و یک محلول آب به نسبت کم نمک پرده نیمه تراوایی قرار گیرد، آب از طرف بخش کم نمک به طرف آب پر نمک جریان می‌یابد و ارتفاع آب در بخش پر نمک بالاتر از سطح آب بخش کم نمک به حالت تعادل در می‌آید. این اختلاف ارتفاع به نام فشار اسمزی شناخته می شود و هر قدر غلظت نمک بیشتر باشد، این فشار اسمزی بیشتر خواهد بود. پرده بین دو محلول را غشا یا ممبران نیمه‌تراوا می‌نامیم که تقریبا فقط به آب اجازه عبور می‌دهد.

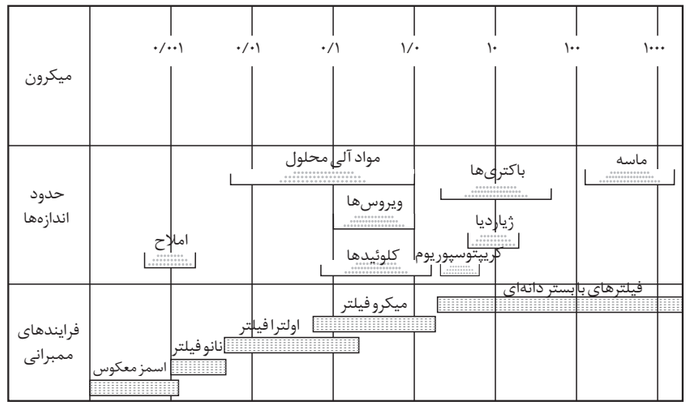
دیاگرام شماره ۴-۱
فشار اسمزی



لذا اگر فشاری روی آب نمک اعمال شود و این فشار معادل فشار اسمزی باشد مبادله آب انجام نمی‌گیرد و اگر فشار بیشتر از فشار اسمزی باشد آب بدون نمک از محیط پر نمک به طرف محیط کم و یا بی‌نمک جریان می‌یابد که عکس جریان اسمزی است و به این جهت آن را اسمز معکوس می‌نامند. از این فرایند می‌توان از آب با غلظت املاح زیاد، آب به نسبت خالص تهیه کرد که تقریباً عاری از کلوئیدها، باکتری‌ها و املاح محلول است که به غلط آب شیرین گفته می‌شود و در این کتاب از کاربرد آن خودداری می‌شود.

این فشار اسمزی برای آب دارای مجموع املاح محلول برابر ۱۰۰۰، ۱۴۵۰ و ۳۵،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب عبارت از ۰/۸، ۱/۲ و ۲۸ اتمسفر است. به طور کلی این ممبران‌ها برای آب تراوا هستند و برای مواد شیمیایی ناتراوا و در این فصل از ممبران‌هایی صحبت می‌شود که تحت فشار هیدرولیکی عمل می‌کنند و از انواعی که از اختلاف پتانسیل و حرارت بهره‌گیری می‌شود صحبتی به میان نخواهد آمد. در دیاگرام شماره ۴-۲ راهنمای کلی انتخاب ممبران در رابطه با آلاینده‌ها ارائه شده است که اولین گام در شروع مطالعات این حرفه است.

دیاگرام شماره ۴-۲
راهنمای کلی انتخاب ممبران‌ها برای تولید آب بر اساس عملکرد با فشار هیدرولیکی



مقدار جداسازی املاح و مواد معلق به اندازه روزنه‌های ممبران و کنش آن نسبت به مواد باقی‌مانده در روی آن بستگی دارد و به طور کلی هر ممبرانی که بیش از ۹۵ درصد املاح آب را دفع[1] کند ممبران اسمز معکوس نامیده می‌شود.

انتخاب ممبران

اولین گام در انتخاب فرایند نمک‌زدایی مطالعه کیفیت آب خام در دسترس و مقایسه آن با

1. Reject

کیفیت آب مورد نیاز و بررسی میزان حذف هر ناخالصی است. در این مطالعه فرایندهای پیش تصفیه و تصفیه نهایی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. به علاوه کیفیت آب خام در طول عمر مفید طرح باید شفاف و تعریف شود.

لذا به طور خلاصه محورهای این مطالعه در حد مطالعات توجیهی عبارتند از:

- کیفیت و کمیت آب خام مورد بهره‌برداری؛
- فرایندهای لازم پیش تصفیه و تصفیه نهایی؛
- کمیت و کیفیت آب تولیدی یا آب مورد نیاز و تعیین درصد اختلاط آن‌ها؛
- تصفیه و دفع نهایی پساب حاصل شده؛
- استفاده از نتایج عملیات پیلوت؛
- آنالیزهای اقتصادی لازم؛

ممبران‌های مورد استفاده در صنعت نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس و نانوفیلتر، سلولزی و یا غیرسلولزی هستند. ممبران‌های سلولزی شامل استات سلولز[1]، مخلوط با استات سلولز[2]، تری‌استات سلولز[3] و انواع غیر سلولزی عبارت از پلی‌آمیدها[4]، پلی‌اوره[5]، پلی‌سولفون[6]، پلی‌فورا سولفونه[7]، پلی‌پیرازید[8] و مشتقات پلی وینیل الکل[9] و سایر ترکیبات هستند.

جنس ممبران‌های مورد استفاده برای میکروفیلترها و اولترافیلترها عبارتند از: فلورایدپلی‌وینیل[10]، پلی پروپیلن[11]، پلی‌اترسولفون[12]، پلی‌سولفون[13] و پلی‌اکریل نیتریل[14].

متداولترین ممبران‌های مورد استفاده برای تولید آب شرب عبارت از المان فیبرهای ظریف توخالی[15] و یا المان صفحات پیچیده[16] است که در دیاگرام های شماره ۴-۳ و ۴-۴ نشان داده شده‌اند. نوع دیگر آن لوله‌ای[17] است.

ضخامت واقعی لایه فعال در ممبران های نیمه تراوا بسیار کم بوده و جزئیات اطلاعات آن در اختیار سازندگان است و از همان مواد ذکر شده در بالا برای ساخت لایه نگهدارنده نیز

1. Cellulose Acetate
2. Cellulose Acetate Blend
3. Cellulose Triacetate
4. Polyamides
5. Polyurea
6. Polysulfone
7. Sulfonated Polyfura
8. Poly Peperazide
9. Polyvinyle Alcohol Derivatives
10. Polyvinylien Fluoride
11. Polypropylene
12. Polyetter Sulfone
13. Poly Sulfone
14. Poly Acryl Nitrile
15. Hollow Fine Fiberelements-Thin Hollow Fiber
16. Spiral Wound Element
17. Tubular

استفاده می‌شود. در ممبران‌های مرکب در زیر ممبران اصلی دو لایه نگهدارنده پیشبینی می‌شود که فشار هیدرولیکی را تحمل کند. به هرحال ضخامت نوع متقارن آن حدود ۱۰۰ میکرون است. لیکن لایه بالایی با ضخامت ۰/۱-۰/۲ میکرون بوده و روزنه‌های آن کوچکتر از ۰/۰۰۱ میکرون طبق دیاگرام شماره ۴-۲ است.

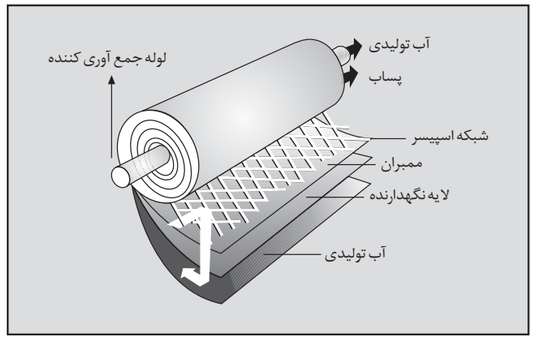
بیشتر سازندگان نوع صفحات پیچیده[1] مدعی هستند که این نوع ممبران استعداد گرفتگی کمتری نسبت به نوع فیبرهای توخالی دارد، بهتر تمیز می‌شود و در نتیجه تولید آب مستمرتری دارد. گرچه گزارشهای تحقیقاتی تائیدکننده آن در دست نویسندگان این کتاب نبوده است و برعکس سازندگان فیبرهای توخالی هم مدعی این امتیاز هستند.

صفحات پیچیده بیشتر برای تولید آب شرب به کار برده می‌شود. نوع فیبرهای توخالی که از پلی‌آمیدها ساخته می‌شود در طیف وسیعتری از پی اچ عمل می‌کنند و به وسیلهٔ اسید و باز مورد شستشو قرار می‌گیرند.

قطر خارجی این فیبرها ۸۵-۱۰۰ میکرومتر و قطر داخلی آنها در حدود ۴۲ میکرومتر است. صدها هزار از این فیبرها به صورت دولا شکل در داخل استوانه‌ای معمولاً از جنس مصالح ضدزنگ قرار می‌گیرند. برای مثال در المان چهار اینچی شرکت دوپون[2] با نام تجارتی بی-۱۵ حدود ۶۵۰،۰۰۰ فیبر قرار می‌گیرد که طول آن‌ها حدود ۳/۲۸ متر و دارای ۱۳۹ متر مربع سطح عبور آب است. انتهای باز آن‌ها به وسیلهٔ ترکیب اپوکسی آب‌بندی می‌شود و حال آب از طریق یک صفحه پخش کننده وارد استوانه فشار[3] شده و در سرتاسر استوانه، به طور موازی از روی سطوح خارجی فیبرها می‌گذرد. دیواره‌های این فیبرهای توخالی همان ممبران نیمه تراوا هستند و لذا آب به نسبت خالص در داخل فضای خالی الیاف جریان می‌یابد و از طریق تجهیزات انتهای استوانه فشار خارج می‌شود و آب نمک غلیظ هم به نام پساب از انتهای استوانه به بیرون رانده می‌شود. بازیافت آب از این المان‌ها حدود ۱۰-۵۰ درصد است و به نسبت بیشتر از صفحات پیچیده شده است. سرعت شعاعی آب در روی الیاف ۰/۰۳- ۰/۳ متر در ثانیه بوده و عدد رینولدز بین ۵۰-۱۰۰ است. این سرعت آرام باعث بروز گرفتگی ناشی از رسوب مواد معلق و ترکیبات شیمیایی می‌شود.

1.Spiral
2. Dowpont
3. Pressure Vessele (PV)

دیاگرام شماره ۴-۳
ساختمان یک المان ممبران پیچیده یا اسپیرال



ممبران‌های پیچیده

این ممبران‌ها صفحه‌های ساده‌ای هستند که بین آن‌ها صفحه‌های دارای فضاهای خالی برای جریان آب به نام اسپیسر[1] قرار می‌گیرد. به یک مجموعه از الیاف و یا یک بسته از صفحات پیچیده یک المان[2] گفته می‌شود و معمولاً ۶ و یا ۷ المان در یک استوانه فشار قرار می‌گیرد و هر المان به طور مستقل کار نمک‌زدایی را انجام می‌دهد.

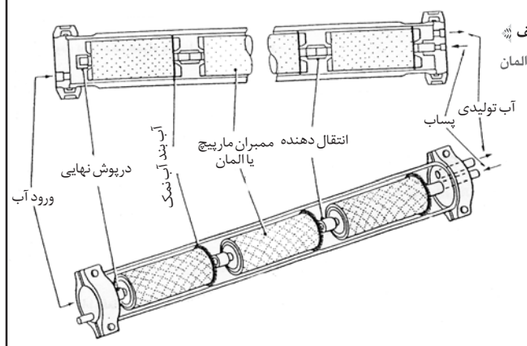
هر المان حداقل از یک صفحه و یا چندین صفحه تشکیل شده است که از سه طرف به کمک چسب مخصوص آب‌بندی شده و به دور یک لوله مرکزی جمع‌آوری کننده آب پیچیده می‌شود که در دیاگرام شماره ۴-۴ نشان داده شده است. آب خام با فشار در روی صفحه‌ها جریان می‌یابد و آب خالص از ممبران عبور کرده وارد فضای ایجاد شده به وسیلهٔ اسپیسرها می‌شود که تنها راه باز ممکن برای جریان آب به طرف لوله مرکزی جمع‌آوری کننده است. چون حرکت آب به صورت مارپیچ انجام می‌گیرد صفحات را مارپیچ هم می‌نامند. آب باقیمانده پس از عبور از المان اول وارد المان دوم می‌شود. یک مدول ۱/۲ متری فیلمتک[3] با شماره ان اف ۷۰ دارای سطحی برابر ۸/۳۳ متر مربع است. اما به دلیل چسباندن انتهای آن، طول جریان آب حدود ۰/۹۱ متر و سطح آبدهی حدود ۶/۴ مترمربع است.

1. Spacer 2. Element 3. Film-tec NF70

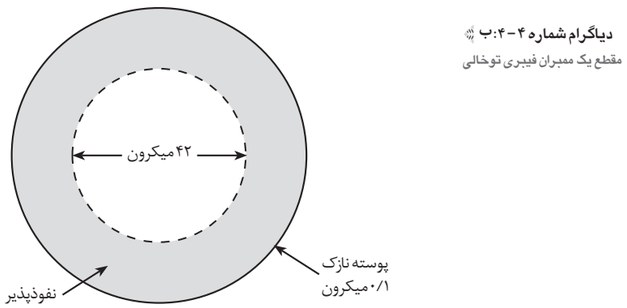
درصد بازیافت آب در این المان‌ها ۵-۱۵ درصد است و حداکثر میزان جریان آب خام در یک المان ۱/۲ متری تقریبا ۳/۶۳ مترمکعب در ساعت است. نوع جریان در این نوع المان‌ها ناآرام یا آشفته[1] است لذا هم نرخ گرفتگی ممکن است کمتر باشد و هم شستشوی آن‌ها بهتر انجام می‌گیرد.

مشاهده شد که ممبران‌ها از پلیمرهای مختلفی ساخته می‌شوند و برای ساخت ممبران‌های اسمز معکوس و نانوفیلتر از پلیمرهای آبدوست استفاده می‌شود که البته برای اولترافیلترها و میکرو فیلترها این مسئله مهم نیست و به همین جهت دو نوع اخیر نسبت به عوامل فیزیکی و شیمیایی مقاوم‌ترند.

دیاگرام شماره ۴-۴:الف
یک استوانه فشار با سه المان



دیاگرام شماره ۴-۴:ب
مقطع یک ممبران فیبری توخالی



1. Turbulent

این ممبران‌ها باید دارای خواص زیر باشند:

۱. قدرت خوب دفع نمک همراه با میزان بالای فلاکس[1] (شار)؛

۲. توانایی تشکیل راهبند نازک ولی مقاوم در مقابل فشار آب مانند ممبران‌های فیبری متقارن؛

۳. توانایی ساخت با تناسب بالای نسبت سطح به حجم مانند فیبرهای توخالی و ممبران‌های نازک؛

۴. دارای طیف وسیع عملکرد یعنی عملکرد مناسب در محدوده وسیع تغییر غلظت املاح آب خام، تغییر فشار هیدرولیکی و تغییر دما؛

۵. عمر مفید طولانی؛

۶. مقاومت در مقابل ترکیبهای شیمیایی؛

۷. مقاومت در مقابل فعالیت‌های بیولوژیکی؛

۸. قیمت پایین.

توجه شود که سطح موثر عبور آب در مدول‌های صفحه‌ای پیچیده و فیبرهای توخالی به ترتیب عبارت از ۱،۰۰۰ و ۱۶،۵۰۰ متر مربع برای هر مترمکعب حجم مواد است و این امتیاز خوب فیبرهای توخالی محسوب می شود.

از آنجا که برای عبور آب از ممبران‌های اسمز معکوس فشار هیدرولیکی زیادی باید به روی ممبران اعمال شود، لذا ممبران باید دارای الاستیسیته و چسبندگی کافی باشد و دلیل انتخاب مواد پلیمری گفته شده، نیز همین خاصیت است.

برای مثال ممبران مورد استفاده برای نمک‌زدایی آب دریا با غلظت املاح حدود ۳۵،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در بازیافت ۳۵ درصد و در یک مرحله عبور، باید بتواند حدود ۹۹ درصد املاح آب[2] را دفع کند و در این شرایط با فشار اسمزی حدود ۲۸ اتمسفر، در مقابل فشار هیدرولیکی لازم حداقل ۴۵ اتمسفر مقاومت داشته باشد. ساخت ممبران مناسب اسمز معکوس از نوع نامنظم[3] و یا جدار نازک[4] است. نوع نامنظم که از جنس استات سلولز است از سال ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفته است و ضخامت آن در حدود ۱۰۰ میکرون است که در روی آن یک لایه فشرده ۰/۲ میکرونی و در زیر آن لایه نگهدارنده قرار دارد.

1. Flux 2. Reject 3. Asymmetrical 4. Thin Film Composit

این ممبران سلولزی می تواند غلظت کم کلر در حدود ۰/۱ - ۰/۵ میلی گرم در لیتر را در شرایط دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت زیاد تحمل کند که در بخش‌های دیگر اهمیت آن مورد بحث قرار خواهد گرفت. اما اگر در خارج محدوده پی اچ ۴-۶/۵ واقع شود در خطر تجزیه قرار خواهد گرفت. به علاوه نسبت به دمای آب مشکل دارد و تحت تاثیر باکتری‌ها دچار تجزیه می‌شود. ممبران‌های ساخته شده از ترکیب تری استات سلولز و استات سلولز دارای تحمل بیشتری هستند. تحقیقات شرکت دوپون به این نتیجه رسیده است که پلی‌آمید مناسبتر از استات سلولز است و المان‌های این نوع ممبران‌ها در محدوده وسیعتری از پی اچ ۴-۹ عمل می‌کنند.

پلی‌آمیدها به کلر باقیمانده در آب حساسیت دارند اما نرخ تجزیه شدن آن‌ها در اثر کلر آزاد بستگی به پی اچ آب دارد. به طوری که فلاکس آن می تواند با سرعت کاهش یابد. به علاوه ممبران‌های پلی آمید از نظر دما هم دارای محدودیت هستند و به مرور زمان دچار فشردگی[1] شده و فلاکس آنها کاهش می‌یابد.

امروزه در بازار این حرفه، ممبران های با جدار نازک فراوان است که نمونه آن ممبران اف. تی. ۳۰[2] شرکت فیلمتک است که ماده اصلی آن آمید است. لذا نسبت به کلر حساسیت دارد اما نسبت به دفع املاح دارای عملکرد عالی است به علاوه دارای لایه حفاظتی بسیار فشرده و فلاکس مطلوبی است. در این تکنولوژی، ساخت ممبران ویژه برای کاربردهای خاص میسر است.

ممبران‌های با جدار نازک دارای بافتی هستند که فشار و دماهای بالا را تحمل می‌کنند. طبقه بندی ممبران‌ها بر مبنای میزان دفع املاح و یا اندازه روزنه‌های آن‌هاست. این طبقه‌بندی در خصوص ممبران‌هایی با جدار نازک صحیح نیست زیرا ممبران‌های به کار برده شده برای اسمز معکوس و نانوفیلتر اصولاً روزنه ندارد و آب و املاح با فرایندهای انتشار[3] و انتقال[4] از ممبران عبور می‌کند.

ممبران‌های مورد استفاده برای اسمز معکوس ذرات تا حدود یک ده هزارم میکرومتر را دفع می‌کنند که اندازه یون مولکول‌های املاح است. عبور آب از این ممبران‌ها بر مبنای فرایند انتشار است در حالی که اولترافیلترها و میکروفیلترها دارای قدرت دفع ذرات به اندازه ۰/۰۱-۰/۱

1.Compaction 2. F T 30 Filmtec 3. Diffusion 4. Convection

میکرومتر هستند که در محدوده اندازه کلوئیدها، باکتری‌ها یا میکروب‌ها و مواد معلق دیگر است لذا براساس فرایند غربال کردن و نه فرایند انتشار، عمل می‌کنند. جریان عبور آب از تمام این فیلترها با اعمال فشار هیدولیکی آب و بر طبق قانون دارسی است.

در جدول شماره ۴-۱ کلیات بحث‌های فوق به طور اجمال نشان داده شده است. در محیط آب، یون‌ها در نتیجه اثرات نیروهای الکترواستاتیک، لایه‌هایی از آب را دور خود جذب

جدول شماره ۴-۱: کاربرد فرایندهای ممبرانی

نوع ممبران	کاربرد
اسمز معکوس و الکترودیالیز اندازه روزنه‌های ممبران اسمز معکوس کمتر از ۱ نانومتر است که می‌توان گفت ممبران روزنه ندارد.	• نمک‌زدایی آب دریا • نمک‌زدایی آب‌های لب شور • حذف یون‌های معدنی مانند: فلوراید، کلسیم، منیزیم، نیترات‌ها، نیتریت‌ها، آمونیوم، فسفات‌ها، هسته‌های رادیو اکتیو (فقط اسمز معکوس) • مواد آلی محلول (فقط اسمز معکوس) تری‌هالومتان‌ها و پیش‌سازهای آن • حشره‌کش‌ها، ترکیبات سنتتیک و رنگ
نانوفیلتر با اندازه روزنه‌های کوچکتر از ۱ نانومتر	• حذف سختی و به طور کلی عناصر دو ظرفیتی • حذف مواد آلی محلول • تری‌هالومتان‌ها و پیش‌سازهای آن • حشره کش‌ها و میکرو ارگانیسم‌ها • رنگ و کلوئیدها
اولترافیلتر و میکروفیلتر با اندازه روزنه‌های به ترتیب ۲۰-۱۰،۰۰۰ نانومتر	• حذف ذرات دانه‌ای • حذف ذرات معلق • حذف کلوئیدها • حذف کدورت • حذف باکتری‌ها • حذف ویروس‌ها به وسیله اولترافیلتر • حذف ویروس‌های متصل به ذرات درشت • کیست پروتوزواها • حذف سختی - فسفات‌ها • حذف عناصر فلزی مانند آهن، منگنز، آرسنیک

می‌کنند. در شرایط محیطی که یون‌ها دارای غلظت زیاد نیستند با افزایش دمای آب، قوه یون برای جذب لایه‌های آب بیشتر شده و در نتیجه ظرفیت عبور آن از ممبران کمتر می‌شود و برعکس در شرایطی که غلظت املاح بیشتر باشد قطر ذره با لایه‌های آب جذب کرده کوچکتر می‌شود زیرا نیروی الکترواستاتیک ذره کاهش می‌یابد و لذا ذره کوچکتر بوده و شانس عبور آن از ممبران افزایش می‌یابد.

معمولا ویژگیهای انتخاب ممبران اسمز معکوس به شرح زیر است:

- یون‌های چند ظرفیتی بیش از یون‌های یک ظرفیتی به وسیله ممبران دفع می‌شوند؛
- گازهای دارای بار الکتریکی آسانتر از ممبران عبور می‌کنند؛
- قدرت دفع ممبران در مورد اسیدهای ضعیف معدنی و اسیدهای آلی بسته به میزان پی اچ آب است؛
- در یک محیط کاملاً یکنواخت از نظر غلظت با افزایش وزن مولکولی، دفع آن بیشتر است؛
- با افزایش شاخه‌های ترکیب ایزومری دفع آن‌ها بیشتر است؛
- ترکیبات با وزن مولکولی بیش از ۱۰۰ دالتون، صرف نظر از بار الکتریکی دفع می‌شوند.

تقریبا همهٔ املاح و ترکیبهای شیمیایی مورد بحث ما در زمینه آب شور در سه طیف اندازه قرار می‌گیرند که عبارتند از: اندازه‌های یونی در محدوده ۰/۰۰۰۱ - ۰/۰۱ میکرومتر، مولکول‌های بزرگ در محدوده ۰/۰۱ - ۱ میکرومتر و ذرات ریز در محدوده ۱- ۱۰۰ میکرومتر. گرچه این گروه‌بندی دقیق نیست، لیکن ارتباط آن‌ها با انواع ممبران‌های مورد استفاده در صنعت تصفیه آب معنیدار است. بسیاری از ذرات معلق مرده و زنده که برای مبارزه با آنها از گندزداها استفاده می‌شود و در اندازه‌های ۰/۰۰۳-۱۰ میکرومتر قرار دارند و نیز ذرات با اندازه‌های ۰/۰۴-۳۰ میکرومتر قابل حذف هستند. البته کاربردشان براساس شرایط اقتصادی باید توجیه پذیر باشد. اما ممبران‌های اسمز معکوس و نانو علاوه بر حذف آن ذرات به ترتیب ذرات با اندازه‌های ۰/۰۰۰۵-۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۰۷-۰/۰۱ میکرومتر را نیز دفع می‌کنند.

در انتخاب ممبران نانو و اسمز معکوس جدول شماره ۴-۲ را می‌توان به کار برد. امروزه کارخانه‌هایی توانایی ساخت المانهایی با قطر و طول‌های بیشتر را دارند و در نتیجه در استوانه‌های فشار تعداد بسیار کمتری المان نصب می‌شود و برای تولید میزان آب‌های زیاد کاربرد دارند.

با توجه به آلودگی رو به رشد منابع آب های سطحی و زیرزمینی به ویروس ها، کیست ها و انواع ترکیبهای شیمیایی تولید و کاربرد ممبران ها در محدوده نانوفیلترها و اسمزمعکوس برای تولید آب شرب رو به گسترش است و حتی در فرایندهای استفاده از پساب برای تقویت منابع آب خام مورد استفاده برای شرب در شرایط خاص کاربرد یافته است.

معادله‌های صنعت اسمز معکوس

قبل از بحث درباره صنعت اسمز معکوس، اصطلاحات رایج و معادله‌های مورد استفاده از نگاه مراجع مختلف بررسی می‌شود و سپس ویژگیهای آب و خواص آن از نظر اسمز معکوس مورد توجه قرار خواهد گرفت.

جدول شماره ۴-۲: **اندازه ذرات مورد توجه در صنعت نمک زدایی**

نوع ذره	اندازه ذره بر حسب نانومتر
محلول	کوچکتر از ۱
کلوئید	۱۰۰۰-۱
ذرات معلق	بزرگتر از ۱۰۰۰
H^+	۰/۰۵۳ شامل لایه آب اطراف آن
K^+	۰/۲۵
Na^+	۰/۳۷
Ca^+	۰/۶۲
Mg^+	۰/۷
H_2O	۰/۳۳
NO_2	۰/۲۶
HCO_3^-	۰/۴۲
$SO4^{--}$	۰/۴۶
جلبک‌ها	بزرگتر از ۱۰،۰۰۰
ژیاردیا	۱۵،۰۰۰-۵۰۰۰
کیست کریپتوسپوردیوم	۵۰۰۰-۳۰۰۰
کلیفرم ها	۱۰۰۰-۱۰۰
ویروس‌ها	۳۰-۲۰

- **فشار به کار گرفته**[1]، که عبارت از فشار موثر هیدرولیکی آب خام است.
- **فشار پساب**[2] که عبارت از فشار هیدرولیکی آب نمک غلیظ خروجی از استوانه‌های فشار یا پساب است.
- **اختلاف فشار آب**[3] که عبارت از اختلاف فشار هیدرولیکی بین فشار به کار گرفته شده و فشار هیدرولیکی پساب است.
- **غلظت قطبی**[4] پدیده ای است که در آن املاح و ذرات معلق آب در لایه‌های آب نزدیک به ممبران غلظت بیشتری پیدا می‌کند که علت آن خروج آب خالص از بخش آب خام به بخش دیگر است و قدرت انتشار املاح کمتر از سرعت از دست دادن آب است که در نتیجه فشار اسمزی را افزایش می‌دهد.
- **میزان عبور آب**[5] که عبارت از میزان تولید آب بدون نمک از ممبران تحت فشار آب است که واحد آن در معادله‌ها متغیربوده و به‌صورت معادله زیر نشان داده می‌شود.

$$Q_w = K_w A_w (\Delta p - \Delta \pi)$$

که در آن:

Q_w عبارت است از میزان عبور جریان آب بر حسب مترمکعب در ثانیه که در بعضی معادله‌ها F_w نوشته می‌شود و در این کتاب کلمه خارجی فلاکس برای آن به کار می رود.

K_w عبارت است از ضریب تراوایی ممبران نسبت به آب که در کاتالوگ سازندگان و برای فشار یک اتمسفر اعلام می‌شود؛

A عبارت است از سطح ممبران؛

Δp عبارت است از فشار هیدرولیکی به کار رفته منهای افت فشار در سیستم؛

$\Delta \pi$ عبارت است از اختلاف فشار اسمزی، با توجه به تغییرفشار اسمزی در زمان‌های مختلف جریان، میانگین فشار اسمزی آب خام و فشار اسمزی پساب در هر المان مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

عبور میزان املاح آب از ممبران هم به صورت معادله زیر نوشته می‌شود:

---

1. Applied Pressure
2. Concentrate Pressure
3. Differential Pressure
4. Concentration Polarization
5. Flux

$$SP = K_S\,(C)\,\frac{A}{T}$$

که در این معادله:

SP عبارت است از عبور املاح از ممبران؛

K_S عبارت است از ضریب نفوذپذیری املاح که از خصوصیات ممبران است؛

T عبارت است از ضخامت ممبران؛

C عبارت است از اختلاف غلظت املاح در دو طرف ممبران که در صفحه‌های بعد دوباره مطرح خواهد شد.

معادله بالا نشان می‌دهد که میزان عبور جریان آب از ممبران تناسب مستقیم با اختلاف فشار هیدرولیکی دو طرف ممبران، اختلاف فشار اسمزی آب دو طرف و سطح ممبران دارد و البته با ضخامت ممبران دارای تناسب معکوس است.

◆ **فشار موثر خالص**[1] که عبارت است از نیروی موثر در اسمز معکوس و به صورت معادله زیر محاسبه می شود:

$$NDP = P_{TM} - \pi_{TM}$$

که در این معادله:

NDP عبارت است از فشار خالص موثر در کار تولید آب برحسب پوند بر اینچ مربع یا اتمسفر؛

P_{TM} عبارت است از فشار هیدرولیکی به کار رفته بر حسب پوند بر اینچ مربع یا اتمسفر؛

π_{TM} عبارت است ازمتوسط فشار اسمزی آب خام و پساب بر حسب پوند بر اینچ مربع یا اتمسفر.

◆ **فشار اسمزی**[2] که پدیده طبیعی است و عبارت از فشار به کار رفته از طرف آب با غلظت کم املاح بر آب با غلظت بیشتر املاح است. این فشار تابعی است از غلظت املاح محلول آب که قبلا مقدار آن ارائه شده است.

◆ **فشار آب تولیدی**[3] که عبارت از فشار هیدرولیکی آب به نسبت خالص تولیدی است که امروزه به غلط به نام آب شیرین معرفی شده و در این کتاب به نام آب تولیدی آورده می‌شود.

◆ **بازیافت**[4] که عبارت از حاصل تقسیم میزان آب تولید شده به آب خام ورودی به دستگاه است

1. Net Driving Pressure (NDP)
2. Osmotic pressure (π)
3. Product pressure (p_p)
4. Recovery

و به صورت معادله زیر معرفی می‌شود.

$$Y = R = \frac{Q_P}{Q_f} \times ۱۰۰$$

که در آن:

Y یا R عبارت است از درصد بازیافت؛

Q_P عبارت است از میزان آب تولید شده؛

Q_f عبارت است از میزان آب خام ورودی به دستگاه.

ضریب بازیافت نقش بسیار مهمی در محاسبه ظرفیت‌ها و مشکلات پساب دارد، چنانکه برای بازیافت‌های ۵۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد غلظت املاح آب به ترتیب ۲، ۴، ۵ و ۱۰ برابر آب خام می‌شود و ریشه مشکلات ترسیب املاح در همین فرآیند است.

◆ **عبور املاح**[1] که عبارت است از بخش کوچکی از املاح آب خام که در آب تولیدی مشاهده می‌شود که از ممبران عبور می‌کند و به صورت معادله زیر نمایش داده می‌شود

$$SP = \frac{C_P}{C_f} \times ۱۰۰$$

که در این معادله:

SP عبارت است از درصد عبور املاح؛

C_P عبارت است از غلظت املاح در آب تولیدی برحسب میلی گرم در لیتر؛

C_f عبارت است از غلظت املاح در آب خام برحسب میلی گرم در لیتر؛

با افزایش فشار هیدرولیکی آب و در نتیجه افزایش فلاکس، کیفیت آب تولیدی بهتر می‌شود زیرا با افزایش فشار هیدرولیکی عبور املاح فزونی پیدا نمی کند.

◆ **دفع املاح**[2] که در واقع بازدارندگی ممبران‌ها برای عبور املاح آب است و عبارت است از بخشی از املاح آب که در پساب باقی می‌ماند و به صورت معادله زیر نمایش داده می‌شود.

$$SR = \frac{C_f - C_P}{C_f} \times ۱۰۰ = ۱ - \frac{C_P}{C_f} \times ۱۰۰$$

و یا با توجه به معادله عبور املاح، میزان دفع املاح از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$SR = ۱۰۰ - SP$$

که در این معادله:

1. Salt Passage (SP)
2. Salt Rejection (SR)

C_p، C_f و SP قبلا معرفی شده اند و SR هم درصد دفع و یا حذف املاح است.

- فشار اسمزی موثر که عبارت است از میانگین فشار اسمزی آب خام و فشار اسمزی پساب منهای فشار اسمزی آب تولیدی که به صورت معادله زیر نوشته می‌شود.

$$\pi_{TM} = \frac{\pi_f + \pi_c}{۲} - \pi_P$$

که در آن:

π_{TM} عبارت است از فشار اسمزی موثر؛

π_f عبارت است از فشار اسمزی آب خام؛

π_c عبارت است از فشار اسمزی پساب؛

π_P عبارت است از فشار اسمزی آب تولیدی که در محاسبه‌ها به علت کوچکی در نظر گرفته نمی‌شوند.

- **فشار هیدرولیکی موثر**[1] که عبارت است از میانگین فشار هیدرولیکی آب خام و پساب منهای فشار هیدرولیکی آب تولیدی که به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$P_{TM} = \frac{P_f + P_C}{۲} - P_P$$

و در این معادله:

P_{TM} فشار موثر یا گذر بر حسب اتمسفر؛

P_f فشار هیدرولیکی آب خام برحسب اتمسفر؛

P_C فشار هیدرولیکی پساب برحسب اتمسفر؛

P_P فشار هیدرولیکی آب تولیدی که سعی می شود کمتر از یک اتمسفر حفظ و لذا نادیده گرفته می شود.

در فصل ششم محاسبه‌های لازم ارائه شده است.

تاسیسات نمک‌زدایی با ممبران

تأسیسات نمک‌زدایی ممبرانی معمولا شامل تأسیسات پیش‌تصفیه، نمک‌زدایی و تصفیه نهایی

1. Transmembrene Pressure (P_{TM})

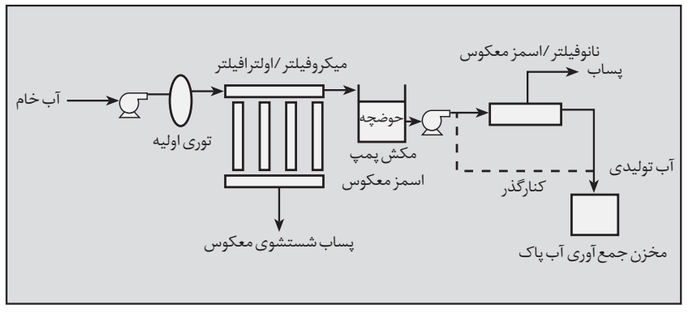
می‌شود که در مواردی شامل فراوری پساب و یا آب نمک غلیظ هم هست که به تفضیل مورد گفتگو قرار خواهد گرفت.

طراحی معمولا طوری انجام می‌گیرد که واحدهای نمک‌زدایی که محفظه و یا استوانه‌های فشار نامیده می‌شود و در آنها المان های ممبران قرار دارد به‌صورت موازی قرار گیرند تا در تولید آب انعطاف پذیری بیشتری حاصل شود و در صورت ضرورت توسعه طرح، کار با سهولت انجام پذیرد. هر دسته استوانه‌فشار که به‌صورت موازی کار نمک‌زدایی را انجام می‌دهند یک ترین[1] یا رشته نامیده می‌شود و در بعضی موارد دو واحد ترین را به‌صورت سری قرار می‌دهند که با نام ممبران دومرحله[2] شناخته می‌شود.

در دیاگرام شماره ۴-۵ نمایی از یک فیلتر ممبرانی و یک اسمز معکوس به صورت سری نشان داده شده است.

دیاگرام شماره ۴-۵

نمایی از یک سیستم ممبران دومرحله برای تصفیه آب سطحی شور



در این نوع استقرار، ترین اول میکروفیلتر و یا اولترا فیلتر است که کار پیش تصفیه را برای کار ترین اصلی که در پایین دست قرار دارد انجام می‌دهد و ترین دوم ممبران اسمز معکوس است و در شرایطی هر دو ترین ممبران اسمز معکوس است. برای آب های با املاح زیاد و مواد آلی زیاد دیاگرام شماره ۴-۵ کاربرد دارد و در صورت ضرورت می توان فرایند اختلاط و لخته سازی

1. Train

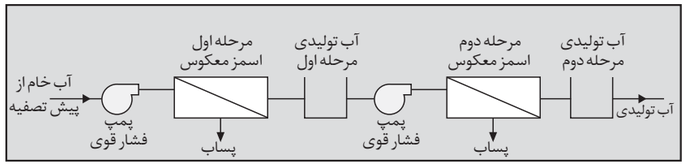
2. Dual - Membrane System

را به کمک یک منعقدکننده به سیستم اضافه کرد. لذا عملیات پیش تصفیه را میکروفیلتر انجام می دهد. و بالاخره از تکنولوژی انعقاد الکتریکی هم می توان بهره گرفت.

در سیستم دو مرحله اسمز معکوس که به صورت سری مانند دیاگرام شماره ۴-۶ نصب می‌شوند پساب واحد دوم از نظر املاح محلول بهتر از آب خام مرحله اول است و لذا به آب خام اسمز معکوس مرحله اول هدایت می‌شود تا غلظت املاح آب خام مخلوط کمتر از غلظت املاح آب خام گردد. این ترتیب برای تولید آب دیگ های بخار کاربرد دارد. در ضمن با طراحی مناسب می توان محفظه دریافت آب تولیدی مرحله اول را حذف کرد.

دیاگرام شماره ۴-۶

دو مرحله نمک زدایی به کمک اسمز معکوس



در طراحی استفاده از ممبران برای نمک زدایی باید کیفیت آب خام و دمای آب مورد توجه خاص قرار گیرد. تغییرات احتمالی کیفیت آب در طول عمر مفید پروژه بسیار مهم است و لذا باید فرایندهای لازم پیش تصفیه حال و نیاز آینده مد نظر قرار گیرد. حداقل این مطالعات برای تعیین کیفیت آب خام عبارت است از :

- دمای حداکثر، پی اچ، قلیاییت، سختی و مجموع املاح محلول؛
- کلسیم، منیزیم، پتاسیم، آهن، منگنز و سیلیس؛
- کربناتها و بی کربناتها، کدورت و مجموع مواد معلق؛
- اس دی آی[1]، تی او سی[2] و در صورت امکان ای تی پی[3] ؛

که بر اساس ارقام بالا و پس از تجزیه و تحلیل و تفسیر لازم فرایندهای پیش تصفیه تعیین می‌گردد و سپس با توجه به کیفیت آب برای تلمبه کردن به داخل استوانه‌های فشار

1. Silt Density Index (SDI)
2. Total Organic Carbon (TOC)
3. Adenosine Triphosphates (ATP)

عملیات کاهش پی اچ، افزایش بازدارنده ترسیب و حذف اکسیدکننده و غیره باید انجام گیرد. به طور کلی مراحل پیش تصفیه برای هدفهای زیر است.

- کاهش مواد معلق و مواد کلوئیدی از طریق نوعی فیلتر، مانند میکرو فیلتر، اولترافیلتر و فیلتر بستر دانه‌ای؛
- اصلاح پی اچ آب و یا کاهش املاح شیمیایی آن که احتمالا باعث ترسیب روی ممبران ها می‌شوند تا بتوان مدت زمان بهره‌برداری بین دو شستشو را افزایش داده تا در نتیجه عمر مفید ممبران کوتاه نشود.

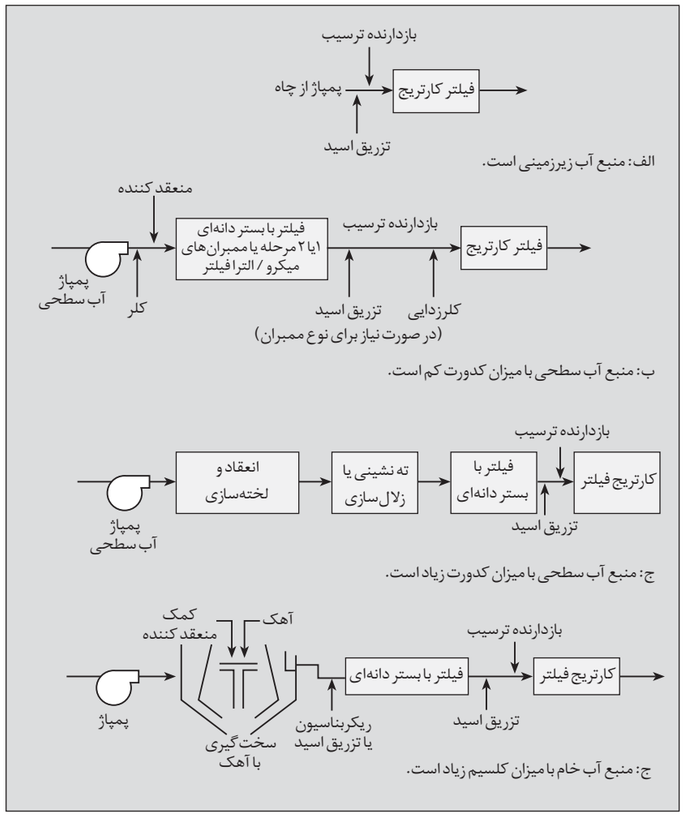
در دیاگرام شماره ۴-۷ فرایندهای پیش تصفیه شامل فیلترهای با بستر دانه‌ای، کارتریج فیلتر و افزایش بازدارنده رسوب و یا افزایش اسید نشان داده شده است که مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در مواردی فقط افزودن اسید و یا نوعی بازدارنده ترسیب و نصب فیلترهای کارتریج بعنوان پیش تصفیه کفایت می‌کند و در برخی موارد فرایندهای متعارف تصفیه آب شرب شامل زلال سازی به‌کمک منعقدکننده، فیلتراسیون مانند فیلترهای دو لایه و یا مخلوط[1] ضرورت پیدا می‌کند. به هرحال آب خام مناسب ممبران اسمز معکوس و نانو فیلتر باید از نظر سیلت، مواد آلی، میکروب‌ها و ترکیبهای شیمیایی در شرایط مطلوب باشند. شاخص اس.دی.آی[2] برای آب خام ورودی به استوانه فشار اسمز معکوس باید کمتر از ۲ و برای نانوفیلتر کمتر از ۳ باشد. این شاخص در آب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌های متعارف حدود ۵ و میکروفیلترها حدود ۲ و اولترافیلترها حدود ۰/۵ است و به همین دلیل استفاده از میکرو فیلترها و اولترافیلترها برای پیش‌تصفیه اسمزمعکوس مورد توصیه است. شاخص اس دی آی نشاندهنده فرایند بروز گرفتگی نیست و تنها برای مقایسه وضعیت فیلتر دستگاه اندازه گیری برای دو موقعیت ابتدا و انتهای دوره آزمایش است. در واقع دستگاه اندازه‌گیری اس دی آی برای تعیین غلظت کلوئیدهای آب خام است که باعث گرفتگی ممبران می‌شود و به همین جهت شاخص گرفتگی هم گفته می‌شود. این شاخص از میزان گرفتگی فیلتر دستگاه که دارای روزنه‌های ۰/۴۵ میکرومتر است حاصل می‌شود. امروزه دستگاههای تعیین اس دی آی آب به صورت یک ابزار آزمایشگاهی و یا به صورت نصب و اندازه گیری خودکار در تاسیسات وجود دارد.

1. Mixed Media Filter
2. Fouling Index or Silt Density Index

دیاگرام شماره ۴-۷

نمونه فرایندهای پیش تصفیه به کار رفته در اسمز معکوس و نانوفیلتر



از گفتگوی مفصل درباره چگونگی استفاده از دستگاه اندازه‌گیری اس دی آی خودداری می‌شود، زیرا سازنده آن دستور استفاده از آن را نیز تهیه کرده است که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، اما فلسفه استفاده از این دستگاه چنین است که پس از آماده کردن دستگاه و نصب فیلتر کاملا نو در دستگاه مدت زمان عبور ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی لیتر آب از دستگاه تحت فشار هیدرولیکی دو اتمسفر ثبت می‌شود.

زمان لازم عبور ۵۰۰ میلی لیتر از صافی باید ۵ برابر زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر باشد. حال اگر زمان عبور ۵۰۰ میلی لیتر بیشتر از ۵ برابر زمان ۱۰۰ میلی لیتر بشود، محاسبه تعیین اس دی آی انجام می‌گیرد بدین ترتیب که مدتی در حدود ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه آب از دستگاه باید عبور کند و دوباره مدت زمان عبور ۱۰۰ و ۵۰۰ میلی لیتر آخر اندازه گیری می شود.

اگر زمان عبور ۱۰۰ میلی لیتر دوم بیشتر از ۶۰ ثانیه بشود، ادامه آزمایش ضرورت ندارد زیرا گرفتگی تا حدود ۹۰ درصد رخ داده است و حال محاسبه تعیین اس دی آی براساس معادله زیر انجام می‌گیرد.

$$SDI = \frac{۱۰۰(۱-\frac{t_i}{t_f})}{T}$$

که در این معادله:

SDI عبارت است از اندکس غلظت سیلت؛

T عبارت است از زمان کل، مجموعا ۱۵ دقیقه و گاه کمتر؛

t_i عبارت است از زمان اولیه عبور ۵۰۰ میلی لیتر؛

t_f عبارت است از زمان عبور ۵۰۰ میلی لیتر آخر.

نگرانی‌های ناشی از ناخالصی‌های آب در تاسیسات ممبران

قبل از شروع بحث فرایندهای پیش تصفیه، به طور اجمالی ناخالصی‌های مشکل‌آفرین برای ممبران اسمز معکوس معرفی می‌شوند. این عوامل در دو گروه زیر تقسیم بندی می‌شوند.

- **گروه اول:** ترکیبهایی هستند که به ممبران صدمه زده و آن را تخریب می‌کنند، مانند اسیدها، بازها، کلر آزاد، باکتری‌ها و اکسیژن آزاد.
- **گروه دوم:** ترکیبهایی هستند که موجب گرفتگی ممبران شده که خود به دو دسته گرفتگی فیزیکی و گرفتگی شیمیایی تقسیم می‌شوند.

عوامل گرفتگی فیزیکی عبارت است از اکسیدهای فلزی، کلوئیدهای آلی و معدنی یا باکتری‌ها و میکروب‌ها و عوامل گرفتگی شیمیایی عبارت است از کربنات کلسیم، فلوراید کلسیم، سولفات باریم، سولفات کلسیم و سیلیس.

زدایش جامدات

به طورکلی جامدات معلق چه زنده و چه مرده موجب گرفتگی فیزیکی ممبران‌ها می‌شوند و لذا باید به‌کمک فرایندهای مناسب پیش تصفیه از آب زدایش شوند هر قدر این دسته از مزاحم‌های ممبران کمتر باشند عملکرد ممبران اسمز معکوس و نانوفیلتر بهتر و زمان بین دو شستشو بیشتر و در نهایت عمر ممبران طولانی تر می‌شود و به همین جهت بیشتر سازندگان ممبران ها حداکثر مجاز مواد معلق آب خام ورودی به استوانه‌های فشار را تعریف و مشخص می‌کنند. برای احتیاط بیشتر پس از به دست آوردن آب خام یا میزان مواد جامد تعریف شده در سر راه جریان آب، فیلترهای کارتریج با اندازه روزنه‌های ۱۰- ۲۵ میکرومتر نصب می‌شود تا از کیفیت آب ورودی به روی ممبران‌ها اطمینان پیدا شود.

برای حذف مواد معلق آب که مولد کدورت هستند، از فرایندهای زلال‌سازی و فیلتراسیون استفاده می‌شود که مورد بحث قرار نمی گیرد، به دلیل اینکه طراحی تأسیسات تصفیه متعارف خود یک تخصص است و توصیه می‌شود در صورت لزوم به مراجع معتبر خارجی و داخلی مراجعه شود.

به طور کلی در بیشتر شرایط که منبع آب خام، آب شور دریاست برای حذف کدورت افزایش منعقدکننده و تولید ذره و عبور از فیلتر دولایه توصیه می‌شود که به آن فیلتراسیون مستقیم[1] می‌گویند و در صورت استفاده از آب زیرزمینی، در صورتی که اس.دی.آی. آن بیشتر از ۲ باشد اختلاط - انعقاد و فیلتراسیون ضرورت پیدا می‌کند.

در مواردی و در مراجعی استفاده از فیلتر با بستر دانه‌ای تند را برای تصفیه آب زیرزمینی جهت اسمزمعکوس بدون کاربرد ماده منعقدکننده توصیه کرده‌اند. انجام این کار طبق اصول علمی پذیرفتنی نیست، بلکه باید با عملیات پیلوت به نتیجه این روش تصفیه اطمینان پیدا کرد زیرا کلوئیدها در صورتی که به‌کمک یک ماده منعقدکننده مانند نوعی پلیمر تبدیل به لخته های[2] نسبتا درشت تر نشوند از بستر دانه‌ای فیلتر عبور می‌کنند. زیرا قبلا از بستر خاک با دانه بندی ریزتر عبور کرده‌اند. یاداوری هم شد که آب تصفیه شده تصفیه‌خانه‌های متعارف دارای اس دی آی حدود ۵ هستند.

1. Direct filtration
2. Flocs

کنترل ترسیب شیمیایی

۳ ترکیب اصلی مزاحم در فرایند نمک‌زدایی اسمزمعکوس عبارتند از کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و سیلیس . اما فلورید کلسیم و سولفات باریم هم در لیست قرار می‌گیرند. در فرایند جدا شدن آب خالص و نمک زدایی طبیعتا غلظت املاح در آب خام افزایش می یابد و این افزایش بستگی به درصد بازیافت دارد که قبلا درباره‌شان سخن گفتیم.

حال اگر این غلظتها هر کدام بیشتر از درجه غلظت اشباع یون در شرایط حاکم فشار و دما گردد یون رسوب کرده و روی ممبران می نشیند و ایجاد گرفتگی می‌کند. در نتیجه تولید آب ممبران کاهش می یابد که پیامدهای دیگری دارد که مطرح خواهد شد.

کنترل کربنات کلسیم

در مورد کربنات کلسیم باید گفت که پس از تعیین شاخص لانگلیر پساب دستگاه، باید نسبت به چگونگی اصلاح آب تصمیمگیری شود

معادله لانگلیر[1] عبارت است از:

$$LSI = pH_c - pH_s$$

که در این معادله:

pH_c عبارت است از pH پساب؛

pH_s عبارت است از pH آب اشباع از نظر کلسیم.

معادله مورد استفاده برای تعیین pH_s در صورت نبود امکان عملیات آزمایشگاهی عبارت است از:

$$pH_S = P_{Ca} + P_{AlK_s} + K$$

که در این معادله:

P_{Ca} عبارت است از منفی لگاریتم غلظت کلسیم برحسب کربنات کلسیم؛

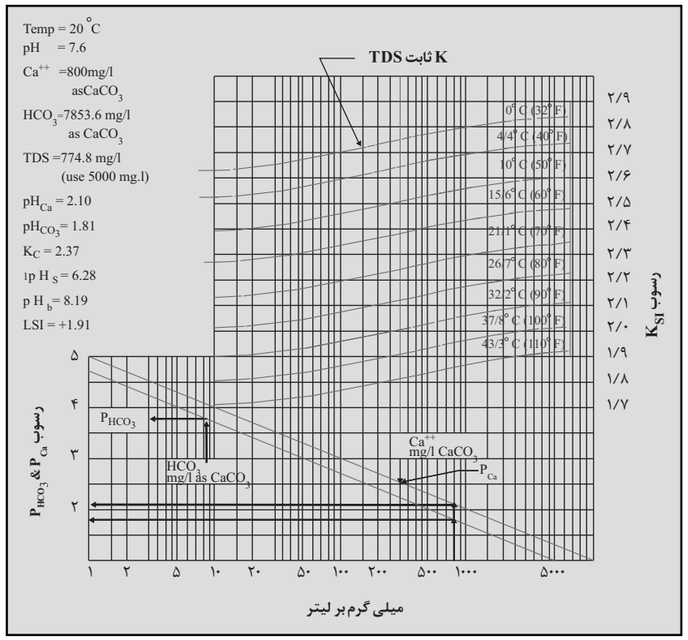
P_{AlK_s} عبارت است از منفی لگاریتم قلیاییت برحسب کربنات کلسیم؛

K عددی ثابت و تابعی از غلظت املاح و دمای آب.

1. Langlier

عدد ثابت مربوط به دمای آب ۱۲، ۱۶، ۲۰ درجه سانتیگراد به ترتیب عبارت است از ۲/۳، ۲/۱۰ و ۲ و برای مجموع املاح محلول حدود ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر عبارت است از ۹/۹۰ که با افزایش املاح آب این عدد افزایش می‌یابد. از دیاگرام شماره ۴-۸ می توان ضریب لانگلیر را محاسبه کرد که در شکل مثالی هم آورده شده است. در دیاگرام شماره ۴-۹ رابطه ضریب استیو و دیویس با دما و غلظت یونی ارائه شده است.

دیاگرام شماره ۴-۸
شاخص اشباع لانگلیر



برای مثال توجه شود که اگر ضریب یونی کلسیم $[Ca^{+2}][SO_4^{-2}]$ بزرگتر از $K_{SP}(CaSO_4)$ گردد آب از این جهت فوق اشباع است و ترسیب سولفات کلسیم رخ می‌دهد و اگر با هم مساوی شوند رسوب ایجاد نمی شود و اگر کوچکتر از آن شود آب نسبت به کلسیم، قدرت خورندگی یا انحلال آن را دارد.

لذا آب خام باید مورد آنالیز کامل شیمیایی قرار گیرد و همراه با تعیین دما و پی اچ برای درصد بازیافت منظور نظر مورد تعبیر قرار گیرد. حال وضعیت افزایش غلظت املاح محاسبه و امکان ایجاد رسوب تعیین شود. امروزه نرم افزارهایی تهیه شده که به سوالات اساسی زیر پاسخ می‌دهد.

- کدام یک از املاح آب در خطر ترسیب است و مقدار این ترسیب چه اندازه است؟
- ضریب اشباع آن چیست و ضریب لانگلیر چقدر است؟

این نرم افزارها می توانند درجه و یا ضریب اشباع سولفات کلسیم، سولفات باریم، سولفات فلوئور، فسفات کلسیم و سیلیس را محاسبه و تعیین کنند و بر اساس اطلاعات به دست آمده، می‌توان گزینه مناسب اصلاح آب را انتخاب کرد. این گزینه‌ها عبارتند از کاهش درصد بازیافت، اصلاح پی‌اچ و افزودن بازدارنده‌های رسوب و کاهش غلظت کلسیم آب.

در اینجا لازم است به فرایند قطبی شدن آب و افزایش املاح در لایه‌های آب نزدیک به ممبران اشاره ای شود. بدین ترتیب که به دلیل افزایش غلظت املاح آب به هنگام عبور مولکولهای آب از ممبران و مخلوط نشدن آب به دلیل سرعت کم و شرایط آرام[1]، غلظت املاح روبه افزایش می گذارد و در نتیجه با افزایش غلظت املاح آب، فشار اسمزی آب خام نزدیک ممبران افزایش می‌یابد. در صورت افزایش نیافتن فشار هیدرولیکی، فلاکس ممبران کاهش می‌یابد و از طرفی افزایش فشار هیدرولیکی نیز به ممبران صدمه وارد می‌کند. افزایش اسید به آب و کاهش پی اچ برای کنترل ترسیب کربنات کلسیم بیشترین کاربرد را دارد و معمولا از اسید سولفوریک بهره‌گیری می‌شود . اما اگر ترسیب املاح سولفات کلسیم باعث نگرانی است باید از اسید کلریدریک استفاده شود.

با ورود سایر بازدارنده‌های رسوب مانند هگزا استات فسفات و اسیدپلی اکریلیک و غیره به بازار این صنعت، کاربرد اسیدها کمتر شده است. افزایش اسیدپلی اکریلیک به میزان حدود ۵ میلی گرم در لیتر به آب، آبهای با ضریب لانگلیر حدود ۲+ را از نظر ترسیب بی خطر می‌سازد. در تاسیساتی که ممبران‌ها از نوع غیرسلولزی هستند نیز اسید پلی اکریلیک به عنوان ترکیب ضد ترسیب به کار می‌رود و نگرانی هیدرولیز ممبران وجود ندارد. اما به هر حال در صورتی که غلظت کلسیم خیلی بالا باشد در فرایندهای پیش تصفیه فرایند سختیگیری باید دیده شود.

---

1. Laminar

کنترل سولفات کلسیم

پتانسیل تولید رسوب املاح سولفاتها با محاسبه ضریب یونی و یا وضعیت یونی هر یک از املاح در پساب و مقایسه آن با ضریب انحلال هر نمک در دمای مورد نظر محاسبه‌پذیر است و یا با محاسبه تناسب حد اشباع این وضعیت روشن می‌شود، بدین ترتیب با تعیین شاخص درجه اشباع قضاوت ممکن می‌گردد (دیاگرام شماره ۴-۱۰).

$$SI = \log \frac{[Ca^{+2}][SO^{-2}]}{K_{SP}}$$

که در این معادله:

SI شاخص درجه اشباع است که اگر مساوی صفر شود آب در حالت تعادل و اگر بزرگتر از صفر شود آب از این جهت فوق اشباع است و اگر کوچکتر از صفر شود آب از این جهت خورنده است.

در دیاگرام شماره ۴-۱۱ رابطه ضریب Ksp و غلظت یونی برای سولفات‌های باریوم و استرانسیوم نشان داده شده است.

غلظت املاح محدود کننده و سیلیس

غلظت املاح محدود کننده و سیلیس برای ممبرانهای اسمز معکوس و نانوفیلترها در پساب دستگاه از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$C_c = C_f \times \frac{1}{1-y}$$

که در این معادله:

C_f عبارت است از غلظت نمک مورد نظر در آب خام برحسب میلی گرم در لیتر؛

C_c عبارت است از غلظت نمک مورد نظر در پساب برحسب میلی گرم در لیتر؛

y عبارت است از ضریب بازیافت هیدرولیکی یا $\frac{Q_c}{Q_f}$.

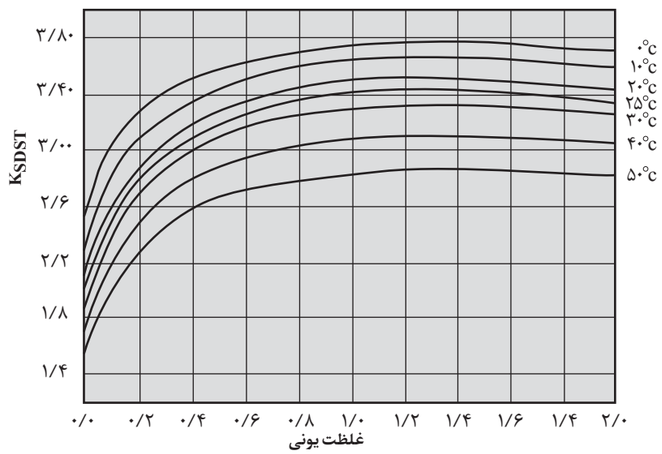
برای مثال اگر غلظت نمکی در آب خام ۵۰۰۰ میلی گرم در لیتر باشد و ضریب بازیافت ۵۰ درصد فرض شود میزان Cc عبارت خواهد بود از ۱۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر یعنی دو برابر. لازم به یادآوری است که رقم ۱۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر بیشتر از واقعیت است زیرا دفع نمک صد درصد فرض شده است معادله صحیحتر عبارت است از:

$$C_c = C_f \times \frac{(1 - y) \times Sp_1}{1 - y}$$

که همه علامتها در بخشهای قبلی معرفی شده‌اند. ضریب عبور نمک که به صورت اعشاری در معادله وارد می‌شود از خصوصیات ممبران‌هاست و سازندگان این محاسبه‌ها را هم با نرم‌افزارهای خود انجام می‌دهند.

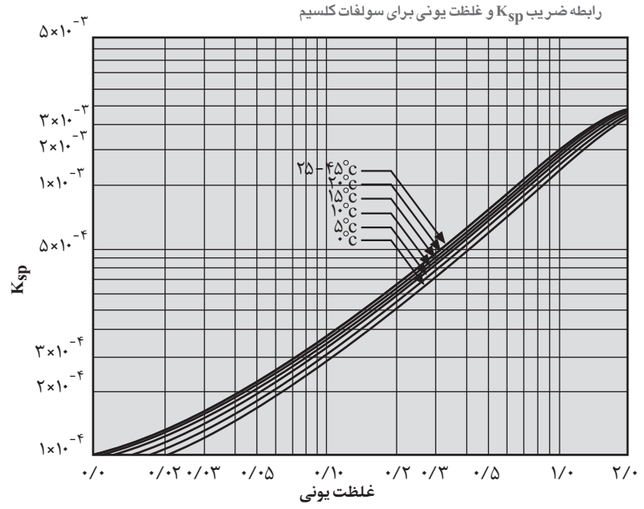
دیاگرام شماره ۴-۹

ضریب استیو و دیویس و رابطه آن با دما و غلظت یونی



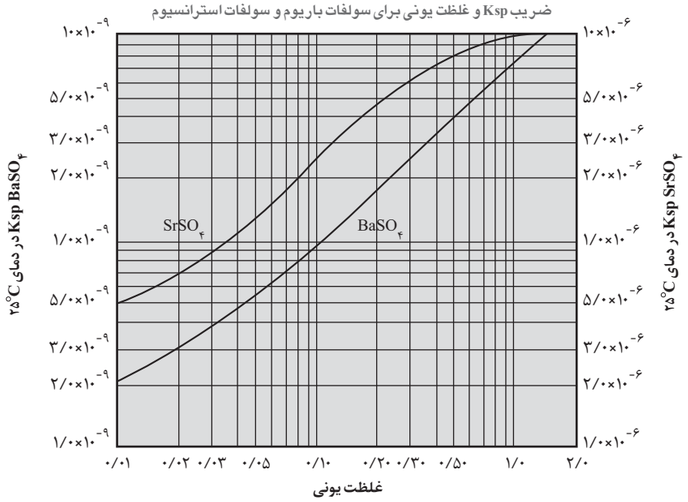
دیاگرام شماره ۴-۱۰

رابطه ضریب K_{sp} و غلظت یونی برای سولفات کلسیم



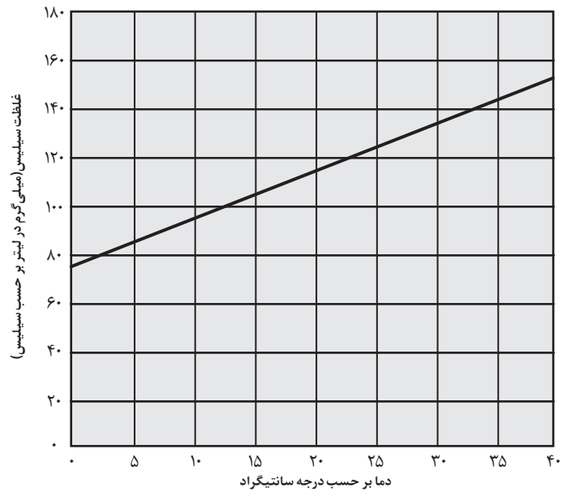
دیاگرام شماره ۴-۱۱

ضریب Ksp و غلظت یونی برای سولفات باریوم و سولفات استرانسیوم



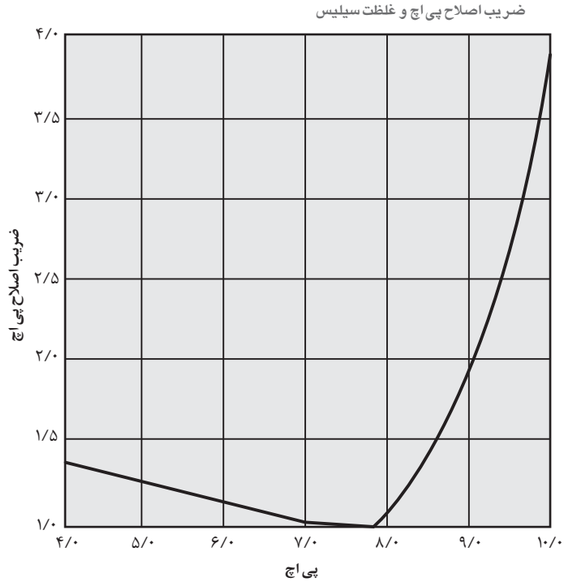
دیاگرام شماره ۴-۱۲

اثر دما روی حلالیت سیلیس



دیاگرام شماره ۴-۱۳

ضریب اصلاح پی اچ و غلظت سیلیس



در جدول شماره ۴-۳ معیارهای طراحی اسمز معکوس و نانوفیلتر از نظر غلظت املاح در پساب آورده شده است که بعضی سازندگان ممبران توصیه می‌کنند.

خطر ترسیب سیلیس را به کمک فرمول زیر می‌توان تعیین کرد.

$$SiO_{۲(Max)} = SiO_{۲(tem)} \times pH_k$$

در این فرمول $SiO_۲$ عبارت است از غلظت حداکثر سیلیس در پساب برحسب میلی گرم در لیتر

$SiO_{۲(tem)}$ عبارت است غلظت حداکثر انحلال سیلیس در پی‌اچ حدود ۷/۵ که خود تابع دمای آب است.

pH_k عبارت است از ضریب حلالیت سیلیس در پی اچ‌های مختلف.

حدود غلظت سیلیس در رابطه با دمای آب در دیاگرام ۴-۱۲ و ضریب اصلاح پی اچ در پساب در دیاگرام شماره ۴-۱۳ نشان داده شده است. در بعضی موارد فرایندهای اسمز معکوس و نانوفیلتر در شرایطی که غلظت سیلیس بالاتر از حد اشباع انحلال آن بوده است عملکرد مطلوبی

جدول شماره ۴-۳: **کاربرد معیارهای طراحی در اسمز معکوس و نانوفیلتر**

ترکیب	بدون بازدارنده	با بازدارنده[۳]	حداکثر با کاربرد بازدارنده[۳]
کربنات کلسیم $CaCO_3$	$LSI^{۴} < -۰/۲$	$LSI^{۵} < +۱/۸$	$LSI^{۵} < +۲/۳$
سولفات کلسیم $CaSO_4$	$IP_{۶} < ۰/۸ \times K_{SP}$[۷]	$IP < ۱/۵ \times K_{SP}$	$IP < ۲ \times K_{SP}$
سولفات استرانسیم $SrSO_4$	$IP < ۰/۸K_{SP}$	$IP < ۸K_{SP}$	$IP < ۸K_{SP}$
سیلیس SiO_2	$IP < ۰/۸K_{SP}$	$IP < ۱/۵K$[۷]	$IP < ۲۰۰ mg/L$[۸]
سولفات باریم $BaSO_4$	$IP < ۰/۸K_{SP}$	$IP < ۴۰K_{SP}$	$IP < ۶۰K_{SP}$

۱. با شرکت‌های سازنده ممبران و ترکیب بازدارنده رسوب باید در رابطه با اعداد مشورت شود.

۲. در مواردی حداکثر غلظت فلوراید کلسیم و فسفات کلسیم هم تعریف می‌شود.

۳. فرض این است که در صورت کاربرد بازدارنده رسوب حداکثر ۴ ساعت پس از خارج کردن دستگاه از مدار، کار شستشو انجام گیرد.

۴. LSI عبارت است از ضریب لانگلیر و وقتی بیان عددی آن مثبت است نشان خطر رسوب و وقتی منفی است خطر بروز خوردگی است.

۵. IP عبارت است از ضریب یونی که بر مبنای غلظت یون در پساب محاسبه می‌شود.

۶. Ksp عبارت است از ضریب حلالیت که از جدولها و منحنی‌ها به‌دست می‌آید. حال اگر IP بزرگتر از Ksp باشد ترسیب ممکن است رخ دهد و اگر کوچکتر از Ksp باشد معمولا ترسیب رخ نمی‌دهد.

۷. وجود اکسیدهای فلزی چند ظرفیتی، روی معیارهای جدول اثر دارد. برای مثال ترسیب سیلیس ناشی از واکنش‌های ترکیبی است که فرایندی آرام است ولی در حضور یون‌های دیگر سرعت آن افزایش می‌یابد.

۸. برای آب‌های لب‌شور با املاح محلول بیشتر از ۱۰،۰۰۰ میلی گرم در لیتر و آب دریا ضریب $SDSI$ به جای LSI به کار می‌رود. ضریب $SDSI$ برای طرح‌های اسمزمعکوس بزرگتر از ۰/۵+ نیست.

داشته‌اند و در مواردی هم با کاربرد بازدارنده ترسیب سیلیس نتیجه مطلوب به دست نیامده است. در مواردی هم که غلظت سیلیس از حد بی خطر بالاتر نبوده به خاطر حضور یون‌های فلزات آهن سه ظرفیتی و منگنز و مانند آن باعث مزاحمت شده است.

در هر شرایطی که غلظت سیلیس در آب خام به حدود درجه اشباع برسد باید از حضور فلزات ۳ ظرفیتی در آب اجتناب شود. برای کاهش خطر سیلیس فرایندهای زیر در پیش تصفیه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

- کاهش درصد بازیافت و درنتیجه کاهش غلظت سیلیس در پساب؛
- استفاده از فرایند سختیگیری با آهک اضافی و در نتیجه کاهش سیلیس در آب خام؛
- افزایش دما در طرح‌های بسیار کوچک؛
- افزایش پی‌اچ آب خام به حدود ۸/۵ و بیشتر با توجه به خطر ناشی از ترسیب کربنات کلسیم؛
- افزایش بازدارنده ترسیب سیلیس؛

مبارزه با میکروب‌ها

رشد میکروب‌ها که نامی کلیتر از باکتری‌هاست باعث گرفتگی در روی ممبران شده و عملکرد آن را کاهش می‌دهد. به علاوه بعضی از ممبران‌های مورد استفاده در اسمز معکوس و نانوفیلتر که از استات سلولز ساخته می‌شوند تحت تأثیر آنزیم‌های بیولوژیکی تجزیه می‌شوند. مبارزه با این پدیده به نوع ممبران و کیفیت آب خام بستگی دارد زیرا بعضی از اکسیدکننده‌های مصرفی در این مبارزه مانند کلر دارای اثرهای نامطلوب روی ممبران است.

برای انتخاب گندزدای مورد مصرف لازم است با سازنده ممبران و سازمان‌های بهداشتی مسئول کیفیت آب شرب جامعه مشورت شود.

در استفاده از منابع آب زیرزمینی، به دلیل محدودیت تعداد میکروب‌ها در آنها معمولا مشکل انسداد بیولوژیکی[۱] رخ نمی‌دهد و بر عکس در استفاده از آب‌های سطحی کاربرد مستمر و متناوب گندزدا برای مبارزه با رشد میکروب‌ها در روی ممبران‌ها ضروری است.

گرفتگی ناشی از رشد باکتری‌ها که در گروه گرفتگی‌های فیزیکی قرار دارد مانند انواع دیگر گرفتگی، باعث کاهش و در نهایت توقف تولید آب می‌شود و در غیر این صورت لازم است ممبران به دفعات بیشتر شسته شود. اگر ممبران مورد استفاده نسبت به کلر مقاوم باشد کاربرد هیپوکلریت باید مورد توجه قرار گیرد و ممبران‌های ساخته شده از استات سلولز دارای مقاومت لازم نسبت به کلر تا حدود غلظت یک میلی گرم در لیتر کلر آزاد را دارد در حالی که نسبت به آنزیم‌های این میکروب‌ها حساسیت دارند.

اما پلی آمیدها در مقابل کلر و اکسید کننده‌ها مقاومت ندارند و در صورت ضرورت

1. Biofouling

کاربرد کلر برای مبارزه با میکروب‌ها لازم است به‌کمک ترکیبهایی مانند بی‌سولفیت سدیم یا دی اکسید سولفور آب قبل از ورود به استوانه فشار از اکسیدکننده خنثی و از نتیجه کار هم اطمینان حاصل شود زیرا وجود اکسیدکننده به ممبران آسیب می‌زند. در استفاده از فیلترهای کربن فعال گرانولی باید توجه داشت که در صورت احیانشدن بموقع آن احتمال وجود باکتری‌ها در آب خروجی از آنها و در نتیجه احتمال بروز گرفتگی بیولوژیکی وجود دارد.

توجه شود که میکروب‌ها برای رشد و تولید مثل به مواد غذایی نیاز دارند و این رشد و تولید مثل روی سطوح ممبران و روی سطوح اسپیسرها انجام می‌گیرد که آن را گرفتگی بیولوژیکی گویند زیرا مقاومت هیدرولیکی عبور آب را افزایش می دهند و در نتیجه باعث کاهش فلاکس آب می‌شوند که همان کاهش نفوذپذیری ممبران است.

هر چه مواد غذایی بیشتر باشد، رشد آن‌ها بیشتر و میزان گرفتگی بیولوژیکی سریعتر خواهدبود و توجه شود که بعضی از ممبرانها در مقابل آنزیم این میکروب‌ها مقاومت ندارند. و به همین دلیل با حذف مواد آلی آب که مواد غذایی میکروب‌هاست، رشد آنها کم و یا متوقف می‌شود. اگر ممبران مورد استفاده نسبت به اکسید کننده‌هایی مانند کلر طبق تعهد سازنده ممبران، مقاوم باشد حفظ کلر باقیمانده در آب ورودی به استوانه‌های فشار مانع بروز گرفتگی بیولوژیکی خواهد شد و شتاب بروز آن را کاهش می‌دهد.

در مواردی ایجاد شوک بیولوژیکی ناشی از افزایش ناگهانی گندزدا طبق توصیه سازنده ممبران مفید است - مصرف بی‌سولفیت‌سدیم هم یک بازدارنده گرفتگی بیولوژیکی شمرده می‌شود. در طرحهای کوچک از اشعه ماورای بنفش برای از بین بردن میکروب‌ها بهره‌گیری می‌شود اما چون اثر باقیمانده ندارد انتخاب خوبی نیست، زیرا در صورتی که ممبران در مقابل گندزدا، مقاومت داشته باشد حضور آن در آب روی ممبران مانع رشد بیوفیلم خواهد شد. در صورت استفاده از میکروفیلتر و اولترافیلتر به عنوان واحدهای پیش تصفیه، سرعت گرفتگی بیولوژیکی کاهش بسیاری پیدا می‌کند.

در مطالعات مفصل انجام شده، نشان داده شده است که در طرحهایی که گرفتگی بیولوژیکی محسوس است مقدار توده[1] زنده روی ممبران بیشتر از یک هزار پیکو گرم[2] مواد آلی

1. Biomass

2. Pgm=1 x 10^{-12}gm

در سانتیمتر مربع سطح ممبران بوده است. از آنجا که دلیل اصلی بروز گرفتگی بیولوژیکی وجود مواد غذایی مورد نیاز میکروب‌ها یعنی مواد آلی است، لازم است تا این مواد آلی از آب حذف شوند. اما همه مواد آلی، مورد استفاده این میکروب‌ها قرار نمی گیرند بلکه تنها مواد آلی تجزیه‌پذیر بیولوژیکی[1] و آمونیوم خطر گرفتگی بیولوژیکی را ایجاد می‌کنند.

منشاء اصلی این گروه از مواد آلی، فاضلاب‌ها هستند که به منبع آب مورد استفاده برای نمک‌زدایی تخلیه می‌شوند به علاوه حتی ترکیبهای شیمیایی مورد استفاده در نمک‌زدایی مانند اسیدها و بازدارنده‌های رسوب هم ممکن است به چنین موادی آلوده شده باشند.

سولفید هیدروژن

اگر در آب خام، مانند آب بعضی از چاه‌ها، سولفید هیدروژن وجود داشته باشد ممکن است روی ممبران آثار تخریبی جبران ناپذیری ایجاد کنند. معمولا در این آب‌ها اکسیژن وجود ندارد. اگر در آب خام میزان سولفید هیدروژن زیاد نباشد و سعی شود که اکسیژن وارد سیستم نشود مشکلی ایجاد نمی گردد و گاز از ممبران عبور می کند و باید در تصفیه نهایی از آب حذف شود. حال اگر اکسیژن حضور داشته باشد گروهی از باکتری‌ها از سولفید هیدروژن به عنوان ماده غذایی استفاده می کنند و باعث ایجاد گرفتگی بیولوژیکی بسیار خطرناکی می‌شوند. در صورت کلرزنی این آب به هر دلیل واکنش زیر پدید می آید.

$$Cl_2 + H_2S \longrightarrow 2Cl + 2H + S$$

که رسوب گوگرد تولیدی باعث گرفتگی ممبران می شود، لذا آب باید پس از کلرزنی از فیلتر عبور کند. در بخش تصفیه نهایی از گوگرد زدایی صحبت خواهد شد.

آهن و منگنز

آهن و منگنز اگر به صورت محلول در آب خام باقی بمانند مشکلی در نمک زدایی ایجاد نمی‌کنند ولی در حضور اکسیژن و یا اکسید کننده های دیگر ودر پی اچ های بالا اکسید شده و روی ممبران ترسیب می‌شوند. به علاوه حضور آنها مشکل سیلیس را دشوارتر می‌کند.

1. Biodegradable Dissolved Organic Carbon (BDOC)

یکی از دلایل افزایش اسید و کاهش پی اچ برای جلوگیری از ترسیب این دو فلز است البته با افزودن سدیم هگزامتافسفات به عنوان بازدارنده هم می توان جلوی ترسیب آن‌ها را گرفت. توجه شود که اگر در ساخت تاسیسات بالا دست ممبران‌ها، از مصالح فلزی استفاده شود، با توجه به قدرت خورندگی آب‌های شور خطر خورندگی و انتقال محصولات حاصل از خورندگی به روی ممبران‌ها وجود خواهد داشت. لذا از کاربرد مصالح مستعد به خورده شدن در بالا دست ممبران‌ها باید خودداری شود. برای حذف آهن و منگنز هم سه روش فرایندی زیر متداول است:

- کاربرد اکسید کننده مناسب مانند هوادهی، کلر و مانند آن و پس از آن عبور آب از فیلترهای با بستر دانه‌ای. توجه شود که در انتخاب نوع اکسیدکننده بدون عملیات پیلوت نمی‌توان تصمیمگیری کرد.
- کاربرد اکسید کننده پر منگنات پتاسیم و سپس عبور آب از فیلترهای دارای ماسه‌های سبز که فراوری شده است.
- سختیگیری کاتیونی و آنیونی که کلسیم و منیزیم آب را نیز کاهش می‌دهد.

مبارزه با مواد آلی

مواد آلی معلق و کلوئیدی و توده زنده میکروب‌ها با رسوب خود روی ممبران مشکل آفرین هستند. مواد آلی محلول کمتر روی این ممبران‌ها اثر دارند. در حقیقت ممبران‌های نانو و اسمزمعکوس برای حذف مواد آلی محلول در آب مانند رنگ به کار می‌روند. اگر مواد آلی آب بر حسب تی او سی بیشتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر باشد، برای جلوگیری از بروز گرفتگی باید توجه داشت. زیرا که وجود مواد آلی ممکن است با ایجاد گرفتگی، فلاکس ممبران را کاهش وتعداد دفعات شستشو را افزایش دهند.

در تصفیه متعارف آب‌ها و با کاربرد ماده منعقدکننده می توان مواد آلی آب خام را کاهش داد. اما کاربرد کلر به صورت $HOCl, OCl^-$ و حفظ آن در آب با شرایطی بسیار موثر است. زیرا در شرایط فعلی اکثر ممبران‌های با ضخامت کم ترکیبی[1] که برای ساخت صفحات پیچیده

1. Thin film composit

بکار می‌روند نسبت به دو اکسید کننده بالا آسیب پذیرند و توصیه اکید می‌شود که با توجه به مشخصات فنی اعلام شده از طرف سازنده در مورد کاربرد کلر و یا هرگندزدای دیگر تصمیمگیری شود.

بعضی از ممبران‌های فیبرهای تو خالی پس از تماس با کلر میزان عبور املاح از آنها افزایش می‌یابد یعنی کیفیت آب تولیدی نامطلوب می‌شود و بر عکس ضریب تراوایی آن هم افزایش پیدا می‌کند که باعث افزایش فلاکس می‌گردد در نتیجه می توان فشار هیدرولیکی مورد نیاز را کاهش داد. حال با کاربرد کلر برای مبارزه با گرفتگی بیولوژیکی در آب قبل از ممبران، باید کلر باقیمانده در آب را به کمک بی سولفیت سدیم طبق معادله زیر خنثی کرد تا ممبران صدمه نبیند.

$$Cl_2 + H_2O + HSO_3^- \longrightarrow 2Cl^- + SO_4^{2-} + 3H^+$$

در موارد زیادی همین روش کار مانع بروز گرفتگی بیولوژیکی نشده است حتی نشان داده شده است که افزودن کلر به آب، بخشی از مواد آلی آب را شکسته و مناسب حمله باکتری‌ها به آنها برای تغذیه می‌شود.

به هر حال امروزه هنوز افزودن کلر به آب برای مبارزه با گرفتگی بیولوژیکی و سپس افزایش بی سولفیت سدیم برای خنثی کردن کلر باقیمانده توصیه می‌شود. بویژه کاربرد این روش به صورت متناوب و به فرم زیر ممکن است موثر واقع شود.

- افزایش کلر به میزان ۱-۲ میلی گرم در لیتر و به مدت نیم تا ۱ ساعت و به دفعات یک تا دو مرتبه در روز و اطمینان از خنثی شدن باقیمانده آن قبل از ورود آب به استوانه فشار برای فیبرهای تو خالی پلی‌آمید، اما لایه نازک کمپوزیت و تری استات سلولز مقاومت بیشتری دارند.
- استفاده از فیلترهای مجهز به گرانول کربن فعال قبل از فیلتر کارتریج برای خنثی کردن کلر باقیمانده و حذف مواد آلی آب هم باید مورد توجه قرار گیرد زیرا ممکن است دارای عملکرد مطلوبی باشد.

کنترل پی اچ

ممبرانهای ساخته شده از پلی آمیدها در آب با پی اچ حدود ۴-۱۰ صدمه نمی بیند. حتی تغییرات بیشتر پی اچ را به صورت کوتاه مدت و گهگاه تحمل می‌کنند. اما ممبران‌های ساخته شده از

استات سلولز که همیشه برای ساخت نانوفیلتر و اسمز معکوس به کار می‌رود، معمولا برای آب با پی‌اچ در حدود ۴-۶/۵ ساخته شده اند و در صورت تغییر پی اچ در خطر تجزیه[1] قرار می‌گیرند. بسیاری از ممبران‌های ساخته شده از پلی سولفون و پروپیلن طیف وسیعتری از پی‌اچ را تحمل می‌کنند. کارایی میکرو فیلترها و اولترا فیلترهای غیر آلی تحت تاثیر پی اچ قرار نمی‌گیرد.

دما

دمای آب خام ورودی به استوانه‌ی فشار حاوی المان‌ها روی عملکرد آنها تاثیرات متعدد زیر را دارد:

- عمر مفید و خصوصیات مواد آن را دچار تغییر می‌کنند؛
- به دلیل تغییر ویسکوزیته و دانسیته آب، عملکرد هیدرولیکی ممبران تغییر می یابد.
- به دلیل تاثیر روی درجه حلالیت عناصر فلزی و سیلیس، انتخاب درصد بازیافت را تحت تاثیر قرار می دهد.

لذا توصیه کارخانه سازنده در مورد درجه حرارت آب خام باید رعایت شود. در واقع از اولین اطلاعاتی است که باید به سازنده و یا فروشنده ممبران داده شود تا پیشنهاد معقولی دریافت گردد. پس مطالعات مربوط به تغییر درجه حرارت آب خام یکی از مهمترین بخش های کار است. به هر حال در بسیاری از ممبران‌های ساخته شده از استات سلولز با افزایش دمای آب خام نرخ هیدرولیز و یا تجزیه آنها افزایش می یابد و لذا عمر مفید ممبران کاهش می یابد. به علاوه با افزایش دمای آب فرایند فشردگی ممبران هم در دماهای بالاتر بیشتر شده و نرخ کاهش فلاکس افزایش می‌یابد.

حداکثر گرمای تحمل‌پذیر ممبران‌های استات سلولز مورد استفاده در اسمزمعکوس آب‌های شور دریا حدود ۳۵ -۴۰ درجه سانتیگراد است. پلی آمیدهای مورد استفاده در اسمز معکوس دماهای ۴۰ -۵۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کنند اما عمر مفید آنها به سرعت کاهش می‌یابد. همچنین تجربه شده است که با کاهش دما، به دلیل افزایش ویسکوزیته و دانسیته آب سطح بیشتری از ممبران برای تولید آب به میزان لازم، مورد نیاز است. بنابراین،

1. Hydrolysis

دمای آب عملکرد ممبران را در چند جهت تحت تأثیر قرار می‌دهد. یعنی میزان تولید آب و عبور نمک از ممبران را تغییر می‌دهد و روی حلالیت املاح آب و ایجاد رسوب موثر است.

برای جلوگیری از بروز ترسیب ترکیبهای شیمیایی موجود در آب، موادی به نام بازدارنده ترسیب به آب افزوده می‌شوند که عبارتند از:

اسید پلی کربوسیلیک، اسید پلی مالیک، اسید پلی اکریلیک و فسفات‌ها.

ترکیبهای بالا با نام‌های تجارتی متفاوتی طبق جدول شماره ۴-۱۷ وارد بازار این صنعت شده‌اند که بعضی از آن‌ها گرچه بازدارنده ترسیب هستند اما خود باعث بروز گرفتگی بیولوژیکی می‌شوند و نفوذپذیری ممبران را کاهش می‌دهند. زیرا به عنوان یک ماده غذایی مورد استفاده گروهی از میکروب‌ها قرار می‌گیرند.

طراحی ممبران

پس از دانستن کیفیت آب خام و ضرورت نمک‌زدایی و انتخاب فرایند لازم (با فرض فرایند انتخابی اسمز معکوس)، باید معیارهای طراحی تدوین شود و محاسبه‌های مربوط انجام گیرد. از فرایندهای پیش تصفیه فعلاً سخنی نمی‌رود.

معادله اصلی طراحی که در مراجع مختلف تقریبا یکسان ارائه شده است عبارت است از:

$$F_w = K_w (P_{TM} - \pi_{TM})$$

که در این معادله:

F_w عبارت است از فلاکس و یا جریان آب از ممبران برحسب لیتر در ثانیه در مترمربع و یا واحدهای دیگر؛

K_w عبارت است از ضریب تراوایی ممبران بر حسب لیتر در ثانیه در متر مربع در شرایط مورد آزمایشهای سازنده؛

P_{TM} عبارت است از اختلاف فشار هیدرولیکی آب خام و آب تولیدی؛

π_{TM} عبارت است از متوسط فشار اسمزی آب خام و پساب؛

و عبور نمک از ممبران هم با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$F_s = B\,(C_1 - C_2)$$

که در آن:

F_s عبارت است از فلاکس نمک برحسب گرم در سانتیمتر مربع در ثانیه؛

B عبارت است از ضریب ثابت تراوایی ممبران نسبت به نمک بر حسب گرم در سانتیمتر مربع در ثانیه؛

C_1-C_2 عبارت است از اختلاف غلظت نمک در دو طرف ممبران بر حسب گرم در سانتیمتر مکعب؛

ضریب تراوایی آب و نمک از خصوصیات ویژه هر ممبران است. فلاکس آب با فشار هیدرولیکی آب تناسب مستقیم دارد، اما فلاکس نمک با آن بی‌ارتباط است. لذا با افزایش فشار هیدرولیکی می‌توان آب بیشتری تولید کرد در حالی که عبور نمک تغییر نمی‌کند.

معادله فوق به صورت زیر نیز نوشته می‌شود:

$$Q_{wi} = K_{wi} (\Delta P - \Delta \pi)$$

که در آن:

Q_{wi} عبارت است از فلاکس اولیه؛

K_{wi} عبارت است از ضریب تراوایی اولیه ممبران؛

ΔP عبارت است از متوسط فشار هیدرولیکی آب خام منهای فشار هیدرولیکی آب تولیدی و یا افت فشار عبوری از ممبران؛

$\Delta \pi$ عبارت است از اختلاف فشار اسمزی؛

لذا $K_{wi} = \frac{Q_{wi}}{\Delta P - \Delta \pi}$ که برای شرایط استاندارد می‌توان آن‌را معادل ۱ قرار داد.

در انجام محاسبه‌ها اعداد فشار اسمزی و فشار هیدرولیکی آب تولیدی را معمولاً نادیده می‌گیرند زیرا ارقام به نسبت پایینی را تشکیل می دهند. با افزایش شوری آب و در نتیجه افزایش فشار اسمزی با ثابت بودن فشار هیدرولیکی، فلاکس ممبران کاهش می‌یابد و در نهایت درصد بازیافت نیز کاهش پیدا می‌کند. حال با توجه به این که با عبور آب خالص از ممبران و افزایش غلظت املاح آب باقیمانده، به دلیل دفع[1] درصد ثابتی از املاح توسط ممبران، تنها بخشی از املاح آب از ممبران عبور می‌کند. لذا با افزایش درصد بازیافت، میزان املاح آب تولیدی بیشتر خواهد شد.

1. Reject

در جدول شماره ۴-۴ فشار هیدرولیکی لازم در رابطه با غلظت املاح محلول آب خام نشان داده شده است و انتخاب درصد بازیافت تابع پتانسیل ایجاد رسوب، کیفیت دلخواه آب تولیدی، ضریب دفع ممبران، فشار اسمزی و سایر عوامل دیگر است. نحوه انجام محاسبه‌های لازم در فصل ششم ارائه شده است.

جدول شماره ۴-۴: **فشار هیدرولیکی و درصد بازیافت در صنعت اسمز معکوس**

اسمزمعکوس	فشار هیدرولیکی مورد استفاده بر حسب اتمسفر	درصد بازیافت
آب دریا با ۳۵،۰۰۰ میلی گرم در لیتر املاح محلول	۸۳-۵۵	۴۵-۳۵
آب شور با ۵،۰۰۰ میلی گرم در لیتر املاح محلول	۴۱-۲۴	۸۰-۶۵
آب معمولی با ۵۰۰ میلی گرم در لیتر املاح محلول	۱۰-۳	۹۰-۸۰

توجهات در امر بازیافت

در مورد تصمیمگیری نسبت به درصد بازیافت توجهات زیر لازم است:

- **ترسیب:** با افزایش درصد بازیافت ضریبهای غلظت املاح و تولید رسوب افزایش می‌یابد. لذا کیفیت شیمیایی آب خام باید مورد مطالعه دقیق قرار گیرد تا بتوان حداکثر ضریب بازیافت مناسب را تخمین زد و در این صورت فرایندهای پیش تصفیه مانند تغییر پی اچ و یا افزودن بازدارنده رسوب تعیین می‌شود.

دوباره یادآوری می‌شود که غلظت املاح محلول آب در بخش آب نزدیک به ممبران به دلیل فرایند قطبی شدن، بیشتر از غلظت املاح در فضای دورتر از ممبران است و در محاسبه‌ها غلظت املاح پساب و نه غلظت املاح در فضای قطبی شدن مورد محاسبه قرار می‌گیرد که توجه به آن ضرورت دارد.

- **عملکرد:** برای به دست آوردن عملکرد مطلوب باید طوری بهره‌برداری کرد که حداقل پساب و در نتیجه حداکثر آب تولیدی به دست آید و البته برای رسیدن به این هدف رابطه بین کیفیت آب خام در عبور از آخرین المان باید تعریف شود که لازم است بر مبنای توصیه شرکت سازنده باشد.
- **منبع آب خام:** با افزایش درصد بازیافت، حجم آب گرفته شده از منبع و نیز حجم پساب

کاهش می یابد و مشکلات دفع آب نمک غلیظ هم کمتر می‌شود .

- **کیفیت آب تولیدی:** یادآوری شد که با افزایش درصد بازیافت، میزان املاح عبوری از ممبران هم افزایش می یابد و لذا کیفیت آب به طرف نامطلوب شدن می رود. در مورد تولید آب برای مصرفهای شرب و با مجموع املاح محلول حدود ۵۰۰-۶۰۰ میلی گرم در لیتر، این مسئله اهمیت کمتری پیدا می کند گرچه بهتر است مجموع املاح محلول به حدود ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسانده شود.
- **عبور و دفع نمک:** ممبران‌های اسمزمعکوس و نانوفیلتر طبق مشخصات اعلام شده سازندگان، بر اساس دفع اسمی[1] و نیز دفع املاح برای شرایط ویژه طبقه بندی می شوند و معمولاً درصد دفع کلرورسدیم را در مشخصات فنی مربوط اعلام می کنند. برای نانوفیلترها درصد دفع املاح دو ظرفیتی مانند سولفات منیزیم نیز آورده می‌شود و در بعضی موارد درصد حذف مواد آلی را برحسب وزن ملکولی آنها نیز مشخص می کنند.
- **مشخصات فنی:** ممبران‌های اسمز معکوس و نانوفیلترها بر اساس آزمایشهایی که در شرایط ویژه انجام می‌گیرد از نظر حداقل و متوسط دفع نمک تعریف می‌شوند. در واقع هر سازنده در مورد حداقل اسمی دفع نمک کلرور سدیم، ممبران تولیدی خود را تعریف می‌کند. در مورد نانوفیلترها حتی دفع عنصرهای دو ظرفیتی هم تعریف می‌شود.

برای مثال ممبران‌های صفحه‌ای با جریان آب مارپیچ در شرایط دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار هیدرولیکی ۱۰-۱۵ اتمسفر دارای توانایی ۹۶-۹۹ درصد دفع نمک برای شرایط بازیافت ۸-۱۵ درصد و با مجموع املاح محلول ۱۵۰۰-۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هستند. یا ممبران‌های صفحه ای پیچیده و با جریان آب مارپیچ در فشار ۵۵ اتمسفر و با آب با دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و با درصد بازیافت ۷-۱۰ برای آب‌های با مجموع املاح ۳۲-۳۵ هزار میلی گرم در لیتر کلرورسدیم و در پی اچ حدود ۵/۷-۷ دارای ضریب دفع نمک ۹۹- ۹۹/۷ درصد هستند . بدین معنی که از آب با مجموع املاح محلول ۳۵،۰۰۰ میلی گرم در لیتر می‌توان آبی با املاح محلول ۱۰۵ میلی گرم در لیتر تولید کرد. نانو فیلترها که برای سختیگیری و حذف رنگ به کار می‌روند با آب خام دارای ۱۰۰۰-۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات کلسیم دارای توانایی

1. Nominal Rejection

حذف تا سقف ۹۸ درصد هستند. و برای آب خام دارای ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کلرورسدیم دارای توانایی حذف بیش از ۷۰ درصد آن هستند. فشار هیدرولیکی لازم برای این زدایش در حدود ۴۸-۶۸ اتمسفر است.

ممبران‌های اسمز معکوس و نانوفیلتر در دفع یون‌ها و مواد آلی محلول غیر فرار، کارایی دارند و ممبران‌های ترکیبی در دفع ترکیبهای آلی بهتر از ممبران‌های سلولزی و پلی آمیدی با فرم فیبرهای توخالی عمل می‌کنند. به طور کلی ترکیبهای آلی از ممبران‌ها عبور می‌کنند و درصد دفع آنها کمتر از ۵۰ درصد است گرچه بعضی ممبران‌های ترکیبی، توانایی بهتری در این زمینه نشان داده‌اند. ممبران‌های نانو در دفع یون‌های چند ظرفیتی و مواد آلی غیر فرار تا حدود ۹۰ درصد و بیشتر عمل می کنند و درصد دفع یون‌های تک ظرفیتی خیلی کمتر و در حدود ۷۰ درصد و کمتر از آن است.

انرژی

انرژی مورد نیاز در فرایند اسمز معکوس نیرویی است که باید به‌کار رود تا فشار هیدرولیکی لازم را ایجاد کند که در نتیجه، تا آب وارد استوانه های فشار شود و بخشی از آب از ممبران عبور کند و بخش دیگر به نام پساب از استوانه خارج شود.

در ۱۰ سال گذشته میزان فشار خالص لازم به دلیل توسعه فن ساخت ممبران‌ها کاهش چشمگیری یافته است و با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$NDP = P_F - (H_L + \pi_{AV} + P_P)$$

که به‌طور خلاصه به صورت $P_{NDP} = P_F - P_C$ که P_F و P_C به ترتیب عبارتند از فشار هیدرولیکی آب خام و پساب و همان طور که دیده می‌شود فشار لازم بستگی به فشار اسمزی آب خام و پساب و افت فشار آب در عبور از ممبران ها دارد.

توان مورد نیاز پمپ را با فرمول $P=\gamma QH$ می‌توان به دست آورد که وزن مخصوص آب و میزان انتقال آب و مجموع فشار اسمزی آب در آخرین استوانه فشار و افت فشار و فشار باقیمانده آب تولیدی است و برای تعیین توان موتور مربوط باید بازده پمپ و موتور محاسبه شود. این توان برحسب کیلوگرم بر ثانیه است که با ضریب‌های لازم برحسب کیلووات ساعت و

اسب بخار تبدیل می‌شود و توجهات طراحی الکتروپمپ لازم دستگاه و یا طراحی‌های دیگر اختلافی ندارد. باید میزان آب و مجموع افت فشارها و فشار خالص لازم روی آخرین المان مربوط تعیین شود. در عمل میزان توان لازم حدود ۰/۷-۱ کیلووات ساعت در مترمکعب برای آب‌های لب شور و ۲-۳/۵ کیلووات ساعت برای آب‌های شور بدون ابزار بازیافت انرژی است. که با توجه به توسعه تولید ممبران‌های انرژی پایین انتظار می‌رود که ارقام ارائه شده کاهش چشمگیری از خود نشان دهد. در ادبیات نمک‌زدایی معادله کاربردی انرژی به صورت زیر معرفی شده است:

$$E = \frac{۰/۰۲۷۵ \times P}{N_f \times R}$$

که در این معادله:

E عبارت است از انرژی لازم بر حسب کیلووات ساعت برای هر مترمکعب آب تولیدی؛

P عبارت است از فشار دینامیکی پمپ برحسب آتمسفر؛

N_f عبارت است از سودمندی الکتروپمپ و ضریب ۰/۰۲۷۵ برای تبدیل واحد مترمکعب و آتمسفر؛

R ضریب باز یافت است.

البته با نصب تجهیزات بازیافت انرژی فشاری پساب معادله فرم دیگری می‌یابد که چنین است:

$$E = \frac{۰/۰۲۷۵ \times P}{N_P \times R} - ۰/۰۲۷۵ \frac{۱ - R}{R} (P - \Delta P) N_t$$

که در این معادله:

ΔP عبارت است از افت فشار هیدرولیکی آب نمک در عبور از سیستم؛

N_P عبارت است از بازده دستگاه بازیافت انرژی؛

N_t عبارت است از بازده توربین مورد استفاده؛

فلاکس

فلاکس آب که معمولا برحسب متر مکعب در متر مربع در ثانیه و یا لیتر در متر مربع در دقیقه بیان می‌شود یکی از مبانی طراحی است . زیرا ظرفیت سیستم عبارت است از حاصل ضرب فلاکس در سطح کل ممبران ها و بر این اساس می توان تعداد المان‌ها و تعداد استوانه‌های فشار را تعیین کرد. زیرا با دانستن سطح کل مفید ممبران‌ها و متوسط فلاکس حجم تولید محاسبه می‌شود .بدین ترتیب که:

$$\frac{Q}{A} = J = (\Delta P - \Delta \pi) \times K_w$$

که در این معادله:

J عبارت است از فلاکس آب برحسب متر مکعب در متر مربع در ثانیه و بقیه علامتها قبلا معرفی شده‌اند.

بیشتر تاسیسات بزرگ اسمز معکوس و نانوفیلتر از المان‌های با قطر ۸ اینچ (۱۹/۲ سانتی متر) و طول ۴۰ اینچ (۱۰۱ سانتی متر) استفاده می کنند که سطح آنها ۳۳ تا ۴۱ متر مربع است و تولید آب آنها در حدود ۳۳-۵۷ متر مکعب در روز است. هر چه آب خام ورودی از نظر مواد معلق و به طور کلی مواد ایجاد گرفتگی کمتر باشد فلاکس بیشتری را به سطح المان می‌توان اعمال نمود و برعکس. لذا آبهای زیرزمینی با فلاکس بالاتری از المان‌ها عبور می‌کنند.

ظرفیت تولید هر المان و یا فلاکس مجاز به وسیلهٔ سازنده به‌صورت لیتر در ساعت در متر مربع بیان می شود که حاصل کار پیلوت و در شرایط استاندارد است و ارقام ۳۰-۵۰ لیتر در ساعت در متر مربع اعلام می شود که به ندرت می توان در عمل به آن دست یافت زیرا عامل گرفتگی که مورد بحث قرار گرفت مانع رسیدن به آن است . حدود متعارف فلاکس برای آبهای زیرزمینی ۲۰-۳۰ لیتر و برای آب‌های سطحی ۱۴-۲۰ لیتر در ساعت در متر مربع است.

دما

اگر میزان فلاکس طراحی بدون تغییر حفظ شود، در حداکثر دمای آب کیفیت آب تولیدی از نظر املاح، بدترین وضعیت را خواهد داشت زیرا عبور املاح در این دما از ممبران بیشتر است. حال با فرض اینکه تمام عوامل مانند سطح کل ممبران و فشار هیدرولیکی آب خام بدون تغییر بماند تولید آب کم نمک در دمای ۱۵ درجه سانتیگراد ۳۰-۴۰ درصد کمتر از میزان تولید آب در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد است . معادله زیر در این مورد کاربرد دارد:

$$Q_p = Q_{p۲۵} \times ۱/۰۳^{(T-۲۵)}$$

که در آن معادله:

Q_p عبارت است از میزان تولید آب در دمای T برحسب درجه سانتیگراد؛

T عبارت است از دمای آب غیر از دمای ۲۵ درجه سانتیگراد؛

$Q_{p۲۵}$ عبارت است از میزان تولید آب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد؛

لذا در طراحی یک سیستم نمک زدایی با استفاده از ممبران لازم است عملکرد سیستم در دمای

حداقل و حداکثر، هم در شرایط شروع بهره برداری و هم پس از گذشت زمان فرضی ۲ تا ۵ سال از عمر ممبران محاسبه شود. لذا با فرض فلاکس حداکثر و یا فشار حداکثر و با حداقل دمای آب، سطح لازم ممبران با عمر کارکرد ۵ سال تعیین می‌شود. سپس با دانستن سطح کل ممبران و برای دمای مورد نظر آب، عملکرد ممبران محاسبه می شود. به هرحال با تغییر هر درجه حرارت حدود ۲/۵ درصد تغییر در میزان تولید پیشبینی پذیر است.

مشاهده شد که تمام انواع ممبران‌های پلیمری، دارای محدودیت عملکرد در آب‌های با دمای بالا هستند. برای مثال اگر دمای آب بالا باشد، کاربرد ممبران استات سلولز انتخاب غلطی است و اگر دما خیلی بالا باشد، خنک کردن آب قبل از پمپاژ به درون استوانه‌های فشار ضرورت پیدا می کند. لذا فشار هیدرولیکی آب خام تابع عنصرها و عوامل دیگر است که قبلاً در مورد آنها صحبت شده است و عبارتند از:

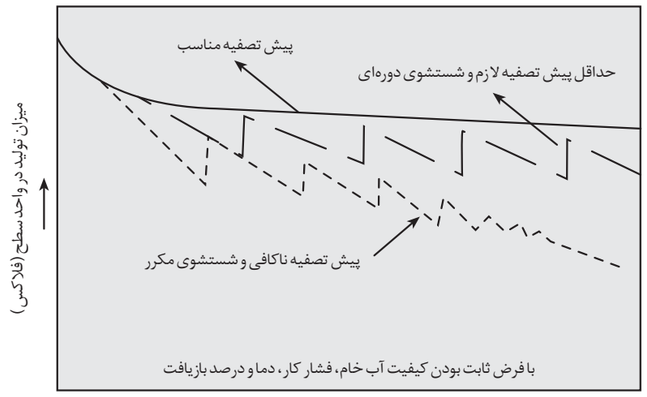
- نوع ممبران؛
- فلاکس؛
- درصد بازیافت؛
- فشار اسمزی آب خام؛
- دمای آب خام؛
- فشار آب تولیدی؛

تاثیر زمان و یا مدت زمان بهره برداری روی فلاکس یا تولید آب در سه حالت حاصل از عملیات پیش تصفیه در دیاگرام شماره ۴-۱۴ نشان داده شده است. بیشتر سازندگان، عمر مفید و یا عمر اقتصادی ممبران های خود را تا ۵ سال ضمانت می کنند و معمولاً هرگاه میزان عبور املاح به دو برابر میزان اولیه برسد و یا میزان عبور آب کمتر از حداقل پیشبینی پذیر گردد، ممبران مرده فرض می شود.

طبق دیاگرام شماره ۴-۱۴ منحنی با خط پر نشان می‌دهد که اگر نتایج عملیات پیش تصفیه مطلوب باشد، با شروع بهره‌برداری نرخ کاهش فلاکس بسیار آرام است و پیشبینی می‌شود که ممبران دارای عمر مفید متعارف خواهد بود. منحنی خط چین نشان می‌دهد که نتایج عملیات پیش‌تصفیه، آبی تولید می کند که کیفیت آن در کف ارقامی که انتظار می‌رود قرار دارد و ممبران باید به طور مرتب مورد شستشو قرار گیرد و روند کاهش فلاکس و پیرشدن ممبران بیشتر از

دیاگرام شماره ۴-۱۴

منحنی‌های کاهش فلاکس در نتایج مختلف پیش تصفیه



حالت اول است. و بالاخره منحنی نقطه چین نشان می‌دهد که به علت اینکه فرایندهای پیش‌تصفیه به دلایلی کارایی کافی ندارد تعداد دفعه‌های شستشوی ممبران بیشتر می‌شود. یعنی مدت زمان بهره‌برداری بین دو شستشو مرتب کوتاهتر می‌شود و فلاکس با سرعت بیشتری کم شده و در نتیجه ممبران زودتر از بین می‌رود. حال با فرض ثابت بودن کیفیت آب خام و فشار هیدرولیکی اولیه و درصد بازیافت آب، مشاهده شد که به هرحال با مرور زمان فلاکس و یا تولید آب ممبران کاهش می‌یابد و برای تولید آب مورد نیاز باید فشار هیدرولیکی روی المانها را افزایش داد و یکی از نتایج افزایش فشار، افزایش فشردگی ممبران و در نتیجه کاهش فلاکس است، لذا باید دست به افزایش فشار هیدرولیکی بیشتر زد. میزان و روند این فشردگی در ممبران‌های مختلف یکسان نیست. گرچه فشردگی اولیه در حدود ۱۰۰ ساعت اول بهره‌برداری رخ می‌دهد اما این فرایند تا اواخر عمر مفید ممبران ادامه خواهد داشت. و به همین جهت بهتر است برای آب تولیدی، فشاری در نظر گرفته نشود تا فشار آب خام لازم به حداقل کاهش یابد. چنانکه بعضی از سازندگان ممبران فشار آب تولیدی را تعریف و محدود می کنند.

در عنصرهای اصلی نمک‌زدایی، تاسیسات شستشوی ممبران باید پیشبینی شود و به طور متناوب ممبران‌ها مورد شستشو قرار گیرند که درباره‌اش بحث شد. در یک تاسیسات مناسب دفعات شستشو نباید از ۴-۶ بار در سال بیشتر شود. اثرات فشار، دما و زمان روی ضریب

جدول شماره ۴-۵: **ضریب کاهش تراوایی در نتیجه فشار هیدرولیکی، دما و مدت زمان بهره برداری**

فشار بر حسب اتمسفر	دما بر حسب درجه سانتیگراد	ظرفیت اولیه	درصد ظرفیت حفظ شده سال اول	درصد ظرفیت حفظ شده سال سوم
۲	۵	۰/۵۵	۹۱/۴	۹۰
	۱۰	۰/۶۴	۹۰/۷	۸۹
	۱۵	۰/۷۴	۸۹/۱	۸۷/۲
	۲۰	۰/۸۶	۸۶/۸	۸۴/۵
	۲۵	۱	۸۲/۸	۸۰
	۳۰	۱/۱۶	۷۶/۷	۷۳
	۳۵	۱/۳۴	۶۷/۵	۶۲/۹
۱/۴	۵	۰/۴	۹۳/۶	۹۲/۵
	۱۰	۰/۴۶	۹۲/۹	۹۱/۷
	۱۵	۰/۵۴	۹۱/۹	۹۰/۵
	۲۰	۰/۶۲	۹۰/۱	۸۸/۳
	۲۵	۰/۷۲	۸۶/۸	۸۴/۵
	۳۰	۰/۸۳	۸۱/۷	۸۷/۸
	۳۵	۰/۹۷	۷۳/۶	۶۹/۳

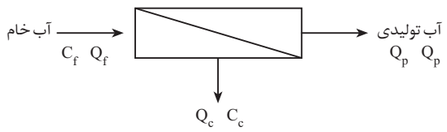
اولیه تراوایی یک ممبران به نام پرماسپ بی جی[1] در جدول شماره ۴-۵ نشان داده شده است. همانطور که مشهود است در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد در سال سوم بهره برداری در صورتی که فشار هیدرولیکی حدود ۲ اتمسفر باشد، ضریب تراوایی ۳۲/۲ درصد کاهش پیدا می کند و اگر فشار ۱/۴ اتمسفر باشد، این کاهش حدود ۲۴/۴ درصد است در حالی که برای دمای ۱۰ درجه سانتیگراد کاهش تراوایی به ترتیب عبارت از حدود ۱۱ و ۸ درصد است.

ترتیب قرارگیری عنصرهای اسمز معکوس

اولا باید توجه داشت که عنصر اصلی تاسیسات نمک زدایی ممبرانی، استوانه‌های فشار حاوی المان‌های ممبران است. معمولا ۶ تا ۸ المان در یک استوانه فشار قرار می گیرد و هر المان دارای توان ۸ تا ۱۵ درصد بازیافت آب کم نمک از آب خام است. توجه شود که هر المان دارای طولی در

1. Permasep B-g

حدود ۴۰ اینچ (۱۰۱ سانتیمتر) است و برای شروع بیان مطلب از دیاگرام شماره ۴-۱۵ استفاده می‌شود.



دیاگرام شماره ۴-۱۵
ورودی و خروجی استوانه فشار

نخست موازنه جرمی و حجمی شکل به اجمال معرفی می‌شود.

$$Q_f = Q_p + Q_c$$

$$C_f Q_f = Q_p C_p + Q_c C_c$$

$$R = \frac{Q_p}{Q_F}$$

به کمک معادله‌های بالا که قبلا هم معرفی شده‌اند محاسبه‌های موازنه حجمی، جرمی و بازیافت برای یک استوانه فشار انجام می گیرد که در فصل ششم به تفصیل آورده شده است.

ترتیب قرار گرفتن استوانه‌های فشار بستگی به هدف تولید آب دارد . برای مثال ترتیب ۲:۱ یعنی دو استوانه فشار به طور موازی قرار دارند و یک استوانه فشار نسبت به آن دو به‌صورت سری یعنی در پایین دست آنها قرار گرفته است. استوانه‌های حاوی المانها با توجه به کیفیت آب خام و کیفیت آب تولیدی دلخواه، انجام می گیرند. که ترتیب پساب[1] و یا ترتیب آب[2] تولیدی نامیده می شوند و بعضی اوقات ترتیب آب تولیدی را عبور چند مرحله‌ای[3] نامند.

طرح ترتیب[4] پساب

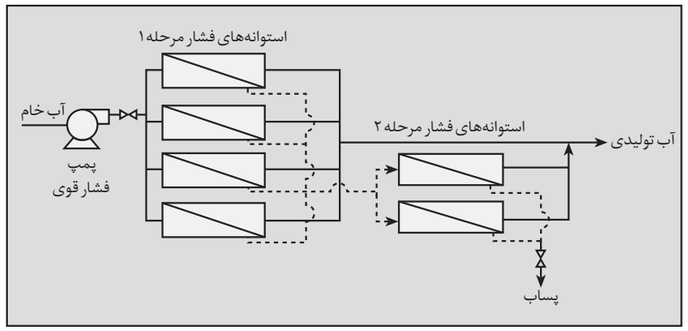
مشاهده شد که هر المان ۴۰ اینچی دارای توان ۸-۱۵ درصد بازیافت است و حداکثر ۸ المان هم در یک استوانه فشار قرار می گیرد و آب خام پس از عبور از هر المان و جداشدن بخشی از آب از جریان اصلی وارد المان دوم می‌شود. آب تولیدی از هر المان وارد مجرای مرکزی جمع‌آوری کننده می‌شود.

1. Concentrate- staged
2. Permeate-staged
3. Multiple Passes
4. Concentrate-staged Design

در دیاگرام ۴-۱۶ که ترتیب پساب نامیده می‌شود و در عین حال یک ترتیب دو مرحله‌ای است که می‌توان تا سه مرحله هم ترتیب این نوع استقرار را انجام داد می‌توان مشاهده کرد که: استوانه‌های فشار طوری استقرار یافته‌اند که پساب خروجی از مرحله اول وارد استوانه‌های فشار مرحله دوم می‌شود و پساب مرحله دوم نیز می‌تواند آب خام مرحله سوم باشد. بدین ترتیب می‌توان درصد بازیافت را افزایش داد. برای مثال جهت دستیابی به ۷۵ درصد بازیافت می‌توان از دو استوانه فشار ۶ المانی برای مرحله اول بهره گرفت و پساب آن را به یک استوانه فشار در پایین دست فرستاد . این ترتیب را ۲:۱ می‌نامند.

دیاگرام شماره ۴-۱۶

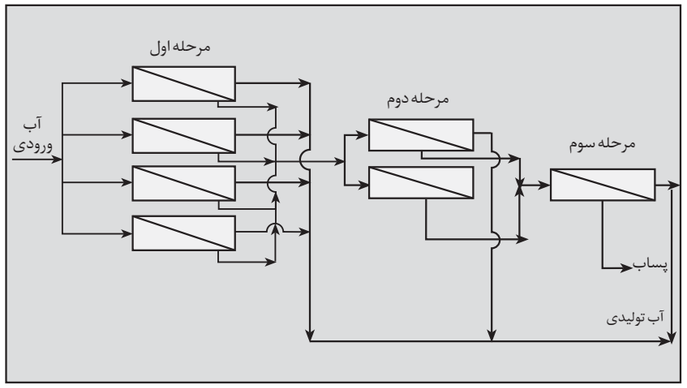
مقطع ترتیب پساب ـ طرح دو مرحله‌ای



حال اگر میزان جریان آب خام ۶/۳ لیتر در ثانیه باشد که وارد استوانه های فشار ۶ المانی مرحله اول شود و این مرحله برای ۵۰ درصد بازیافت باشد که آب تولیدی عبارت است از ۳/۱۵ لیتر در ثانیه و پساب هر یک از استوانه‌ها ۱/۵۵ و در کل ۳/۳ لیتر در ثانیه خواهد بود. سپس میزان ۳/۳ لیتر درثانیه پساب مرحله اول وارد استوانه ۶ المانی مرحله دوم می‌شود و با فرض همان ۵۰ درصد بازیافت، میزان آب تولیدی عبارت خواهد بود از ۱/۵۵ لیتر در ثانیه، لذا مجموع آب تولیدی عبارت است از حدود ۴/۷ لیتر در ثانیه و پساب ۱/۶ لیتر. برای مثال اگر ۴ استوانه فشار به‌صورت موازی در مدار باشند، درصد بازیافت ۵۰ است. حال اگر لازم باشد به ۷۵ درصد برسیم باید ۲ استوانه فشار در مرحله دوم وارد مدار شود و اگر لازم باشد به ۸۵ درصد بازیافت رسید یک استوانه فشار در مرحله سوم طبق شکل باید وارد مدار تولید شود. دیاگرام شماره ۴-۱۷ این وضعیت را نشان می دهد.

دیاگرام شماره ۴-۱۷

استقرار ۳ مرحله‌ای ترتیب پساب



هر یک از مستطیل ها نمایانگر یک استوانه فشار است که در هر کدام از آن‌ها حداقل ۶ المان یا بیشتر قرار دارد. در مرحله دوم ۲ استوانه فشار و در مرحله سوم ۱ استوانه فشار با همان مشخصات وجود دارد. این ترتیب را ۴:۲:۱ می‌نامند.

بدین ترتیب که پساب مرحله اول نمک‌زدایی، بعنوان آب خام ممبران‌های مرحله دوم عمل می‌کنند و پساب مرحله دوم، آب خام ورودی به مرحله سوم است . لذا بازیافت مرحله اول ۵۰ درصد و با مرحله دوم ۷۵ درصد و با مرحله سوم ۸۲/۵ درصد خواهد بود که در صفحه‌های بعد خواهد آمد.

حال اگر استوانه های فشاری دارای ۷ المان باشد در مرحله اول بازیافت ۶۵ درصد و پس از مرحله دوم بازیافت به ۸۵ درصد می رسد. لذا ترتیب استقرار تابع کیفیت آب خام و کیفیت آب تولیدی خواهد بود. در تاسیساتی که از فیبرهای توخالی استفاده می شود هر استوانه فشار حاوی یک دسته از ممبران‌های فیبری است که باز هم المان نامیده می‌شود و مدول‌ها در هر مرحله به طور موازی قرار می گیرند و بر مبنای پساب هر مدول، محاسبه‌های هیدرولیکی بنا می‌شود. یعنی لوله اصلی جمع آوری پساب‌ها در سیستم پیشبینی شده است.

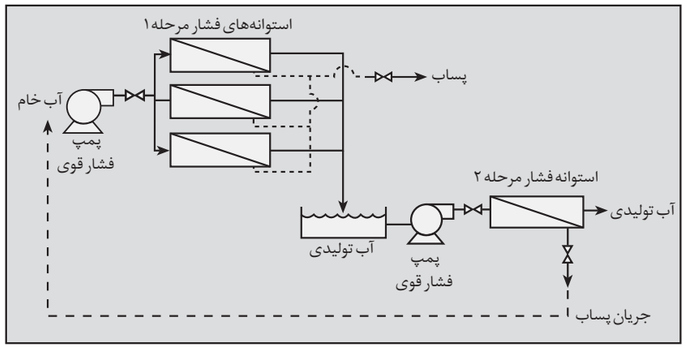
در بیشتر شرایط یک افت فشار حدود ۲/۴ اتمسفر و یا کمتر برای هر مرحله در نظر گرفته می‌شود و بدین وسیله تعادل حجمی آب در جدول تنظیم می‌شود. در استفاده از این

نوع ممبران‌ها نیز ۵۰، ۷۵ و ۹۵ درصد بازیافت برای هر مرحله اول تا سوم قابل طراحی و تولید است که در فصل ششم محاسبه‌ های لازم انجام گرفته است.

طرح ترتیب آب تولیدی[1]

در شرایطی که مجموع املاح آب خام آنقدر زیاد باشد که با استفاده از یک مرحله نمک‌زدایی آب مطلوب تولید نشود، باید از ترتیب آب تولیدی مانند دیاگرام شماره ۴-۱۸ بهره گرفت.

دیاگرام شماره ۴-۱۸
ترتیب آب تولیدی



این ترتیب قرارگیری استوانه‌های فشار برای نمک‌زدایی آب‌های خیلی شور مانند آب خلیج فارس با غلظت املاح حدود ۴۵،۰۰۰ میلی گرم در لیتر بسیار رایج است که در دیاگرام شماره ۴-۲۶ نشان داده شده است. حال اگر آب خام دریا دارای مجموع املاح حدود ۳۵،۰۰۰ میلی گرم در لیتر باشد و کیفیت آب تولیدی لازم محدودیت بیشتری نسبت به آب شرب داشته باشد و یا هنگامی که ضریب اطمینان برای تولید آب، لازم است، آب تولیدی مرحله اول به عنوان آب خام وارد استوانه‌های فشار مرحله دوم نمک‌زدایی می شود. در مرحله دوم به دلیل غلظت بسیار کم املاح در آب ورودی به المان‌ها، فشار هیدرولیکی کمتری مورد نیاز است .

1. Permeate - Staged Design

به طور معمول آب تولیدی مرحله اول برای مصرفهای شرب می‌تواند با بخشی از آب خروجی تاسیسات پیش تصفیه که فرایند نمک‌زدایی را کنار گذر کرده است اختلاط یابد که دارای مزایای زیر است:

- کاهش سطح ممبران‌های نمک‌زدایی؛
- کاهش پساب تولیدی؛
- کاهش سرمایه گذاری و هزینه بهره برداری و نگهداری؛
- کاهش حجم آب مورد تصفیه نهایی برای جلوگیری از خورندگی آن و اصلاحات دیگر؛

برای انجام محاسبه‌های مربوط به اختلاط می‌توان از معادله زیر بهره گرفت.

$$\frac{Q_p}{Q_{fi}} = \frac{C_s - C_g}{C_s - C_p}$$

که در آن:

Q_p عبارت است از میزان تولید آب از استوانه های فشار؛

Q_{fi} عبارت است از میزان آب مورد نیاز که بیشتر از Q_p است؛

C_s عبارت است از غلظت املاح در آب ورودی به استوانه های فشار؛

C_p عبارت است از غلظت املاح آب تولیدی؛

C_g عبارت است از غلظت املاح در آب مورد مصرف و یا تحویلی؛

و لذا

$$Q_b = Q_{fi} - Q_p$$

که در این معادله:

Q_b عبارت است از میزان آب کنار گذر دستگاه نمک‌زدایی برای اختلاط.

حال میزان آب خام را باید تعیین کرد. میزان آب خام مورد نیاز دستگاه از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_s = Q_{fi} \times \left(\frac{BR}{Y} + ۱ - BR \right)$$

که در آن:

Q_s عبارت است از میزان آب خام؛

BR عبارت است از تناسب اختلاط دو آب یعنی $\frac{Q_P}{Q_{fi}}$

Y عبارت است از تناسب بازیافت = $\frac{Q_P}{Q_f}$

Q_{fi} عبارت است از میزان آب مورد نیاز؛

با روش محاسبه‌های موازنه جرمی نیز می‌توان تناسب آب تولیدی، آب مورد نیاز و آب کنارگذر دستگاه را تعیین کرد، به شرط آنکه آنالیز کامل شیمیایی آب و یا حداقل مجموع املاح دو آب در دست باشد.

به هرحال بیشتر سازندگان ممبران‌ها و بعضی از مشاوران، نرم افزارهایی تهیه کرده‌اند که فشار هیدرولیکی آب خام و کیفیت آب تولیدی را در سالهای اول و آخر عمر مفید ممبران تعریف می‌کند که دسترسی به آن ها مشکل نیست.

باید توجه داشت که شرایط بهره‌بردای مانند کیفیت آب خام و دمای آن در طول زمان تغییر می‌کند و لذا پیشبینی آن از این طریق باید با احتیاط انجام گیرد. زیرا بسیاری از عوامل ایجاد گرفتگی در دوران بهره‌برداری به مرور ظاهر می‌شود. به هرحال برای عملکرد سیستم پیشبینی عوامل زیر ضرورت دارد :

- ترکیب شیمیایی و دمای آب خام؛
- ظرفیت تولیدی فرایندها و درصد بازیافت؛
- طرح سیستم شامل تعداد المان‌ها در هر استوانه فشار و نوع ممبران؛
- انواع گرفتگی های احتمالی؛
- عمر مفید ممبران.

شستشوی المان‌ها

تاسیسات ممبرانی باید طوری طراحی و نصب شوند که طبق برنامه، مورد شستشو قرار گیرند. هدف از شستشو خارج کردن آب خام نسبتاً غلیظ شده بخاطر فرایند پلاریزاسیون از استوانه‌های فشار است. حتی اگر به آب خام ترکیبهای بازدارنده ترسیب افزوده شده باشد، اگر دستگاه مدتی از مدار خارج نشود احتمال دارد که ترسیب انجام گیرد. لذا از تاسیسات شستشو برای جابه‌جایی آب خام با آب تولیدی کم نمک استفاده می شود و در نتیجه پیشبینی تاسیسات ذخیره بخشی از آب تولیدی برای شستشوی المان‌ها ضروری است. در مواردی که منبع آب خام، آب زیرزمینی است که دارای سولفید هیدروژن است استفاده از آب خام برای شستشو بهتر از آب تولیدی است زیرا در آب تولیدی که در مخزنی ذخیره می شود سولفید هیدروژن تبدیل به کلوئید گوگرد می شود که شستشوی ممبران با آن باعث بروز گرفتگی می‌شود.

اگر در آب تولیدی کلر وجود دارد و اگر ممبران مورد استفاده نسبت به کلر حساسیت داشته باشد نباید از این آب برای شستشو استفاده شود. اما اگر ممبران‌ها از ترکیبهای سلولزی ساخته شده‌اند استفاده از این آب مطلوب است زیرا در مدتی که سیستم در خط تولید نیست، باکتری‌ها در آن نمی‌توانند رشد کنند.

در تاسیساتی که از ممبران‌های فیبرهای تو خالی استفاده می شود طراحی طوری انجام می گیرد که بخشی از آب تولیدی در مخزنی ذخیره می‌شود که با توقف پمپ‌های فشار قوی آب تصفیه شده به طور ثقلی با جریان معکوس وارد استوانه‌های فشار شده و در آن باقی می‌ماند و مانع بروز فرایند اسمز طبیعی می‌شود.

بازیافت انرژی

در تاسیسات نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس و حتی نانوفیلتر باید از پمپ‌های فشار قوی استفاده شود و برای بهینه کردن مصرف انرژی از انواع دور متغیر استفاده می‌شود. با توجه به فشار هیدرولیکی پساب باید از تأسیسات بازیافت انرژی استفاده کرد. استفاده از چنین تاسیساتی باید بر مبنای آنالیزهای اقتصادی هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری انجام گیرد.

انتخاب چنین تاسیساتی تابعی از میزان جریان و تغییرات آن، فشار پساب برای بازیافت انرژی و هزینه های مربوط است.

- **افزایش بازده مصرف انرژی**: تکنولوژی استفاده از ممبران‌های اسمز معکوس در طی ۲۰ سال گذشته با موفقیت‌هایی روبه‌رو بوده است به طوری که هزینه های بهره برداری آن کاهش یافته است.

با توجه بیشتر به شرایط بهره برداری و بهبود وسایل مورد استفاده، رسیدن به مصرف انرژی حدود ۱/۶ کیلووات ساعت برای هر متر مکعب آب تولیدی یک هدف است. آب نمک غلیظ خروجی از استوانه فشار که در این کتاب پساب نامیده می شود دارای فشار هیدرولیکی معادل فشار ورودی به استوانه منهای حدود ۲ اتمسفر است که استفاده از این فشار مورد توجه سازندگان دستگاههای بازیافت انرژی قرار گرفته است.

تاسیسات بازیافت انرژی فشاری پساب اسمز معکوس را می‌توان در دو گروه سانتریفوژ و مبادله فشار تقسیمبندی کرد. در گروه اول طبق شکل شماره ۴-۱ بخش (ب) فشار

پساب به نیروی مکانیکی تبدیل شده و سپس این نیرو به وسیله شافت به پمپ فشار قوی منتقل می‌شود. این نوع تاسیسات تحت نام کلی توربین‌ها دارای میزان بازیافت ۷۰-۸۰ درصد است که در جدول شماره ۴-۶ آورده شده است در گروه دوم، دستگاههای مبادله کار و فشار قرار دارند که از معروفترین آنها دستگاه مبادله فشار پی اکس است.

جدول شماره ۴-۶: سودمندی بازیافت انرژی در تاسیسات مختلف

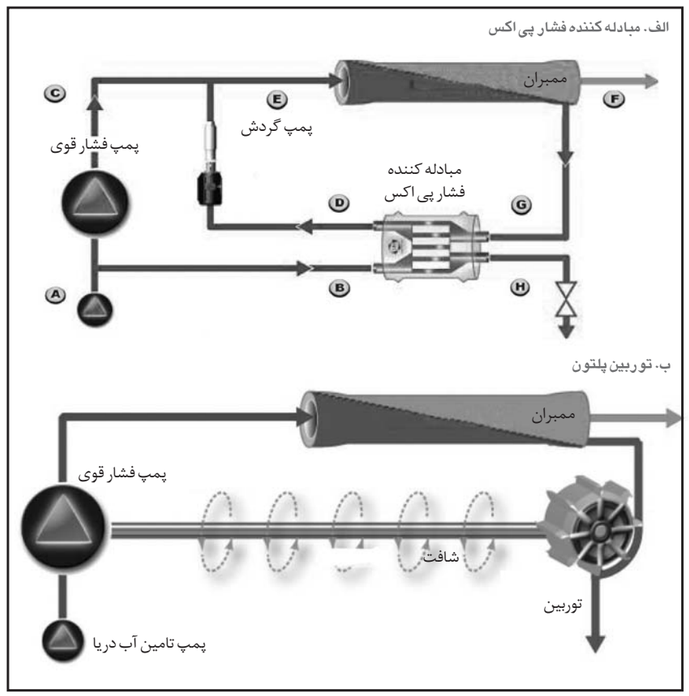
نوع و نام دستگاه	درصد بازیافت
توربین فرانسیس	۷۶
توربین پلتن	۸۷
توربو شارژر	۸۷
مبادله کننده فشار	۹۶

طرز کار دستگاه، به طور ساده و طبق بخش الف شکل شماره ۴-۱ بدین ترتیب است که پساب تحت فشار در لوله G وارد دستگاه مبادله فشار پی اکس می شود و از طرف دیگر آب خام با فشار کم نیز از طریق لوله B وارد دستگاه مبادله فشار می گردد در دستگاه دو آب در لحظه‌هایی کوتاه در تماس قرار می گیرند و آب خام با فشار پساب از دستگاه خارج و از طریق پمپ گردش آب و از طریق لوله E وارد استوانه فشار می شود. زمان این تماس دو آب بسیار کوتاه است و به هرحال غلظت املاح آب خام افزایش پیدا می کند.

اهمیت استفاده از دستگاه مبادله کننده فشار در این است که ظرفیت پمپ فشار قوی را در حد میزان تولید پساب کاهش می دهد و تنها حدود ۴ درصد بیشتر از ظرفیت آب تولیدی است و بقیه آب، معادل میزان پساب به وسیله دستگاه پی اکس و از طریق پمپ گردش مجدد به استوانه فشار هدایت می شود و در نتیجه پمپ فشار قوی ۱۵ تا ۳۰ درصد کمتر انرژی الکتریکی مصرف می کند.

چنانکه اظهارنظر می‌شود حدود ۰/۴ کیلووات ساعت برای متر مکعب آب تولیدی انرژی کمتری به کار می‌رود. لذا در این صورت به عنوان مثال برای تولید ۷/۶ متر مکعب آب در دقیقه، ظرفیت پمپ فشار قوی ۷/۷ و ظرفیت پمپ گردش آب ۱۱/۲۵ و میزان پساب معادل ۱۱/۳۵ و مقدار کل آب خام ۱۹ متر مکعب در دقیقه است که حاکی از درصد بازیافت ۴۰ می‌باشد.

شکل شماره ۴-۱: دو نوع دستگاه بازیافت انرژی موجود



فشار آب در لوله خروجی پمپ فشار قوی عبارت است از ۵۹ و در خروجی پمپ گردش آب عبارت است از ۵۷ اتمسفر. مصرف انرژی در این دستگاه عبارت است از ۲/۱۷ کیلووات ساعت برای مترمکعب آب تولیدی است.

تصمیمگیری در مورد استفاده از دستگاه‌های بازیافت انرژی به وسیلهٔ دستگاه مبادله فشار نیاز به انجام و تعیین تعداد و مشخصات آنها و هزینه سرمایه گذاری و بهره برداری و نگهداری و تعیین ارزش فعلی صرفه جویی در مصرف برق و مقایسه اقتصادی و تصمیمگیری نهایی دارد.

گرچه مبادله کننده فشار دارای سودمندی بهتری نسبت به گروه توربین‌هاست اما انتخاب دستگاه تابع بعضی از عوامل و شرایط است. برای مثال اگر انرژی مسئله اصلی هزینه‌های بهره‌برداری است، طبیعی است دستگاهی که بیشترین بازده در بازیافت را دارد

انتخاب اول است. اما اگر هزینه های سرمایه گذاری مسئله اصلی است مبادله کننده های کار و فشار به علت گرانی خرید آن‌ها، لزوما انتخاب بهتر نیست. نکته دیگر اندازه و ظرفیت این دستگاههاست که در طرحهای بزرگ به تعداد بیشتری از آنها نیاز خواهد بود و بالاخره در زمینه کاهش مصرف انرژی و کاهش فشار هیدرولیکی روی ممبران ها باید گفت که با بهبود نسبی تراوایی نسبت به آب و دفع املاح ممبران ها باعث کم شدن فشار هیدرولیکی مورد نیاز برای حفظ یک فلاکس ثابت شده است.

باید توجه داشت که تماس مستقیم لحظه‌ای پساب و آب خام در دستگاه پی اکس باعث افزایش غلظت املاح آب خام می‌شود که در نتیجه فشار اسمزی آب افزایش می یابد. حال اگر میزان دو آب ورودی به دستگاه پی اکس مساوی باشد حدود اختلاط ۶ درصد خواهد بود و برای درصد بازیافت ۴۰ حدود ۲/۵ درصد شوری آب خام افزایش می‌یابد لذا برای بهره‌برداری از دستگاه پی اکس باید برنامه‌ریزی کرد زیرا با افزایش شوری در صورت حفظ فشار خالص موثر میزان تولید کاهش می یابد لذا ۳ روش برای جبران این کاهش وجود دارد:

۱. کاهش بازیافت در حد ۲ درصد که باعث افزایش آبگیری آب خام در حد ۵ درصد خواهد شد.

۲. افزایش سطوح ممبران ها در حدود ۶ درصد

۳. افزایش میزان آب کم فشار به دستگاه پی اکس در حد ۵ درصد

هر یک از روش ها دارای مزایا و محدودیت هایی است که در هر طرح باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. از محاسبه‌های ساده موازنه جرمی و انرژی انجام شده نتیجه گرفته شده است که با بهبود کار ممبران‌ها، مصرف انرژی در آنها ممکن است تا حدود ۱۵ درصد کاهش یابد که مبنای آن برای شرایط ۴۰ درصد بازیافت آب و ۹۵ درصد بازیافت انرژی است. که برای رسیدن به آن هنوز به مطالعه‌های بیشتری نیاز خواهد بود.

تاسیسات اسمز معکوس و کنترل درصد بازیافت

این تاسیسات برای تولید آب مصرفهای مختلف، طرح و ایجاد می‌شوند، این مصرفها عبارتند از:

- آب دیگ‌های بخار، برای مصرفهای فرایندی و یا سرد کردن؛
- برای مصرفهای فرایندی و شستشوی دستگاه‌ها در صنایع الکترونیک، داروسازی و غیره؛
- برای تولید آب شرب و حتی کشاورزی؛

لذا درجه خلوص آب تولیدی از نظر مجموع املاح محلول تابع نوع مصرف آن است. تاسیسات اصلی این کارخانه‌ها عبارتند از:

- تاسیسات پیش تصفیه که در بخش‌های آخر فصل ارائه شده است؛
- تاسیسات تصفیه نهایی که آن‌هم در بخش‌های آخر فصل ارائه شده است؛
- فیلتر کارتریج با اندازه روزنه‌های ۵-۲۵ میکرون قبل از پمپ فشار قوی؛
- پمپ های فشار قوی انتقال آب خام به درون استوانه‌های فشار حاوی المان‌ها؛
- استوانه‌های فشار حاوی المان‌های زدایش املاح؛
- شیرهای کنترل کننده جریان پساب برای حفظ درصد بازیافت و کیفیت آب تولیدی؛

در جدول شماره ۴-۷ مقایسه فرایندهای نمک زدایی آب های لب شور ارائه شده است. در دیاگرام شماره ۴-۱۹ عنصرهای اصلی تاسیسات نمک‌زدایی ممبرانی با یک استوانه فشار به نام استوانه تولید آب یا استوانه نمک‌زدایی از آب نشان داده شده است.

جدول شماره ۴-۷: مقایسه فرایندهای نمک زدایی آب‌های لب شور

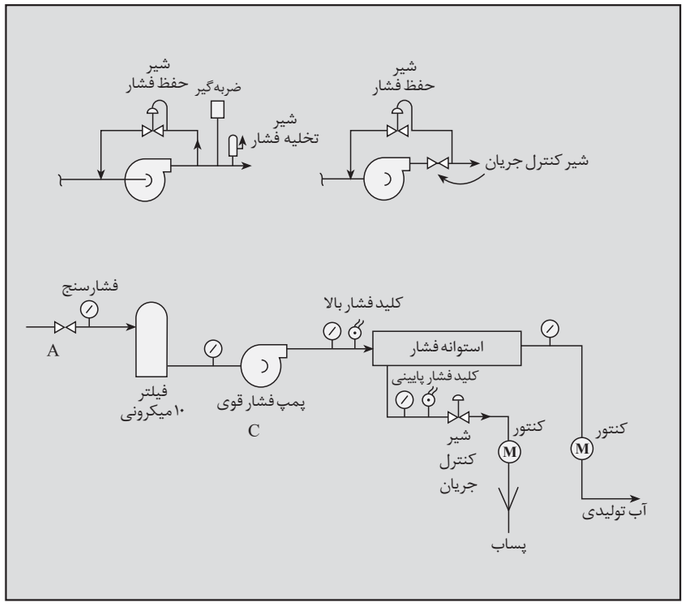
عوامل	اسمزمعکوس	الکترویالیز ریورسال	نانو فیلتر
دمای بهره برداری برحسب درجه سانتیگراد	کمتر از ۴۵	کمتر از ۴۳	کمتر از ۴۵
پیش تصفیه لازم	زیاد	متوسط	زیاد
برق مصرفی (کیلووات ساعت بر متر مکعب آب تولیدی)	۳-۰/۵	تقریبا ۰/۵	کمتر از ۱
ظرفیت متعارف یک «ترین[1]» به متر مکعب	کمتر از ۳۰،۰۰۰	کمتر از ۱۲،۰۰۰	کمتر از ۲۰،۰۰۰
درصد یون های حذف شده	۹۹-۹۹/۵	۹۵-۵۰	۹۸-۵۰
درصدبازیافت	۹۰-۵۰	۹۰-۵۰	۹۰-۵۰

کار دستگاه چنین است که آب خام در نقطه A وارد سیستم می شود و از فیلتر کارتریج عبور می‌کند و به پمپ فشار قوی C می رسد. در بالا دست و پایین دست فیلتر کارتریج باید دو فشارسنج نصب شود و هر گاه افت فشار در آن از حد معینی بیشتر شد وقت آن است که فیلتر تعویض شود.

1. Train

دیاگرام شماره ۴-۱۹

عنصرهای اصلی تاسیسات نمک زدایی ممبرانی با یک استوانه فشار



برای کنترل کار پمپ دو گزینه نشان داده شده است اما اگر بتوان پمپی را انتخاب کرد که با وجود ۳ متغیر زیر، فشار آب را در حد نیاز استوانه فشار حفظ کند نیازی به کنترل فشار آن نیست.

- فشار مکش؛
- میزان تولید آب ؛
- میزان عبور پساب؛

اما چون چنین شرایطی دستیافتنی نیست روشهای کنترل زیر ضرورت دارد.

- **الف:** چون با پمپ‌های جابه‌جایی نمی‌توان کنترل فشار را اعمال کرد، باید از موتورهای با دور متغیر بهره گرفت و یا از شیر فشار برگشت (شیر حفظ فشار) نصب شده روی لوله کنار گذر پمپ که لوله رانش و مکش را به هم ربط می دهد، استفاده نمود. البته می توان از ترکیب دو روش

هم بهره گرفت و جریان آب را ثابت حفظ کرد. با اینکه لوله کنار گذر پمپ پیشبینی شده است شیر کنترل ضربه آب هم باید پیشبینی شود. با پیشبینی یک مخزن ضربه‌گیر می‌توان نوسانهای آبدهی پمپ را هم از بین برد تا به ممبران‌ها آسیبی نرسد. امروزه از تاسیسات اینورتور[1] هم بهره‌گیری می شود.

- **ب:** پیشنهاد شده است که با نصب یک شیر کنترل جریان در روی لوله رانش پمپ میزان عبور آب را یکنواخت حفظ کرد و یا طبق شکل نصب یک شیر کنترل کننده فشار و یا جریان روی لوله کنار گذر به این هدف رسید اگر پمپ انتخاب شده قادر است که فشار هیدرولیکی بیشتر از نیاز استوانه فشار تولید کند. نصب کلید کنترل فشار هیدرولیکی زیاد باید کافی باشد و یا نصب شیر کاهش فشار یا ضربه‌گیر ضرورت پیدا می‌کند.

پس از پمپ فشار قوی، آب به ورودی استوانه فشار می رسد. طبق دیاگرام شماره ۴-۱۹ دو جریان از استوانه فشار خارج می شود.

جریان آب تولیدی معمولاً با فشاری در حدود فشار جو، از استوانه خارج می شود. اگر آب تولیدی فشار بیشتری پیدا کند، باعث کاهش تولید فلاکس می شود مگرآنکه فشار آب خام افزایش یابد که پیامدهای نامطلوب دیگری دارد.

همان‌طور که در صفحه‌های پیشین به تفصیل و به کمک معادله‌های ریاضی بیان شد، فشار آب خام منهای فشار آب تولیدی، نیروی موثر در تولید آب است. اما پساب با فشاری تقریبا معادل فشار آب خام از استوانه فشار خارج می‌شود. گفته شده که تقریبا افت فشار هیدرولیکی آب در عبور از استوانه در حدود ۲-۲/۵ اتمسفر است.

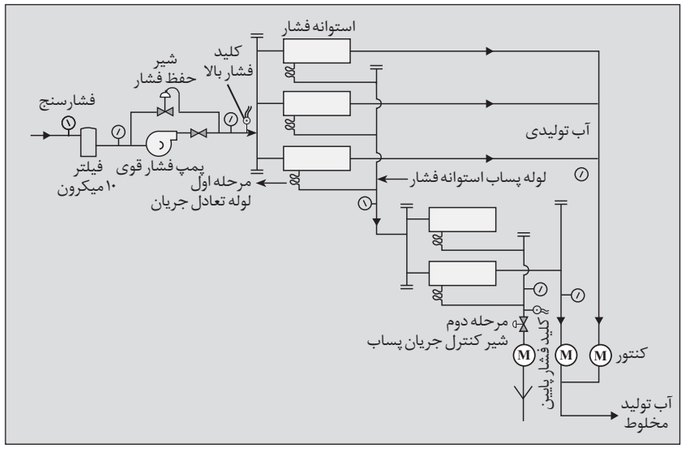
جریان خروجی پساب از استوانه فشار باید به وسیلهٔ یک شیر کنترل جریان تنظیم شود. تحت هیچ شرایطی روی این لوله خروجی پساب نباید شیر کنترل فشار نصب شود زیرا با کاهش فشار آب خام ممکن است شیر کنترل فشار به طور خودکار بسته شود و جریان پساب متوقف گردد و در نتیجه بازیافت به شرایط ۱۰۰ درصد نزدیک گردد که حاصل آن ترسیب املاح آب خام روی ممبران ها خواهد بود.

---

1. Frequency Invertor

دیاگرام شماره ۴-۲۰

ترتیب پساب برای بازیافت بیشتر از ۵۰ درصد



در دیاگرام شماره ۴-۲۰ ابزار دقیق لازم نشان داده شده است که مورد بحث قرار می گیرد.

- **الف:** علاوه بر مطالب قبلی در زمینه کنترلها، یک فشار سنج باید بین پمپ فشار قوی و استوانه فشار و در پایین دست هر نوع ابزار کنترل نصب شود، همچنین باید یک فشارسنج روی لوله پساب یعنی لوله خروجی استوانه فشار و دستگاه اندازه‌گیری جریان و همچنین روی لوله آب تولیدی نصب گردد.
- **ب:** روی هر دو لوله آب تولیدی و پساب باید دستگاه مناسب اندازه گیری میزان جریان مانند کنتورهای مغناطیسی نصب گردد تا بتوان ضریب بازیافت را تنظیم کرد. چون جریان آب تولیدی فقط باید اندازه گیری شود و جریان آب توسط شیرکنترل نصب شده روی لوله پساب تنظیم می‌شود لذا درصد بازیافت با تغییر میزان پساب انجام می گیرد.
- **ج:** در مورد نصب کلید فشار زیاد[1]، گفتگو شد، نصب کلید فشار کم[2] هم در بالادست شیر کنترل و روی لوله پساب ضرورت دارد تا اگر در میزان جریان پساب تغییر خاصی رخ دهد ابزار دقیق مربوط اعلام کند. برای مثال اگر فیلتر کارتریج دچار گرفتگی شده و میزان عبور آب آن

1. High-Pressure Switch
2. Low-Pressure Switch

کاهش یافته و یا پمپ فشار قوی، نتواند فشار کافی ایجاد کند کار تولید آب متوقف و علت معلوم گردد، در غیر این صورت گرفتگی ممبران‌ها رخ می‌دهد. عنصرهای اصلی گفته شده برای هر دو نوع المان صفحه‌ای و فیبری تقریبا مشابه است. به هرحال در تاسیسات استفاده از ممبران‌های مارپیچ و برای جلوگیری از بروز آسیب به فیلترهای کارتریج در هنگام توقف ناگهانی پمپ لازم است یک شیر یکطرفه در پایین‌دست پمپ و یک شیر یکطرفه روی لوله تولید آب نصب شود.

سیستم‌های چند مرحله‌ای استوانه فشار حاوی المان‌ها که در دیاگرام‌های ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نشان داده شده است تاسیسات اصلی کنترل فرایندها را نشان می‌دهد. دیاگرام شماره ۴-۲۱ ترتیب یک مرحله‌ای نمک زدایی برای بازیافت ۵۰ درصد و کمتر را نشان می‌دهد همچنین در جدول شماره ۴-۸ عملکرد بازیافت چند استوانه فشار ارائه شده است.

جدول شماره ۴-۸: عملکرد بازیافت چند استوانه فشار

تعداد المان‌ها در یک استوانه فشار	حداکثر بازیافت در مرحله اول و با فشار زیاد	حداکثر بازیافت در مرحله دوم و با فشار کم
۴	۴۰	۳۵
۵	۵۰	۴۵
۶	۵۵	۵۰
۷	۶۵	۶۰
۸	۷۵	-

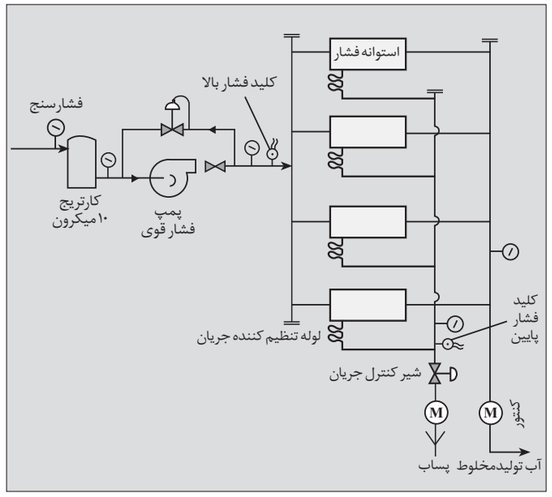
تاسیسات دارای چندمرحله استوانه‌های فشار

در دیاگرام شماره ۴-۲۰ ترتیب پساب[1] نشان داده شده است. در دیاگرام فقط دو مرحله نشان داده شده است ،اما می‌تواند سه و یا چهار مرحله نمک‌زدایی انجام گیرد که هدف، درصد بیشتر بازیافت است. هرگاه درصد بازیافت کل مورد نظر باعث شود که میزان پساب هر یک از استوانه‌های فشار کمتر از میزان حداقل شود، در این صورت ترتیب پساب منطقی نخواهد بود مگر آنکه گردش مجدد مورد توجه قرار گیرد. معمولا ترتیب دو مرحله‌ای ممکن است ۷۰ تا ۸۰ درصد

1. Reject Staging or Concentrate Staging

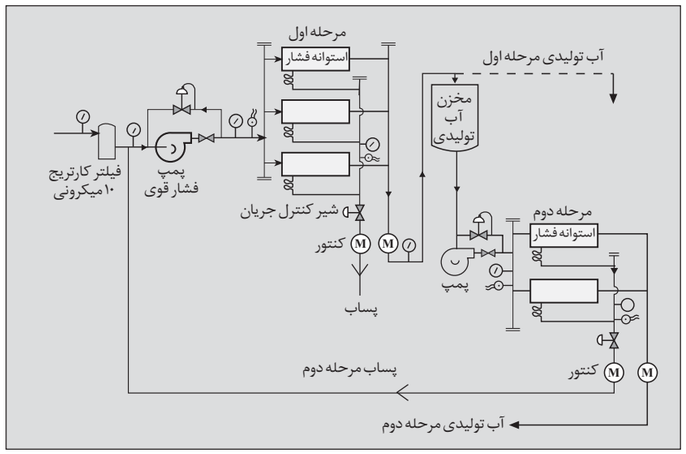
دیاگرام شماره ۴-۲۱

اسمز معکوس یک مرحله با بازیافت ۵۰ درصد یا کمتر



دیاگرام شماره ۴-۲۲

ترتیب آب تولیدی



بازیافت داشته باشد و برای بازیافت ۸۰ تا ۹۰ درصد نیاز به ۳ مرحله ترتیب است. در استوانه‌های فشار بعضی سازندگان، افت فشار در حدود ۱/۳ اتمسفر است و لذا ترتیب دو مرحله‌ای پساب امکانپذیر است. نصب لوله‌های تنظیم جریان[1] در خروجی هر یک از استوانه‌های فشار توصیه می‌شود. به طور کلی در صورت وجود چندین استوانه فشار با کارکرد موازی با وضعیت استقرار یک استوانه فشار توجه شود که در خروجی هر استوانه فشار باید تاسیسات تنظیم جریان نصب شود تا جریان آب را در بین آنها تنظیم کند زیرا به هر حال افت فشار بین استوانه‌ها ممکن است با هم کمی اختلاف داشته باشند. توصیه می شود ترتیبی برگزیده شود که افت فشار در هر یک از استوانه‌ها تا لوله اصلی پساب آنها در حدود ۲/۴ اتمسفر حفظ گردد.

دیاگرام شماره ۴-۲۲ ترتیب آب تولیدی را نشان می‌دهد. در حقیقت شامل دو سیستم مجزاست که آب تولیدی سیستم اول و یا مرحله اول در مخزنی جمع آوری می شود و از نو به کمک پمپ فشار قوی به استوانه های فشار مرحله دوم فرستاده می‌شود. دیاگرام شماره ۴-۲۳ طرح پیشنهادی یک شرکت سازنده فیبرهای توخالی را نشان می‌دهد.

در صورتی که آب تولیدی مرحله اول مطلوب نباشد، ترتیب آب تولیدی طبق دیاگرام شماره ۴-۲۲ به کار می رود. پساب مرحله دوم معمولاً بهتر از آب خام ورودی مرحله اول است و لذا به ابتدای تاسیسات، هدایت می‌شود تا با آب خام مخلوط شود . توجه شود که در ترتیب پساب دو مرحله‌ای علاوه بر اینکه درصد بازیافت افزایش می یابد که هدف اصلی است، عبور نمک از این دو مرحله کمتر از عبور نمک از دو مرحله مستقل است. لذا غلظت نمک در آب تولیدی کمتر است و توجه شود که المان های مرحله دوم یعنی پایین دست در خطر ترسیب و گرفتگی شیمیایی بیشتری هستند. بعلاوه در این استقرارها که به صورت دیاگرام نشان داده شده است کنترلهای اساسی دیگری نیز الزامی است تا تاسیسات در حد مطلوب عملکرد داشته باشند. این کنترل ها که برای هر استوانه فشار به طور مستقل باید نصب شود عبارتند از:

۱. اندازه گیری هدایت الکتریکی آب تولیدی؛

۲. اندازه گیری هدایت الکتریکی پساب؛

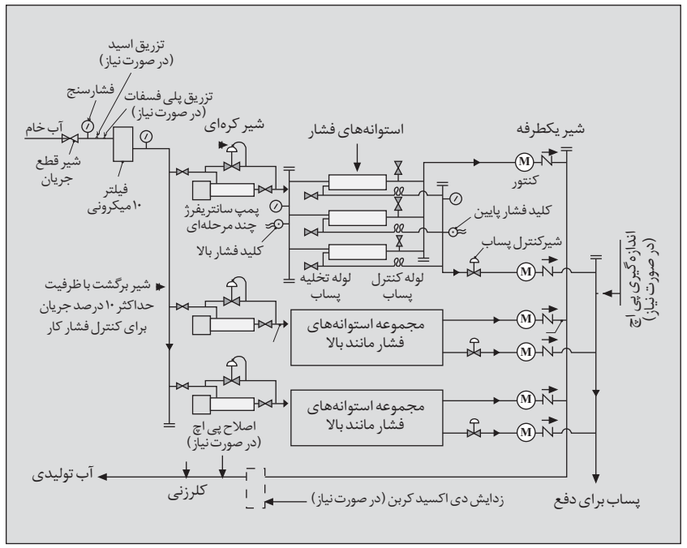
۳. اندازه گیری فشار هیدرولیکی پساب در بالا دست هر نوع تاسیسات کنترل جریان.

---

1. Flow Blancing Tube

دیاگرام شماره ۴-۲۳

تاسیسات ممبرانی پیشنهادی یک شرکت تولید کننده فیبرهای توخالی

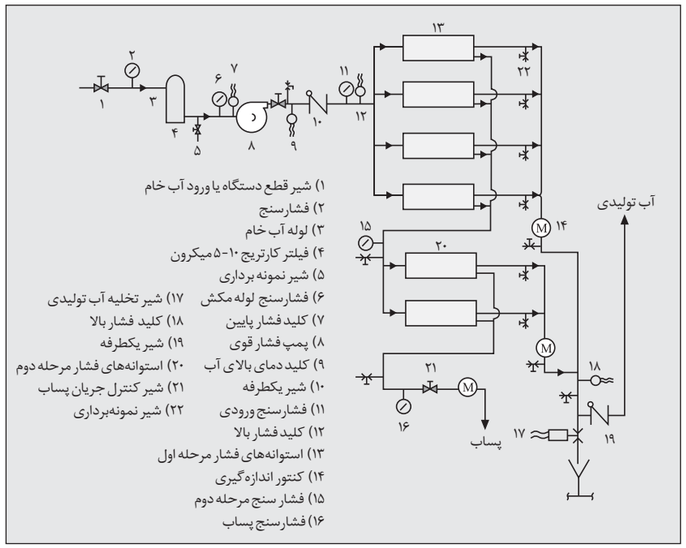


این اندازه‌گیری‌ها وضعیت عملکرد هر استوانه فشار را نشان خواهد داد و هیچ ارتباطی با اندازه‌گیری‌های مربوط به عملکرد کل تصفیه‌خانه ندارد لذا پیشبینی شیرهای نمونه برداری آب و دستگاه قابل حمل اندازه گیری هدایت الکتریکی آب از الزامات است و در دیاگرم شماره ۴-۲۴ نشان داده شده است. در دیاگرام شماره ۴-۲۴ ترتیب پساب برای تاسیسات ممبرانی از نوع صفحه ای پیچیده نشان داده شده است. که چون در مرحله اول بازیافت ۳۰ تا ۵۰ درصد است برای به دست آوردن بازیافت ۷۰ تا ۸۰ درصد باید پساب مرحله اول وارد استوانه های فشار مرحله دوم شود. طبق دیاگرام در مرحله اول ۴ و در مرحله دوم هم ۲ استوانه فشار در نظر گرفته شده است که روی هم ۳۶ و یا ۴۲ المان در آنها وجود دارد.

برای کنترل کیفیت آب تولیدی در استفاده از فرایندهای نمک زدایی ممبرانی لازم است به طور مرتب کیفیت آب بخش‌های مختلف کارخانه زیر نظر باشد، لذا باید نمونه برداری شده و مورد آزمایش قرار گیرد. محل‌های تقریبی نمونه برداری در دیاگرام شماره ۴-۲۴ نشان داده شده است. به هرحال دفعه‌های نمونه‌برداری و تعیین کیفیت آب در جدول شماره ۴-۹ ارائه شده است.

دیاگرام شماره ۴-۲۴

تاسیسات ممبرانی از نوع اسپیرال با درصد بازیافت بیشتر از ۵۰ درصد

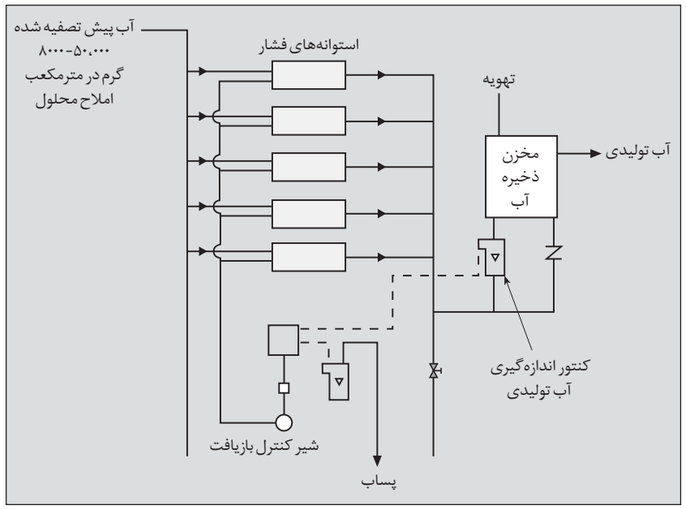


جدول شماره ۴-۹: دفعات نمونه‌برداری از تاسیسات اسمز معکوس و نانوفیلترها

هدف نمونه برداری	هر ۸ ساعت	هر هفته	هر ماه
فشار استوانه	×		
فشار پساب		×	
میزان جریان	×		
دما	×		
املاح محلول: • هر مرحله • هر استوانه فشار		× ×	
پی اچ	×		
اس دی ای	×		
کیفیت آب خام			×
ضریب لانگلیر		×	

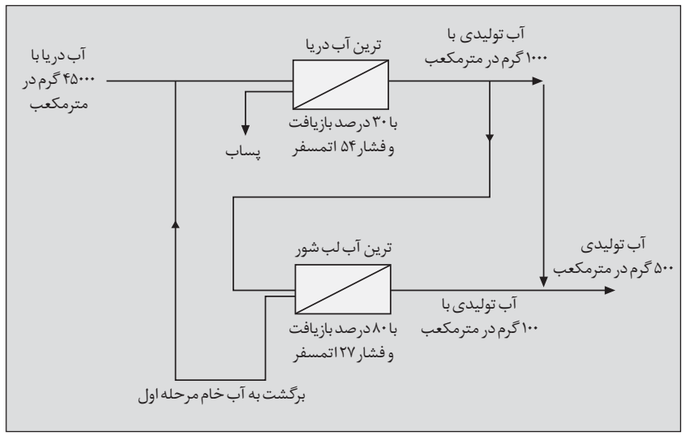
دیاگرام شماره ۴-۲۵

ترتیب یک مرحله نمک‌زدایی از آب دریا



دیاگرام شماره ۴-۲۶

ترتیب نمک زدایی از آب دریا با املاح آب خام بیش از ۳۵۰۰۰ گرم در مترمکعب



در مورد دیاگرام‌های شماره ۴-۲۵ و ۴-۲۶ به اجمال مطالبی ارائه می‌شود. در دیاگرام شماره ۴-۲۵ آب دریا با یک مرحله عبور از المان های واقع در استوانه‌های فشار می تواند آب مورد مصرف شرب را تولید کند و مهمترین تاسیسات کنترل آن شیر کنترل جریان اندازه‌گیری بازیافت است که می توان در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد آن‌را تنظیم کرد. و در عین حال در روی لوله آب تولیدی نیز شیر اندازه‌گیری جریان آب پیشبینی شده است.

و در دیاگرام شماره ۴-۲۶ وضعیت نمک‌زدایی دو مرحله‌ای نشان داده شده است که در مرحله اول، با درصد بازیافت حدود ۳۰ درصد، آب تولیدی دارای مجموع املاح محلول حدود ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و در صورت ضرورت کاهش بیشتر املاح آب باید بخشی از آب از واحد دوم نمک‌زدایی بگذرد ومجموع املاح آن حدود ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر خواهد شد که با اختلاط دو آب می توان به املاح کل ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیشتر رسید.

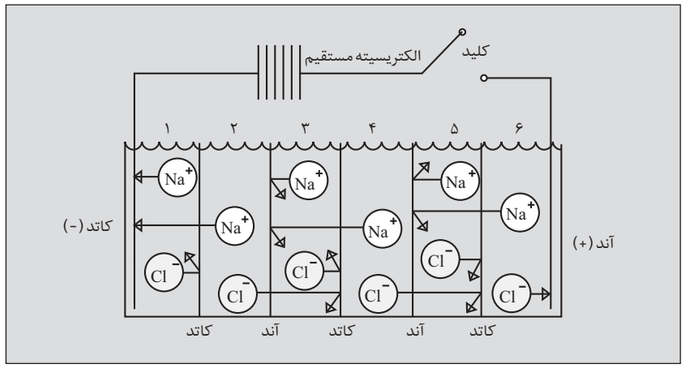
در مرحله اول که املاح آب خیلی زیاد است برای درصد بازیافت ۳۰ طراحی انجام می‌گیرد و برای مرحله دوم که مقدار املاح کمتر است برای بازیافت ۸۰ درصد و البته به همین نسبت فشار هیدرولیکی لازم مراحل اول و دوم به ترتیب ۵۴ و ۲۷ اتمسفر را نشان می‌دهد. در فصل ششم که موضوع آن روند انجام مطالعات نمک‌زدایی است مطالب بیشتری مورد بحث قرار خواهد گرفت.

الکترودیالیز

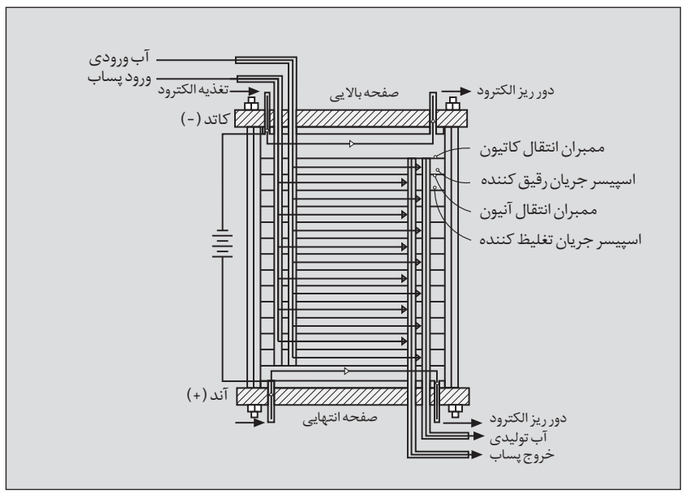
اساس فرایند الکترودیالیز و نوع ریورسال آن یک روش نمک‌زدایی بر مبنای توانایی یک غشاء نیمه تراوا برای عبور یون‌های یونیزه شده است. مانند کلرورسدیم که در آب به صورت یون‌های سدیم و کلرید در می آید. حال وقتی یک جریان مستقیم به محلول وارد شود یون‌های مثبت به طرف الکترود منفی و یا کاتد و یون‌های منفی به طرف الکترود مثبت یا آند کشیده می شوند. حال ممبران نیمه تراوای کاتیونی اجازه عبور یون‌های مثبت از خود را می‌دهد اما یون‌های منفی را دفع می‌کند و ممبران نیمه تراوای آنیونی عکس آن عمل می‌کند. اما ذرات کلوئیدی و به طور کلی ذرات بدون بار در جریان آب باقی می ماند.

همان‌طور که در دیاگرام شماره ۴-۲۷ نشان داده شده است دو نوع ممبران به طور متناوب از جریان آب، املاح را حذف و به جریان آب دیگر می افزاید. مجموعه‌ای از چندین

دیاگرام شماره ۴-۲۷
الکترودیالیز



دیاگرام شماره ۴-۲۸
یک مجموعه الکترودیالیز



سلول بین دو الکترود مجموعه[1] نامیده می‌شود. یک ممبران آنیونی، یک اسپیسر رقیق کننده، یک ممبران کاتیونی و یک اسپیسر[2] تغلیظ کننده، یک جفت سلول را تشکیل می دهند. با توسعه تکنیک تغییر قطب‌های الکترودها نوع ریورسال آن ساخته شده است که کاربرد آن را افزایش داده است.

در زمان تغییر بار الکتریکی الکترود، لایه آب با غلظت بالای املاح که در نزدیکی ممبران مربوط ایجاد شده است پخش می‌گردد. این تغییر بار قطب‌ها، به همان دلیل کاهش غلظت املاح آب، رخداد ترسیب را هم کاهش می دهد. لذا می توان از آب با استعداد رسوب که ناشی از فوق اشباع بودن املاح آن است بدون کاربرد بازدارنده رسوب، آب مطلوب تولید کرد.
دیاگرام شماره ۴-۲۸ یک نمونه مجموعه الکترودیالیز را نشان می‌دهد. روش ترتیب قرار گرفتن ممبران‌ها را مرحله[3] نامند. هدف از مرحله، تامین سطح کافی از ممبران‌ها و زمان ماند لازم برای زدایش مقدار معینی املاح از میزان معینی از آب نمک‌دار است. نمایش مجموعه‌ها را می‌توان هیدرولیکی و الکتریکی تنظیم کرد.

در یک مجموعه با یک نمایش هیدرولیکی و یک نمایش الکتریکی هر بخش کوچکی از آب یک‌بار از بین دو الکترود و به موازات ممبران عبور کرده و خارج می‌شود. در یک مجموعه از ممبرانها آب به صورت جریانهای موازی از لابه‌لای ممبران‌ها عبور می کند و منظور از یک بار عبور این است که آب یک‌بار از فضای اسپیسر بین دو الکترود عبور کرده و از دستگاه خارج می‌شود البته نحوه قرار گرفتن ممبرانها و اسپیسرهای مربوط در سازندگان مختلف اختلافاتی وجود دارد که در هنگام خرید باید مورد توجه قرار گیرد.

طرح مجموعه الکترودیالیز و نوع ریورسال

یک دستگاه یا مجموعه الکترودیالیز تشکیل شده است از درون آر آب یا کانال ورودی آب، ممبران‌های نیمه تراوا و اسپیسرها، دو الکترود و صفحه و قاب انتهایی برای استحکام دستگاه.

هر سلول که شامل دو ممبران و یک اسپیسر است به کمک همان قاب انتهایی آب بند و هر الکترود هم به شبکه برق با جریان مستقیم متصل می شود.

---

1. Stack
2. Spacer
3. Stage

اسپیسرها ممبران را از هم جدا نگه می‌دارند و آب را به طور مرتب در روی ممبرانها هدایت می‌کنند. هدف از کاربرد اسپیسرها که دارای ضخامت یک میلیمتر است ایجاد آشفتگی در جریان آب برای افزایش میزان نمک زدایی است. مجموعه می‌تواند عمودی و یا افقی استقرار یابد. جنس ممبران کاتیونی تشکیل شده از پلی استیرن[1] که سولفانات[2] شده تا بتواند یون‌ها ثابت در ممبران ایجاد کند و ممبران آنیونی نیز دارای آمونیوم چهار ظرفیتی است که به پلیمر مشابه اتصال یافته است، این یون‌های ثابت در آب یونیزه می‌شوند تا در جابه‌جایی یون‌ها عمل کنند. بدین ترتیب که با ایجاد جریان الکتریسیته مستقیم به دستگاه این یونها با یونها آب مبادله می‌شوند.

مصرف انرژی

برای انتقال یون های املاح از آب به ممبرانها و از ممبرانها به بخش تغلیظ آب انرژی الکتریکی لازم است. میزان نیروی الکتریسیته لازم عبارت است از حدود ۲ کیلووات ساعت برای زدایش هر ۱۰۰۰ گرم در متر مکعب املاح از حدود ۳/۸ متر مکعب آب و یا حدود ۳/۸ کیلوگرم نمک از ۳/۸ متر مکعب آب و به علاوه نیروی لازم برای جابه‌جایی آب و عبور آن از دستگاه الکترودیالیز که خود تابع میزان گردش آب خام، تخلیه پساب و انتقال آب تولیدی است. البته با افزایش دمای آب میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد زیرا مقاومت الکتریکی آب کاهش پیدا می‌کند. و برای هر ۰/۵ درجه افزایش حرارت آب از دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، تاسیسات با یک درصد کاهش مصرف انرژی روبه‌رو می‌شود. ممبران‌های موجود در بازار امروز برای حداکثر دمای ۳۸ درجه سانتیگراد آب ساخته می‌شوند و حداقل دمای مناسب هم ۱۰ درجه سانتیگراد است. برای تعیین جریان لازم از قوانین فاراده و اهم باید استفاده کرد.

میزان فاراده عبارت از میزان نیروی الکتریسیته لازم برای انتقال یک گرم اکی‌والان نمک است. لذا

F= ۹۶۵۰۰ Ampere-second= ۲۶/۸ Ampere-hours

و برای الکترولیز معادله فاراده به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$I=\frac{FQ_P{}^{+}N}{eNc_p}$$

1. Polystyrene
2. Sulfonated

که در آن:

I عبارت است از جریان مستقیم به آمپر؛

N^{+} عبارت است از اختلاف تغییر نرمالیته آب بین بخش ورودی و بخش خروجی از دستگاه ؛

F عبارت است از ضریب ثابت فاراده ؛

Q_p عبارت است از میزان عبور آب از دستگاه ؛

e عبارت است از میزان راندمان جریان؛

Nc_p عبارت است از تعداد جفت‌های سلول؛

و قانون اهم را هم می‌توان به صورت معادله زیر بیان کرد:

$$E = IR$$

که در آن:

E عبارت است از اختلاف پتانسیل دستگاه ؛

I عبارت است از شدت جریان مستقیم برحسب آمپر؛

R عبارت است از مقاومت الکتریکی دستگاه که مجموع مقاومت الکتریکی ممبران‌ها و آب در حال جریان در فضای اسپیسرهاست.

در عمل میزان جریان الکتریسته لازم تابع میزان کاهش املاح از آب در حال عبور از دستگاه است و جریان واقعی شامل نشت جریان از طریق روزنه‌ها و آب در حال عبور از ممبران‌ها نیز می‌شود. فرایندهای متغیر دستگاه عبارتند از قطبی شدن، شدت جریان و مقاومت الکتریکی دستگاه که مورد بحث قرار می‌گیرد.

قطبی‌شدن[1]

زمانی که میزان عبور املاح از ممبران نسبت به املاح رسیده به ممبران افزایش یابد شرایط قطبی شدن رخ می‌دهد که ممکن است این پیامدها را به همراه آورد.

- تغییر پی‌اچ آب در دستگاه؛
- کاهش سودمندی الکتریسیته مورد استفاده؛

1. Polarization

- افزایش مقاومت الکتریکی دستگاه؛
- یونیزه شدن آب به H^+ و OH^- که خود باعث بروز اختلال در کار دستگاه می‌شود.

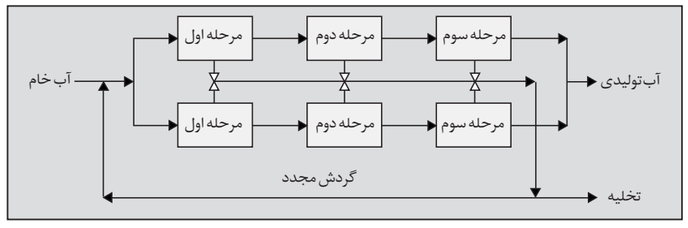
- **شدت جریان**: منظور از شدت جریان میزان عبور جریان الکتریسیته از واحد سطح ممبران است. به طور نظری هرچه این شدت بیشتر شود سطح کمتری از ممبران لازم است و در نتیجه هزینه سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد. البته با افزایش شدت جریان احتمال بروز قطبی شدن زیادتر می‌شود.
- **ولتاژ دستگاه**: اختلاف پتانسیل لازم بستگی به مقاومت و شدت جریان دارد و میزان اختلاف پتانسیل را می‌توان به دلخواه تغییر داد. مقدار آب تولیدی در دستگاه نمک‌زدایی تابع زمان ماند آب در دستگاه و شدت جریان الکتریسیته است و لذا سعی می‌شود که شدت جریان الکتریسیته به حداکثر برسد و از طرف دیگر با کاهش املاح آب مقاومت الکتریکی دستگاه افزایش می‌یابد. باید توجه داشت که در بخش جمع‌آوری املاح آب، به علت افزایش غلظت املاح ممکن است ترسیب رخ دهد.
- **ابزار لازم**: عناصر دیگری غیر از دستگاه حاوی ممبران، برای بهره‌برداری و تولید آب لازم است که به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.
- **فیلتر کارتریج**: نصب این فیلترها که آخرین مانع ورود ذرات معلق آب به دستگاه الکترودیالیز است دارای اندازه روزنه‌های حدود ۱۰-۲۰ میکرون است و میزان جریان آب برای کارتریج به طول ۲۵ سانتیمتر حدود ۱۵-۱۹ لیتر در دقیقه است و بیشتر از این میزان با افزایش افت فشار همراه خواهد بود.
- **الکترودها**: همراه با الکترودها تمهیدات شیمیایی هم در نظر گرفته‌می‌شود تا بتواند مشکلات ناشی از واکنش‌های شیمیایی اطراف الکترودها را برطرف کند تا فرایند نمک‌زدایی ادامه یابد. زیرا یون‌های هیدروژن، کلر و اکسیژن ممکن است در اطراف الکترود آند و گاز هیدروژن و یون هیدروکسیل در اطراف الکترود کاتد تجمع یابد. در نتیجه این تجمع، پی‌اچ آب در اطراف آند کاهش و در اطراف کاتد افزایش می‌یابد و به همین جهت به الکترودکاتد اسید کلریدریک باید پاشید تا از بروز ترسیب جلوگیری شود. در مورد الکترودیالیز ریورسال به دلیل تناوب بار الکترودها، کاربرد اسید ضرورت پیدا نمی‌کند.

لیکن در هر دو سیستم پیشبینی تاسیسات تخلیه گاز هیدروژن، اکسیژن و کلر ضرورت دارد که با توجه به توجهات محیط زیستی باید انجام گیرد.

- **تاسیسات شستشو**: در صورتی که تاسیسات الکترودیالیز خوب طراحی و ساخته شده باشد دفعات لازم شستشوی آن زیاد نیست اما امکان دارد شستشوی با اسید کلریدریک برای حذف رسوبات و یا کاربرد کلرورسدیم جهت تنظیم پی اچ و زدایش مواد آلی باقیمانده ضرورت پیدا کند. در بیشتر موارد شستشو در محل[1] و بدون باز کردن بخش‌های دستگاه انجام می‌گیرد.
- **کنترل کار**: امروزه بیشتر دستگاه‌های الکترودیالیز ریورسال به کمک پی ال سی[2] راهبری و کنترل می‌شود. این سیستم اختلاف پتانسیل دستگاه، میزان عبور آب، فشار آب، هدایت الکتریکی آب تولیدی، پساب، بازیافت و پی اچ را اندازه گیری و کنترل می کند. بعلاوه برای نوع ریورسال آن زمان قطبی شدن، باز و بسته کردن شیرها و جابه‌جایی قطب‌ها را انجام می‌دهد.
- **استقرار تاسیسات**[3]: یک دستگاه الکترولیز ۲۵-۶۰ درصد املاح محلول آب را زدایش یا حذف می‌کند که به کیفیت و خصوصیات آب خام بستگی دارد و اگر زدایش بیشتر ضرورت پیدا کند دو یا تعداد بیشتری دستگاه باید به صورت سری نصب شود و برای هر دستگاه و یا مرحله یک مرکز یکسو کننده مستقل برق مورد نیاز است. دیاگرام ۴-۲۹ تاسیسات سه مرحله‌ای یک واحد الکترودیالیز را نشان می‌دهد و آب خام به کمک نیروی پمپ مناسب از واحدهای پیش تصفیه و دستگاه‌ها باید عبور کند.

دیاگرام شماره ۴-۲۹

تاسیسات سه مرحله‌ای الکترو دیالیز با دو ردیف



1. Clean In Place(CIP)
2. Programmable Control System (PLC)
3. Plant Layout

توصیه می‌شود که بخشی از پساب در سیستم وارد گردش مجدد شود تا عملکرد دستگاه‌ها بهتر شود. در دیاگرام بالا برای تولید بیشتر آب از دو دستگاه موازی که هر کدام دارای سه مرحله الکترودیالیز هستند بهره‌گیری شده است.

- **رسوب و گرفتگی ممبران‌ها:** ملاحظه شد که نمک‌زدایی به روش الکترودیالیز تنها در زدایش یون‌های باردار عمل می‌کند و لذا باکتری‌ها، مواد آلی، کلوئیدها و سیلیس را از آب زدایش نمی‌کند و این آلاینده‌ها از دستگاه بدون تغییر خارج می‌شوند و لذا پیش تصفیه آب ضرورت پیدا می‌کند.

جدول شماره ۴-۱۰ عنصرهای موجود در آب و ضرورت حذف آنها را درفرایندهای پیش تصفیه برای هدایت آب به دستگاه الکترودیالیز نشان می‌دهد.

جدول شماره ۴-۱۰: **کیفیت آب پیش‌تصفیه شده برای دستگاه الکترودیالیز**

آلاینده	معیار سنجش	کاربرد
مواد معلق	کدورت شاخص سیلت	کمتر از ۰/۵ ان تی یو کمتر از ۱۵ واحد در زمان ۱۵ دقیقه
محتویات یونی	آهن منگنز سولفورها	۰/۳ میلی‌گرم در لیتر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر
مواد آلی	با سازنده دستگاه مشورت شود.	با سازنده دستگاه مشورت شود.
افرودنی‌های شیمیایی	کلر باقیمانده بازدارنده رسوب اصلاح پی اچ با اسید	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر نوع آزاد و ۲ میلی‌گرم در لیتر کلر مرکب با سازنده مشورت گردد با سازنده مشورت گردد
دما	حداقل دمای آب خام حداکثر دمای آب خام	۱ درجه سانتیگراد ۴۳ درجه سانتیگراد
ضریب حلالیت	سولفات کلسیم سولفات باریوم سولفات استرانسیوم کلرید کلسیم	$6/25 \times K_{SP}$ در پساب $150 \times K_{SP}$ در پساب $8 \times K_{SP}$ در پساب $500 \times K_{SP}$ در پساب
حلالیت	سیلیس+	تا مرز اشباع
درجه اشباع کلسیم	ضریب لانگلیر	حداکثر ۲/۱+ در پساب

+ یعنی آب دارای سیلیس تا حد ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کار دستگاه را مختل نمی‌کند.

با استمرار بهره‌برداری از دستگاه، احتمال گرفتگی و تولید رسوب ترکیبهای شیمیایی در روی ممبران‌ها افزایش می‌یابد که شدت آن به کیفیت آب خام بستگی دارد و گرفتگی ممبران‌ها باعث افزایش مقاومت الکتریکی دستگاه و افزایش مصرف برق می‌شود. امکانات و روش شستشوی دستگاه‌ها در محل در این صنعت در حد لازم توسعه یافته است به طوری که با کاربرد آن، زمان بین دو شستشو طولانیتر شده است مشاهده شده که با تناوب و یا تغییر بار الکتریکی قطب‌ها ضرورت کاربرد اسید منتفی شده است. لذا دستگاه الکترودیالیز ریورسال حساسیت کمتری نسبت به عملیات پیش تصفیه دارد. زیرا با تغییر متناوب قطب‌ها فرایند گرفتگی و ترسیب کاهش می یابد. البته برای جلوگیری از تجمع گازها در اطراف الکترودها شستشوی آن ضرورت دارد.

هزینه عملیات پیش تصفیه آب خام برای دستگاه الکترودیالیز بستگی به کیفیت آب خام دارد. اگر منبع آب چاه و فاقد آهن و منگنز اکسیده باشد، حداقل هزینه نمک‌زدایی را در بر خواهد داشت و آن هم بستگی به حدود مجاز املاح در آب تولیدی و آب خام دارد. همان‌طور که در جدول شماره ۴-۱۰ نشان داده شده است یکی از هدفهای پیش تصفیه از بین بردن احتمال رسوب ترکیبهای شیمیایی و به خصوص کلسیم است.

- **ترسیب ترکیبهای قلیایی:** کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم موجود در بخش آب خام تمایل به ایجاد رسوب در روی سطح ممبران را دارد. حال با افزایش اسید و کاهش پی‌اچ در حدی که ضریب لانگلیر بیشتر از ۲/۵ نشود کافی است که احتمال ترسیب از بین برود. برای جلوگیری از ترسیب سولفات کلسیم باید سعی شود که غلظت آن در آب خام بیشتر از ۱۵۰-۲۰۰ درصد اشباع آن نشود در غیر این صورت لازم است به آب گردش مجدد بازدارنده ترسیب افزوده شود. در پیش تصفیه حذف آهن باید یک هدف باشد. با توجه به جدول ۴-۱۰ برای حذف آن‌ها می‌توان از پرمنگنات پتاسیم استفاده کرد و یا از تاسیسات سختی گیری بهره گرفت. از فیلترهای بستر دانه‌ای مانند ماسه‌ای می‌توان برای حذف آهن غیر محلول، هیدروکسید منیزیم، هیدروکسید آهن و منگنز بهره گرفت. باید توجه داشت که بهرحال آب‌ها به طور طبیعی دارای میزانی مواد معلق هستند لذا نصب فیلتر کارتریج ۲۵-۵۰ میکرون قبل از تاسیسات الکترودیالیز ضرورت دارد. فرایندهای متعارف پیش تصفیه برای دستگاه الکترودیالیز عبارتند از:

- حذف آهن و منگنز؛
- افزایش اسید برای کاهش پی اچ ؛
- صافسازی به کمک فیلترهای بستر دانه ای؛
- گهگاه برای جلوگیری از رشد لایه مواد آلی[1] و باکتری‌ها در روی ممبران‌ها، به آب ورودی به دستگاه الکترودیالیز کلر زده می‌شود.

توصیه این است که این افزایش کلر در بالادست انجام گیرد و پس از توجه به زمان تماس کلر، آب قبل از ورود به دستگاه الکترودیالیز عاری از کلر باقیمانده شود که برای این منظور می‌توان از فیلتر کربن فعال و یا افزودن بی سولفیت سدیم بهره گرفت. بعضی از ممبران‌های امروزی بازار نوعی مقاومت در مقابل اثر کلر دارند لذا تاسیسات خنثی کننده کلر ضرورت پیدا نمی‌کند.

- **دوام ممبران:** قیمت تمام شده آب با دوام ممبران‌ها ارتباط مستقیم دارد و به علاوه تعویض آن‌ها وقت گیر می‌باشد. چون ممبران‌های الکترودیالیز از انواع صفحه‌ای و از جنس رزینهای تبادل یونی هستند، لذا دارای همان مشخصات فیزیکی می‌باشند. عمر ممبران‌های کاتیونی بیشتر از عمر ممبران‌های آنیونی است. زیرا ممبران‌های آنیونی حساسیت بیشتری نسبت به اکسید کننده‌ها دارند. در بعضی از شرایط ممبران‌های ساخته شده از استیرن اگر دچار گرفتگی ناشی از مواد آلی شوند قابل احیاء نیستند. اما ممبرانهای ساخته شده از اکریلیک که از حدود ۳۰ سال پیش به بازار آمده است این مشکل را حل نموده است.

شرایط عبور آب از اسپیسرها طوری است که رشد باکتری‌ها را فراهم می نماید از طرف دیگر مصرف کلر برای این منظور ممکن است به ممبران‌ها صدمه وارد سازد و لذا توجه خاص لازم دارد. به طور کلی دوام ممبران‌های الکترودیالیز را می توان ۱۰ سال فرض نمود، بخصوص اگر آب خام دارای شرایط مناسب بوده و یا پیش تصفیه دارای کارایی مطلوب باشد، نظافت دقیق ممبران‌ها باعث کاهش مصرف انرژی الکتریکی و تولید آبی بهتر و طولانی تر شدن عمر ممبران‌ها می گردد.

- **دوام الکترودها:** مواد مورد استفاده در ساخت الکترودها دستخوش تغییر و تکامل شده است.

1. Slime

امروزه دوام الکترودها تا ۳ سال هم در نظر گرفته می‌شود بعلاوه بازسازی الکترودها هم ممکن گردیده است. در خاتمه باید یادآوری گردد که کارایی این دستگاه ها در نمک‌زدایی آب‌های لب شور باید مورد توجه باشد زیرا دارای امتیازهای درخور ملاحظه زیر است.

۱. سیلیس آب خام دستگاه را کمتر دچار اختلال می‌کند زیرا ترکیبهای بدون بار را از خود عبور می‌دهد.

۲. شاخص سیلت آن ۱۵ واحد است که نشان می‌دهد آسیب‌پذیری ممبران‌های اسمز معکوس را ندارد.

۳. با اصلاح و بهبود اسپیسر ها در مصرف برق صرفه‌جویی می‌شود.

۴. در نوع ریورسال آن درصد بازیافت آب افزایش می یابد و کیفیت آب تولیدی طبق دلخواه قابل کنترل است و این امر یکی از مهم‌ترین مزایای آن است.

۵. فشار هیدرولیکی خیلی کمتری مورد نیاز است.

۶. مصالح مورد استفاده ساخت دستگاه‌ها می‌تواند مقاومت کافی نسبت به خوردگی داشته باشد.

اما در کنار مزایای بالا از محدودیت‌های زیر هم رنج می‌برد.

۱. در حذف مواد آلی و باکتری‌ها استاندارد آب شرب را پاسخگو نیست.

۲. در حذف طعم و بو نیز موفق نیست.

۳. با افزایش املاح محلول آب خام مصرف انرژی نیز افزایش می یابد.

۴. ممبران‌ها نسبت به سولفید هیدروژن، اکسید کننده‌ها و آهن حساسیت دارند.

لذا در مطالعات مرحله اول نمک‌زدایی از آب‌های لب شور، گزینه کاربرد الکترودیالیز باید از نظر اقتصادی مورد توجه و مقایسه قرار گیرد.

میکروفیلترها و اولتروفیلترها

این دو نوع ممبران‌که تحت نام فیلتر در صنعت تصفیه آب معرفی شده است تاریخ به نسبت کوتاهی دارند. طبق مدارک موجود تا سال ۲۰۰۵ میزان تولید آب روزانه از این فیلترها در جهان حدود ۵ میلیون متر مکعب بوده است. در شرایط فعلی در آمریکای شمالی و اروپا بیشترین کاربرد را داشته است.

کیفیت آب تولیدی آنها از نظر کدورت کمتر از ۰/۱ ان تی یو و از نظر اس دی آی برای میکروفیلتر کمتر از ۲ و برای اولترافیلتر کمتر از ۰/۵ واحد است.

ممبران مورد استفاده از صفحات صاف، صفحات پیچیده و فیبرهای توخالی ساخته می‌شود و نوع فیبرهای توخالی بیشترین تولید و حضور را در بازار مصرف داشته و جریان آب در آن به صورت موازی و نیز عمودی است. از مزایای ممبران‌های فیبرهای توخالی این است که پیش تصفیه بسیار مفصلی لازم ندارد، زیرا می‌توان آن را به دفعات مورد شستشو تحت نام شستشوی معکوس[1] قرار گیرد.

امروزه میکروفیلترها برای تولید آب شرب کاربرد دارند زیرا کدورت آب خروجی می‌تواند به ۰/۱ ان تی یو برسد ولی در حذف مواد آلی و ویروس‌ها قابل اعتماد نیستند. گرچه پس از تشکیل لایه روی آن که به نام کیک معروف است در حذف ویروس‌ها موفق است. نوعی که جنس آن پلی وینیلی دین فلوراید[2] است و دارای اندازه روزنه های حدود ۰/۱ میکرومتر است برای حذف ژیاردیا و کریپتوسپوریدیوم تا سقف ۵ لاگ[3] در تصفیه آب شرب کاربرد دارد و به خصوص برای عملیات پیش تصفیه آب ممبران اسمز معکوس بسیار خوب عمل می نماید. در عملیات اصلاح آب قبل از آن کاربرد منعقدکننده همراه با اصلاح پی اچ نتایج بهتری به خصوص در حذف عناصری چون آرسنیک به دست آمده است. استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی که صنعت نسبتا جدیدی است باید مورد توجه قرار گیرد.

- **نانو فیلتر**: فرایند کار تولید آب نانوفیلتر مشابه ممبران اسمز معکوس است، یعنی با استفاده از ممبران نیمه‌تراوا و اعمال فشار هیدرولیکی در حدود ۳-۱۷ اتمسفر، آب نسبتاً پاک تولید می‌شود. کاتیون‌های مولد سختی و مولکول‌های بزرگ آلاینده‌ها از این ممبران‌ها نمی‌توانند عبور نماید، اما املاح دیگری که در اسمز معکوس حذف می‌شود از این ممبران عبور می‌کند. توجه شود که نانوفیلترها در حذف مواد آلی سینتتیک و محصولات جانبی گندزداها نیز عملکرد مطلوبی دارد.

در فرایند حذف آلاینده ها در این ممبران، هم فرایند انتشار و هم فرایند غربال کردن

1. Backwash
2. Polyvinylidin Floride
3. log

عمل می‌کند(جدول شماره ۴-۱). در آزمایشهایی با دو مرحله استفاده از نانو فیلتر تا ۹۵ درصد املاح محلول آب دریا حذف شده است.

طراح این تاسیسات باید از مشخصات انواع آن ها برای تصمیمگیری با اطلاع باشد. معیارهای زیر در مورد انواع آن‌ها کاربرد دارد.

بر مبنای نظریه دارسی، جریان آب تحت نام فلاکس در آن با معادله زیر بیان می‌شود:

$$J=\frac{P_m}{\mu(R_m+R_t)}$$

که در آن:

J عبارت است از میزان عبور آب که حاصل تقسیم میزان آب ورودی بر سطح فیلتر است؛

P_m عبارت است از فشار آب در روی صافی (فشار در سر تا سر ممبران)؛

μ عبارت است از ویسکوزیته مطلق؛

R_m عبارت است از مقاومت مطلق صافی تمیز؛

R_t عبارت است از مجموع مقاومت ناشی از گرفتگی؛

میزان عبور آب یا فلاکس با فشار هیدرولیکی بر سطح ثابت ممبران رابطه مستقیم دارد. لذا میزان آب فیلتر شده تابع فشار بکار رفته است. این فلاکس تابعی از ویسکوزیته آب است. بنابراین با کاهش دمای آب به منظور حفظ میزان تولید باید فشار اعمال شده افزایش یابد. البته مقاومت فیلتر تمیز در فیلترهای سازندگان مختلف یکسان نیست. یعنی مشخصات متفاوتی دارند زیرا دارای روزنه‌های یکسانی نیستند و لذا در طراحی ها باید مورد توجه قرار گیرد.

مقاومت ناشی از گرفتگی ها به علت ترسیب موادی است که بنام کیک شناخته می‌شود. گرچه این کیک کمک به حذف بهتر مواد معلق می‌نماید، اما نیاز به فشار بیشتر را سبب می‌شود لذا در زمانی باید صافی توسط شستشوی با جریان معکوس تمیز شود.

- **هیدرولیک بهره‌برداری**: این صافی ها یا تحت فشار آب کار می‌کند و یا تحت خلاء و طبعا تاسیسات لازم دو روش بالا با هم فرق های اساسی دارند. لذا قبل از اقدامات مربوط به طراحی باید نوع آن را انتخاب نمود. در انتخاب نوع آن توجه به نتایج عملیات پیلوت مهم است و در ارزیابی پیشنهادهای سازندگان مهمترین مسئله هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری است. تعریف بازیافت آن خیلی با تعریف بازیافت نانوفیلترها و اسمز معکوس اختلاف ندارد و

عبارت است از حجم آب تولیدی در یک دوره زمانی تقسیم بر حجم آب خام ورودی. البته در اینجا حجم آبی که به مصرف شستشوی با جریان معکوس فیلتر می‌رسد در محاسبه‌های بازیافت باید لحاظ گردد. حدود متعارف بازیافت این فیلترها ۸۵-۹۵ درصد است.

آب شستشوی صافی را می‌توان پس از حذف مواد جامد آن وارد گردش مجدد نمود و درصد بازیافت را افزایش داد و ممکن است به ۹۸ درصد هم رسید.

- **دفع املاح و ذرات**[1]: به طور کلی محدودیت دفع املاح و جامدات هر فیلتر تابعی از مشخصات آن شامل اندازه روزنه ها است. به هر حال ذرات دفع شده یا عبور نکرده از صافی، در روی آن باقی می‌مانند و به عنوان بخشی از فیلتر در زدایش املاح و جامدات عمل می‌کنند. این فرایند بخصوص در مورد اولترا فیلترها موثرتر است.

اندازه متعارف روزنه‌های اولترافیلترها ۰/۰۰۱- ۰/۱ میکرون است. روزنه‌های اولترافیلترهای قابل دسترس دارای اندازه‌ای است که اجازه عبور ذرات با وزن ملکولی ۲۰۰۰ تا ۱۵۰،۰۰۰ دالتون را نمی دهد.

- **فلاکس**: همانطور که گفته شد میزان عبور آب از فیلتر تحت نام فلاکس تابعی از فشار هیدرولیکی روی ممبران و دمای آب است. برای تصمیمگیری روی فلاکس، توجه به کیفیت آب خام بسیار مهم است زیرا گرفتگی و دفعات شستشوی با جریان معکوس فیلتر تابعی از فلاکس اعمال شده است. در مورد فلاکس توصیه می‌شود که بر مبنای نتایج پیلوت تصمیمگیری شود. زیرا فلاکس متعارف این فیلترها دارای طیف نسبتا وسیعی است که تابعی از مشخصات ممبران ساخته شده است. فلاکس یا J عبارت است از $\frac{PA}{\mu \times R}$ که R یا مقاومت ممبران است که بستگی به وضعیت اندازه روزنه ها و تخلخل و پیچ و خم روزنه های ممبران دارد.

به طور کلی معادله فوق به صورت ساده تر زیر نیز نوشته می‌شود:

$$Q_p = J_m \times A$$

که در آن:

Q_p جریان آب پاک برحسب مترمکعب در ساعت یا آب تولیدی است.

1. solute and particle rejection

J_m عبارت است از فلاکس آب برحسب مترمکعب در ساعت در متر مربع ممبران که حدود ۸۰-۲۰۰ است.

A عبارت از سطح موثر ممبران بر حسب متر مربع است که هر مدول حداکثر ۱۵ متر مربع است و فشار لازم حدود ۱ اتمسفر و کمتر است.

این اطلاعات باید توسط کارخانه سازنده در دسترس طراح قرار گیرد. در این ممبران‌ها با توجه به نیاز به شستشوی با جریان معکوس درصد بازیافت حدود ۹۵ انتخاب می‌شود.

برای شستشوی معکوس از آب و یا از هوا- آب می‌توان بهره گرفت و هر چند ساعت بهره‌برداری و تولید آب دقایقی برای شستشوی معکوس، فیلتر باید از مدار تولید خارج شود، مدت زمان بهره برداری و مدت زمان شستشوی با جریان معکوس، تابع خصوصیات آب خام و تاحدودی خصوصیات ممبران و مهمتر عملکرد پیش تصفیه است.

باید توجه داشت که اگر فشار هیدرولیکی اعمال شده ثابت بماند میزان فلاکس به مرور زمان کاهش می‌یابد، گر چه با هر شستشوی معکوس فلاکس بهبود نسبی می‌یابد. لذا در طراحی ها باید به کاهش فلاکس در دوران عمر مفید ممبران توجه داشت.

اما اگر لازم است که فلاکس و یا تولید آب حفظ گردد، افرایش فشار هیدرولیکی اجتناب ناپذیر است. در عملیات شستشوی با جریان معکوس اگر از ترکیبهای شیمیایی تمیزکننده استفاده شود وضعیت فلاکس و یا انرژی مصرفی به مراتب مطلوبتر خواهد بود. انتخاب هیپوکلریت با توجه به توصیه سازنده ممبران، برای شستشوی ممبران انتخاب صحیحی است.

میکروفیلترها دارای روزنه‌هایی حدود ۰/۰۵-۰/۵ میکرون بوده و با فشار هیدرولیکی ۰/۲-۲ اتمسفر دارای فلاکس ۸۰-۲۲۰ لیتر در ساعت در مترمربع هستند، در حالی که فیلترهای بستر دانه ای تند دارای سرعت تولید ۱۰-۱۵ مترمکعب در مترمربع در ساعت هستند که بیشتر از ۱۰۰ برابر میکروفیلترها است.

اکثر شرکت‌های تولیدکننده این دو نوع فیلتر مشخصات محصولات خود را اعلام می‌نمایند. مشخصات یکی از انواع اولترافیلترها به شرح زیر آورده می‌شود:

فلاکس در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۱۲۰ لیتر در متر مربع در ساعت

نوع جریان موازی و با سرعت حدود ۱ متر در ثانیه

درصد بازیافت آب خام حدود ۸۵-۹۷ درصد

شستشوی با جریان معکوس:

مدت زمان انجام حدود ۱۰-۱۸۰ ثانیه

فواصل انجام هر ۳۰ تا ۱۸۰ دقیقه

فشار هیدرولیکی لازم ۰/۳۵ - ۲/۸ اتمسفر

در دیاگرام شماره ۴-۳۰ یک نوع تصفیه خانه استفاده‌از این فیلترها نشان داده شده است و ممبران مورد استفاده بیشتر پلی سولفون و پلی اترسولفون است و می تواند به صورت فیبرهای توخالی و یا صفحات پیچده باشد. می توان مشاهده نمود که برای پیش تصفیه آن اشاره به فیلترکارتریج ۲۰۰ میکرن شده است که این حداکثر اندازه روزنه‌ها است و توصیه می شود که فیلتر حدود ۵۰ میکرومتر انتخاب گردد. تنظیم پی اچ در حدود ۵-۸ و افزایش منعقدکننده مانند پلی‌آلومینیوم‌کلراید با ارزیابی نتایج عملیات پیلوت توصیه شده است.

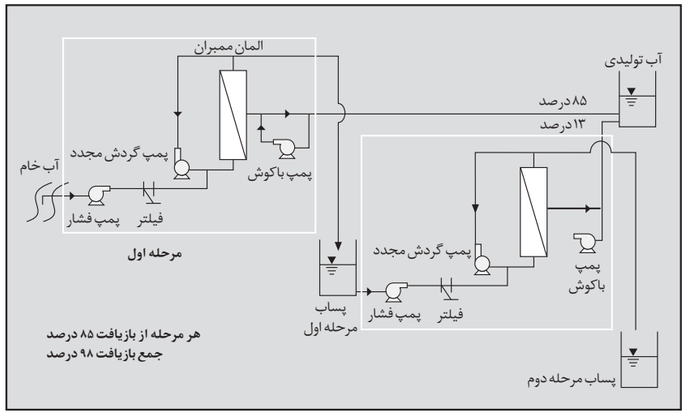
- **دما:** به دلیل اینکه دمای آب خام روی ویسکوزیته آن تاثیر می‌گذارد لذا نیروی فشار کار لازم این فیلتر تحت تاثیر دمای آب است.

میزان عبور آب از این فیلترها در رابطه با دما توسط معادله زیر بیان می‌شود.

$$Q_{pt} = \frac{Q_{P_20}}{e^{-0/0239(T-20)}}$$

دیاگرام شماره ۴-۳۰

دیاگرام دو مرحله اولترافیلتر



که در آن:

Q_{pt} عبارت است از میزان عبور آب در دمای T؛

Q_{P_20} عبارت است از میزان عبور آب در دمای ۲۰درجه سانتیگراد؛

T عبارت است از دمای آب؛

e عبارت است از ۲/۷۱۸۲۸

لذا لازم است در تدوین معیارهای طراحی میزان آب مورد نیاز در دمای خاص تعریف شود. در بسیاری از موارد در ماههای سرد سال نیاز کمتری به آب است لذا در طراحی این فیلترها مبنای نیاز ایام گرم با توجه به دمای آن ایام می‌باشد و لذا سطح مورد نیاز کمتر خواهد بود.

- **پمپ های لازم:** استفاده از این فیلترها نیاز به پمپ‌های تغذیه آب خام، پمپ‌های شستشوی معکوس، پمپ‌های آب تولیدی و پمپ‌های گردش مجدد است. پمپ‌های تزریق ترکیبهای شیمیایی، پمپ‌های شستشو و در شرایطی پمپ خلاء مورد نیاز است. لذا در طراحی این پمپ‌ها توجهات زیادی برای حذف و ترکیب کار آنها لازم است.

پمپ‌های آب خام بر مبنای حداکثر فشار لازم و میزان آب مورد نیاز انتخاب می‌گردد که خود تابع نوع ممبران، دما، فلاکس مورد نظر پیشنهادی سازنده و لوله کشی‌ها و تاسیسات دیگر مصرف انرژی می‌باشد. در اینجا اثر گرفتگی روی فیلتر باید همانطور که قبلاً یادآوری گردید مورد توجه باشد.

فشار آب متعارف مورد نیاز میکروفیلتر و اولترافیلترها برای تصفیه آب اجتماعات متغیر و در مورد پمپ خلاء ۰/۶- ۰/۸ اتمسفر است. در مورد طراحی پمپ‌های پیشگفته گفتگویی نمی‌شود و طراح پس از انتخاب فرایند لازم و تعیین معیارها و ظرفیت، طراحی الکترو پمپ‌های لازم را انجام می‌دهد.

در ترتیب قرار گرفتن این فیلترها باید گفت که معمولا از واحدهای موازی بهره‌گیری می‌شود و در ظرفیت‌های بالا آنها را به صورت گروههای جدا از هم نصب می‌کنند و لوله‌کشی‌ها با توجه به فرایندهای کاربرد پمپ‌ها باید طراحی گردد.

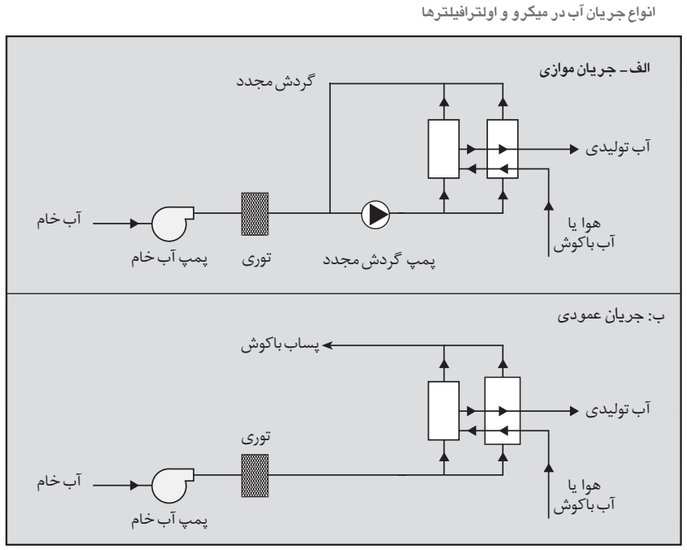
- **جهت جریان آب در ممبران‌ها:** جهت جریان آب در ممبران‌های اسمز معکوس و نانوفیلترها به موازات سطوح ممبران است که به آن جریان موازی گفته می‌شود ودر مورد میکرو و

اولترافیلترها جریان موازی[1] و نیز جریان عمودی[2] می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در ممبران‌های اسمز معکوس و نانوفیلتر اگر از جریان عمودی بهره گیری شود نتایج شستشوی با جریان معکوس مخرب است و بر این اساس اصولاً ممبران‌ها ساخته نمی شوند.

بسیاری از ممبران‌های ساخته شده از فیبرهای نازک توخالی بر مبنای عبور آب خام از درون لوله های فیبری و عبور آب پاک از سطوح داخلی استوانه به بیرون است. لذا طوری طراحی می‌شوند که جریان آب موازی سطوح مانع بروز گرفتگی سطوح فیلتر شود. سرعت متعارف عبارت است از حدود ۰/۹ متر در ثانیه و معمولا از پمپ‌های گردش مجدد برای انتقال آب به داخل فیبرها استفاده می‌شود. دیاگرام ۴-۳۱ این وضعیت را نشان می‌دهد. استفاده از جریان عمودی در این فیلترها نیاز به انرژی کمتر دارد و درصد بازیافت کمتر از ۱۰۰ درصد است و برای شستشوی با جریان معکوس حدود ۵-۱۵ درصد آب تولیدی مصرف می‌شود که مشکل گرفتگی را حل می‌کند.

دیاگرام شماره ۴-۳۱

انواع جریان آب در میکرو و اولترافیلترها



1. Cross-flow

2. Dead end flow

شستشوی میکروفیلتر و اولترافیلتر

ممبران‌های میکروفیلتر و اولترافیلتر باید به طور متناوب مورد شستشوی قرار گرفته و به کمک ترکیبهای شیمیایی تمیز شوند که هدف حفظ میزان تراوایی فیلتر است. لذا با شستشوی مرتب، فلاکس حفظ شده و باعث افزایش عمر مفید آن می‌شود. برای شستشوی صافی از آب کلردار، آب بدون کلر و یا گاز مانند هوا بهره گیری می‌شود که انتخاب آن تابع مشخصات فیلتر و توصیه سازنده است. در انواع استفاده از هوا و یا گاز ابتدا هوا و یا گاز از مسیر عکس جریان تولید آب بداخل سیستم فرستاده می‌شود تا ذرات داخل روزنه‌های ممبران را به بیرون رانده و حال آب شستشو، آن ذرات را از سیستم خارج کرده و آب مصرفی هم همان آب خام ورودی است.

معمولا عملیات شستشوی معکوس به طور اتوماتیک انجام می‌گیرد و برنامه‌ریزی می‌شود که درچه زمانی پس از بهره برداری عمل نماید. دستگاه کنترل کننده می تواند افزایش فشار و یا عوامل دیگر باشد در بعضی طرحها پس از ۱۵ دقیقه بهره برداری، ۱۵ ثانیه شستشوی با جریان معکوس انجام می‌گیرد و یا پس از ۲۰ دقیقه بهره برداری ۹۰ ثانیه این شستشو انجام می‌گیرد. توصیه سازنده و تجربه بهره بردار در این تصمیمگیری مهم است.

برای حفظ تراوائی فیلتر، حفظ حداقل فشار هیدرولیکی و کم کردن دفعات شستشوی، استفاده از مواد شیمیایی هم انجام می‌گیرد. ترکیبهای مصرفی مانند هیپوکلریت سدیم، اسید سیتریک و سود سوز آور با توجه به محدودیت‌های توصیه شده کارخانه سازنده ممبران مورد استفاده قرار گرفته است. برای اطمینان از عملکرد صافی‌ها نوعی ابزار دقیق لازم است. از مهمترین روشهای اندازه‌گیری کدورت آب خروجی و یا افزایش افت فشار می‌باشد. کارخانه‌های سازنده این صافی ها روش و ابزار کنترل عملکرد مطلوب صافی‌ها را توصیه می‌کنند. یکی از ابزار کنترل، وضعیت تغییر فشار هوا در عبور از ممبران است که می تواند نشان دهد که ممبران در وضعیت خوبی است و یا خیر. مطالب مربوط به پیش تصفیه و تصفیه نهایی در بخش‌های بعدی این فصل ارائه گردیده است و هم چنین مدیریت پساب در فصل پنجم ارائه شده است.

تاسیسات هیبرید

دراینجا سخنی کوتاه در مورد ترکیب تاسیسات هیبرید آورده می‌شود و هدف از آن نصب دو نوع تاسیسات نمک‌زدایی از آب است که باعث کاهش هزینه مربوط به انرژی و انعطاف پذیری عملیات

تولید می‌شود. تاسیسات دوگانه نمک‌زدایی تبخیری و اسمز معکوس که معمولاً در کنار تاسیسات یک نیروگاه قرار می‌گیرد برای تولید آب ارزانتر است.

برای مثال در یک تاسیسات هیبرید تبخیری[1] - ممبرانی آب تولیدی با املاح بسیار کم حاصل از نمک‌زدای تبخیری با آب تولیدی با املاح به نسبت بیشتر نمک‌زدایی ممبرانی مخلوط می‌شود و بدین ترتیب فشار هیدرولیکی کمتری روی ممبران‌ها اعمال می‌شود زیرا می‌توان با درصد بازیافت حدود ۴۰، آب تولید کرد و در نتیجه هزینه‌های راهبری تاسیسات ممبرانی کاهش چشمگیری می‌یابد.

تاسیسات هیبرید همچنین برای تولید آب و مصرف انرژی با شرایط بهینه کار می‌کنند. زیرا در شرایط حداکثر مصرف برق می‌توان تولید آب را روی تاسیسات تبخیری قرار داد که نیاز خیلی کمتری به برق دارند و در اوقاتی که نیاز به برق کاهش می‌یابد لیکن تولید برق بیشتر از نیاز است و به موازات بخار آب تولیدی نیروگاه هم بیشتر است که تاسیسات نمک‌زدایی تبخیری به کار تولید ادامه می دهد و زمانی هم که نیاز به الکتریسیته کاهش می‌یابد تاسیسات اسمز معکوس وارد مدار تولید آب می‌شود.

برای بهره‌برداری از چنین انعطاف‌پذیری همراه با توجهات اقتصادی، ظرفیت اسمی تولید تاسیسات باید بیشتر شود. حتی در این گونه تاسیسات هیبرید می‌توان میزان تولید پساب را کاهش داد که خود خصوصیات طرح را جذابتر می‌کند. زیرا پساب واحدهای اسمز معکوس می‌تواند در واحدهای نمک‌زدایی تبخیری به کار رود. این مطلب در فصل ششم به تفصیل بررسی خواهد شد.

فرایندهای نمک‌زدایی گرمایی

استفاده از انرژی حرارتی برای نمک‌زدایی آب سابقه‌ای طولانی دارد چنانکه در بسیاری از نقاط دنیا چنان که در فصل سوم بررسی شد، برای تولید آب با کیفیت مطلوب صنایع و اجتماعات شهری از این نوع تاسیسات بهره‌گیری می‌کنند زیرا این تکنولوژی در جدا کردن آب از املاح بسیار خوب عمل می‌کند.

1. Hybird

در بسیاری از صنایع مانند نیروگاه‌ها که حرارت زیادی تولید می‌کنند که باید به نحوی به محیط زیست تخلیه شود از این انرژی حرارتی برای نمک‌زدایی بهره‌گیری می‌شود که در بیشتر شرایط دارای توجیه اقتصادی است. لذا در صورت وجود انرژی حرارتی ارزان، گزینه استفاده از فرایندهای نمک‌زدایی گرمایی باید در مطالعات مرحله اول ارزیابی شود.

گرچه ظاهراً انرژی مورد نیاز در نمک‌زداهای حرارتی و یا تبخیری بیشتر از فرایندهای ممبرانی است اما مقایسه اقتصادی آن‌ها ساده نیست زیرا می‌توان از حرارت و سوخت‌های ارزانتر استفاده کرد چنانکه در کشورهای حاشیه خلیج‌فارس بزرگترین تاسیسات نمک‌زدایی حرارتی در کنار نیروگاه‌ها بناشده‌اند و از بخار آب با دمای کم خروجی از توربین‌های حرارتی برای تولید آب استفاده می‌شود.

به‌همین دلیل سیاستگذاری و برنامه‌ریزی تولید آب و برق یعنی استفاده مشترک از تاسیسات آبگیری برای نمک‌زدایی و تخلیه آب گرم نیروگاه و مصرف یک سوخت برای تولید دو محصول استراتژیک درخور توجه است زیرا بخار آب گرم آزاد شده از توربین‌های مربوط، منبع انرژی ارزان برای استفاده در نمک‌زداهای حرارتی است.

در فرایندهای نمک‌زدایی گرمایی از سه روش سخن به میان خواهد آمد که عبارتند از: تقطیر چندمرحله‌ای[1]، تبخیر ناگهانی، چند مرحله‌ای[2] و تراکم بخار[3] آب و مشاهده خواهد شد در این روش‌ها استفاده چند باره از انرژی حرارتی در صدر هدفهای طرح تاسیسات است.

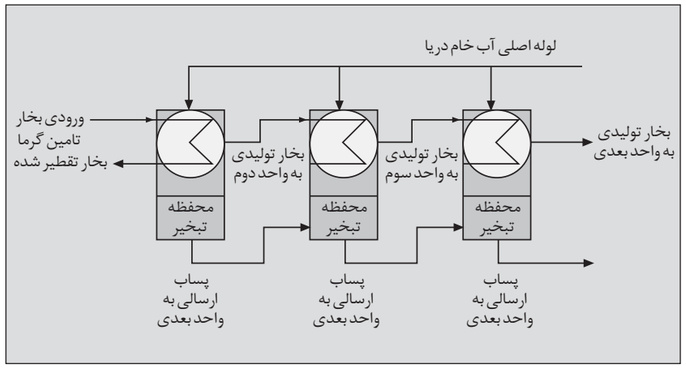
تقطیر چند مرحله‌ای

در تاسیسات تقطیر چند مرحله‌ای، تعدادی محفظه یا مرحله به صورت سری قرار دارد که آب در هر واحد یا افکت[4] با فشار و دمای کمتر تبخیر می‌شود و عملیات به صورت سری انجام می‌گیرد و هر چه تعداد محفظه‌ها بیشتر باشد تناسب عملکرد بهتر خواهد بود. لذا با فرض هدر رفت هیچ انرژی حرارتی فرایند تولید بدین صورت است که در واحد اول بخشی از آب تبدیل به بخار آب می‌شود و در واحد دوم این بخار آب حرارت خود را از طریق جدار لوله حامل آب خام

1. Multiple Effect Distillation (MED)
2. Multi Stage Flush Distillation (MSF)
3. Vapor Compression (VC)
4. Effect

دیاگرام شماره ۴-۳۲

تقطیر چندمرحله‌ای



به آن داده خود تقطیر می‌شود و هرچه آب به واحدهای پایینتر جریان می‌یابد درجه حرارت آن و فشار محفظه کمتر می‌شود ولی کار تبخیر ادامه می‌یابد و آب با غلظت نمک بالا هم از سیستم خارج می‌شود. لذا بجز در واحد اول در بقیه محفظه‌ها هم تبخیرانجام می‌گیرد و هم تقطیر و بدین ترتیب از انرژی حرارتی چندباره استفاده می‌شود. گرمای مورد نیاز افکت اول از بخار داغ با فشار کم از دیگ بخار تامین می‌شود (دیاگرام شماره ۴-۳۲). نحوه قرار گرفتن لوله‌های انتقال حرارت بخار آب گرم به ۳ صورت است که به نام‌های ترتیب لوله‌های افقی[1]، ترتیب لوله‌های عمودی[2] و ترتیب لوله‌های عمودی دسته‌ای[3] شناخته می‌شوند.

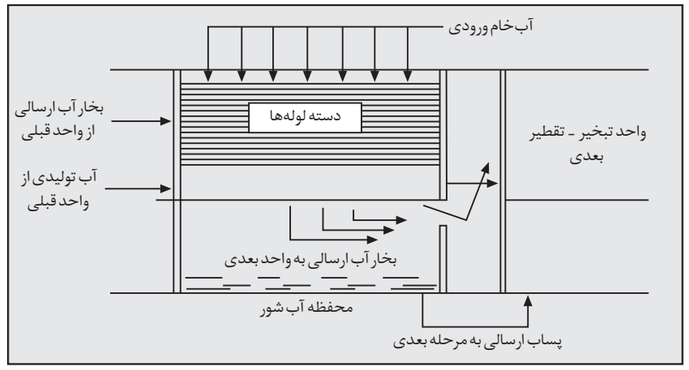
- **ترتیب لوله‌های افقی:** در این ترتیب دسته لوله‌ها در محفظه‌ها به صورت افقی قرار می‌گیرند. آب خام روی لوله‌های حاوی بخار گرم پاشیده می‌شود و لوله‌ها که گرم هستند باعث بخار شدن آب پاشیده شده می‌شود. این بخار گرم به واحد بعدی هدایت می‌شود که دارای فشار کمتر است. دیاگرام شماره ۴-۳۳ این فرایندها را نشان می‌دهد.

آب خام در ابتدا وارد اولین واحد کندانسور اصلی[4] و تقطیر بخار آب می‌شود. این واحد می‌تواند شبیه بقیه واحدها باشد و هم می‌تواند از شبکه لوله‌ها تشکیل شود. در این

1. Horizontal Tube Arrangment
2. Vertically Stacked Tube
3. Vertically Stacked Tube Bundles
4. Main Condensor

دیاگرام شماره ۴-۳۳

تقطیر چند مرحله‌ای با لوله‌های افقی



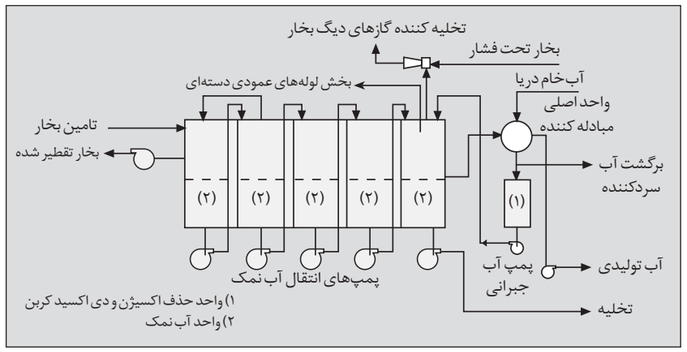
واحد بخش اعظم آب دریا برای سرد کردن بخار آب و تولید آب بدون نمک یا آب تولیدی استفاده شده و به دریا برگردانده می‌شود و بخش کمی از آن به صورت آب جبرانی وارد محفظه‌های دیگر می‌شود. آب خام باید قبل از هدایت به واحدهای تبخیر - تقطیر از اکسیژن و دی اکسیدکربن تخلیه شود تا از فرایندهای خوردگی اجتناب گردد و پس از آن وارد محفظه های کندانسور می‌شود تا انرژی حرارتی لازم را دریافت کند.

بدین ترتیب که بخش کوچکی از آب خام دریا با عبور از لابلای دسته لوله‌های افقی تبخیر می‌شود و این بخار آب، همان‌طور که گفته شد در محفظه دوم با از دست دادن حرارت خود به آب سرد، تقطیر می‌شود.

همان‌طور که دیاگرام شماره ۴-۳۳ نشان می‌دهد آب خام خروجی محفظه اول در پایین محفظه جمع شده و به محفظه دوم فرستاده می‌شود و در آنجا دوباره بخشی از آن تبدیل به بخار آب می‌شود. بخار آب تولید شده در محفظه اول به عنوان منبع انرژی حرارتی محفظه دوم عمل می‌کند و خود تقطیر می‌شود و بخار تولید شده محفظه آخر در اولین محفظه که همان کندانسور اصلی است، فشرده شده و تبدیل به آب می‌شود. آب‌های تولیدی در محفظه ها، محصول دستگاه نمک‌زدایی تقطیر چند مرحله‌ای است. گازهای میعان ناپذیر اگر به داخل لوله‌ها برسند، در کندانسور اصلی ایجاد اختلال می‌کنند و لذا باید از سیستم خارج شوند چه در غیر این‌صورت باعث کاهش میزان تولید آب دستگاه می‌شود.

دیاگرام شماره ۴-۳۴

فرایند تقطیر ناگهانی با لوله‌های افقی مبادله حرارت



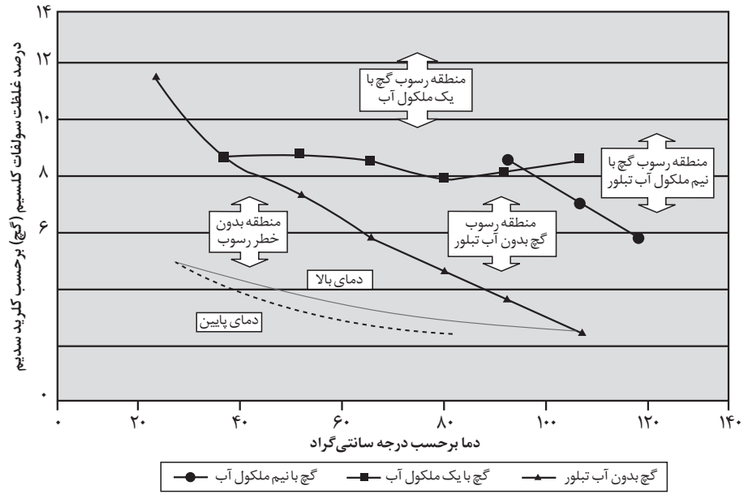
برای خارج کردن این گازها از جت بخار آب و یک اجکتور[1] استفاده می‌شود و بخار مورد نیاز هم از سیستم تولید بخار گرفته می‌شود. تاسیسات نشان داده شده در دیاگرام شماره ۴-۳۴ به نام آب خام آغازین[2] نامیده می‌شود زیرا آب خام دریا به محفظه اول پمپ می‌شود، به همان محفظه ای که آب نمک غلیظ گردش مجدد هم به آن هدایت می‌گردد. در نوع دیگر به نام آب خام انتها[3] که در آن آب خام به طور سری به محفظه های با فشار بیشتر پمپ می‌شود. از محدودیت روش دوم این است که گرچه حرکت آب در محفظه‌ها با افزایش فشار و غلظت املاح همراه است اما خطر ترسیب روی سطوح محفظه‌ها بیشتر می‌شود. در نوعی دیگر از این صنعت برای کاهش تعداد پمپ‌های بین محفظه‌ها، ترتیبی داده می‌شود که آب خام در یک زمان به تعداد بیشتری محفظه تولید بخار تغذیه شود.

فرایند تقطیر چند مرحله‌ای برای دمای ۷۱/۱ و ۱۱۰ درجه سانتیگراد طراحی شده است زیرا با کار در دمای پایینتر سرعت خوردگی مصالح کمتر است و لذا از مصالح ارزانتر می‌توان بهره گرفت. توجه شود که فرایند تولید رسوب تحت تاثیر درجه حرارت و غلظت املاح آب‌است. منحنی‌های شماره ۴-۱ و ۴-۲ روابط بهره‌برداری تقطیر چند مرحله‌ای را برای دماهای مختلف و غلظت سولفات کلسیم را بر حسب درصد کلرید سدیم نشان می‌دهد.

1. Steam Jet air ejector
2. Feed - Forward System
3. Backward - Feed

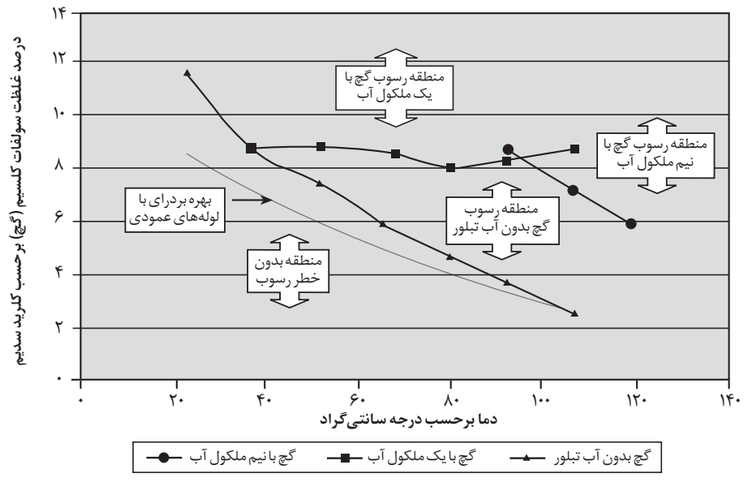
منحنی شماره ۴-۱

حلالیت سولفات کلسیم در بهره‌برداری از تقطیر چند مرحله‌ای



منحنی شماره ۴-۲

حلالیت سولفات کلسیم در بهره‌برداری تقطیر چند مرحله‌ای از نوع لوله‌های عمودی دسته‌ای



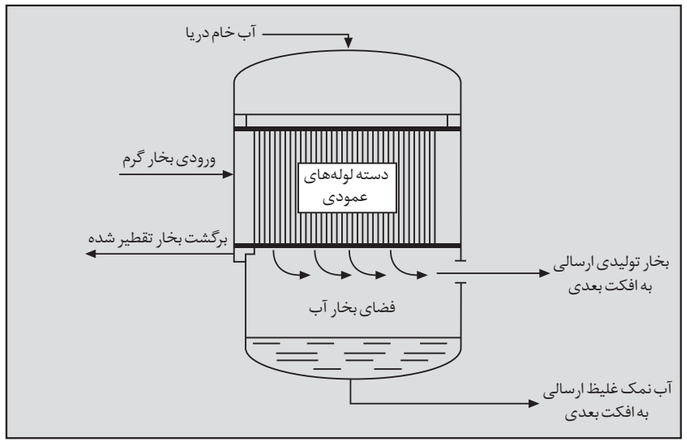
در سیستم با دسته لوله های عمودی تا دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد بدون نگرانی از ترسیب سولفات کلسیم می توان تولید آب کرد. و در دمای زیر ۱۰۴ درجه سانتیگراد فرایند تولید آب بدون نگرانی از ترسیب سولفات کلسیم غیر متبلور عمل می‌کند.

- **ترتیب لوله‌های عمودی:** نحوه ترتیب دسته‌لوله های عمودی در دیاگرام شماره ۴-۳۵ نشان داده شده است. آب خام از بالای دستگاه وارد شده و از روی سطوح داخلی لوله‌ها به طرف پایین جریان می‌یابد و حرارت لازم برای تبخیر را از آن دریافت می‌کند. در این سیستم چون ضخامت دیواره‌های لوله‌ها کم است میزان تبادل حرارت بیشتر خواهد بود. اما توزیع مطلوب آب بین سطوح با اشکال روبه‌روست.
- **ترتیب چیدمان لوله‌های دسته ای عمودی** در دیاگرام شماره ۴-۳۶ نشان داده شده است. در این سیستم به دلیل امکان ایجاد جریان خطی آب بین واحدها از نصب پمپ‌ها خودداری می‌شود. در شکل، دو دسته از لوله‌ها نشان داده شده است و ممکن است تعداد بیشتری قرار داده شود.

دیاگرام شماره ۴-۳۷ تاسیسات تولید آب روزانه معادل ۳۰۳،۰۰۰ متر مکعب را که در کالیفرنیا

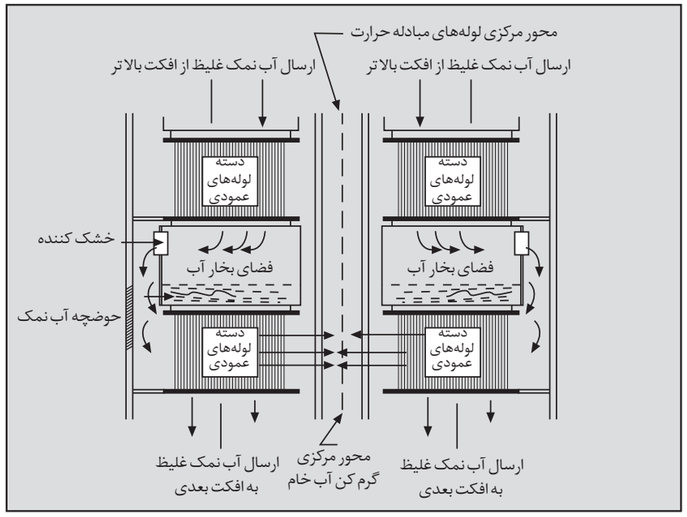
دیاگرام شماره ۴-۳۵

ترتیب لوله‌های جمعی عمودی در تقطیر چندمرحله‌ای



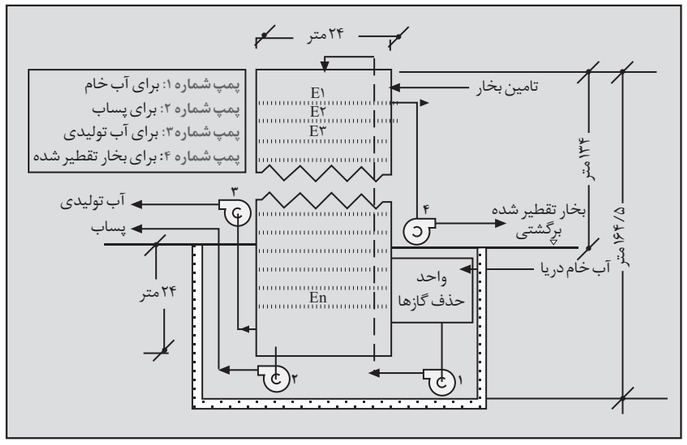
دیاگرام شماره ۴-۳۶

دسته لوله‌های عمودی در تقطیر چندمرحله‌ای



دیاگرام شماره ۴-۳۷

تقطیر چندمرحله‌ای با دسته لوله‌های عمودی



نصب شده است نشان می‌دهد در این سیستم آب خام پس از عبور از واحدهای حذف اکسیژن و دی اکسیدکربن و افزایش اسید، به سیستم پمپ می‌شود. اگر در آب خام فلزات سنگین وجود داشته باشد خورندگی شدید بروز می‌کند و لذا در واحدهای حذف گازها کلاف الیاف آلومینیوم قرار داده می‌شود تا اگر در آب مس، نیکل و فلزات دیگر وجود داشته باشد جذب آن شده و از آب زدایش شود.

آب تحت فشار پمپ در حین عبور از واحدها گرم شده و از بالا وارد اولین محفظه می‌شود و بین لوله‌ها به جریان ثقلی خود ادامه می‌دهد که همان آب خام آغازین نامیده می‌شود. بخار آب کم فشار منبع انرژی حرارتی محفظه اول است و همان طور که گفته شد بخار تولید شده از محفظه اول به محفظه دوم با فشار کمتر هدایت می‌شود و فرایند تولید بخار ادامه پیدا می‌کند که پیشتر توضیح داده شده است.

خصوصیات تقطیر چند مرحله‌ای

جدول شماره ۴-۱۱ خصوصیات و یا مشخصات سه نوع تقطیر چند مرحله‌ای مشروح در بالا را نشان می‌دهد و گرچه در جدول، دمای عملیات برای لوله‌های افقی و عمودی ۷۶/۷ آورده شده است اما در ۱۱۰ درجه سانتیگراد هم سیستم تولید آب می‌کند.

- **مواد و ساخت:** جدول شماره ۴-۱۲ مواد و مصالح ساخت۳ نوع تاسیسات را نشان می‌دهد و توجه شود که در تاسیسات لوله‌های افقی و عمودی دسته‌ای برای کار در حرارت ۷۶/۷ درجه سانتیگراد ساخته شده است و سیستم لوله‌های عمودی برای دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد طراحی شده است و لوله‌های کندانسور اصلی همه دارای قطر ۲ اینچ هستند. تاسیسات با لوله‌های افقی تا سال ۲۰۰۳ با حدود ۲۰ سال سابقه بهره‌برداری و با فروش تقریباً ۳۰۰ واحد از این نوع کارامدی خود را به اثبات رسانده و صنعت آن توسعه یافته است. اولین دستگاه از نوع ترتیب لوله‌های عمودی در سال ۱۹۶۸ در جزایر ویرجین[1] نصب شد و پس از آن دو دستگاه دیگر از این نوع در آنجا نصب شده است. این سیستم برای حرارت‌های ۱۱۰ درجه سانتیگراد ساخته و نصب شده است اما سطوح لوله‌ها برای مبادله حرارت کافی نبوده است و لذا میزان

1. Virgin

تولید آب آن کمتر از ظرفیت اسمی کارخانه است و تناسب عملکرد به حد اسمی نرسیده. به هرحال این نوع سیستم در نقاط مختلف دنیا در حال بهره‌برداری است.

جدول شماره ۴-۱۱: ویژگی‌های فرایند تقطیر چند مرحله‌ای

ردیف	دمای کم با لوله‌های افقی	دمای کم با لوله‌های عمودی	لوله‌های دسته‌ای عمودی	دمای بالا با لوله‌های افقی	دمای بالا با لوله‌های عمودی
حداکثر دمای کار - درجه سانتیگراد	۷۱/۷	۷۱/۷	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
درصد بازیافت	۳۵-۲۰	۳۵-۲۰	۶۷	۳۵-۲۰	۳۵-۲۰
تناسب عملکرد kg/Mj	۵/۱۷-۳/۴۴	۴/۳۰-۳/۴۴	۱۰/۳۳	۶/۴۶-۳/۴۴	۶/۴۶-۳/۴۴
ضریب انتقال حرارت[1] W/m^2-K	۳/۴۰۷-۱/۷۰۳	۳/۴۰۷-۱/۷۰۳	۱۱/۳۵۶-۴/۵۴۲	۴/۲۵۹-۱/۷۰۳	۴/۲۵۹-۱/۷۰۳
غلظت املاح پساب میلی‌گرم در لیتر املاح	۵۴۰۰۰	۵۴۰۰۰	۱۰۶۰۰۰۰	۵۴۰۰۰	۵۴۰۰۰
برق مصرفی[2] MJ/m^3	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۰۱۰۶-۰/۰۰۰۵۲۶	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳۲
کیفیت آب تولیدی میلی‌گرم در لیتر املاح	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵
پیش تصفیه - مواد شیمیایی: میزان مصرف به میلی گرم در لیتر	پلی‌فسفات ۴-۰/۵	پلی‌فسفات ۴-۰/۵	اسید یا پلیمر اسید در ۱۴۰ پلیمر در ۱-۲	پلیمر ۲-۱	اسید یا پلیمر اسید در ۱۴۰ پلیمر در ۵-۱۰

در نوع ترتیب لوله‌های عمودی دسته‌ای که نسبت به دو طرح قبلی طرحی به نسبت نوپاست و سابقه آن ۴۰ تا ۵۰ سال است، بر اساس تجربه‌های پیلوت در امریکا از مزایای زیر برخوردار است.

- ضریب انتقال حرارت آن بزرگتر از نیازهای پیشبینی شده است؛
- بهره‌برداری از آن در طیف دمای ۳۷ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد بدون اشکال بوده است؛
- تولید آب آن طبق مبانی طراحی بوده است؛

1. w/m^2-K= Watts per square meter - kelvin

2. Mj/m^3= Mega Joules per m^3

جدول شماره ۴-۱۲: **مصالح ساخت تاسیسات تقطیر چند مرحله‌ای**

اقلام	طرح لوله‌های افقی	طرح لوله‌های عمودی	طرح با دسته لوله‌های عمودی
محفظه‌های تقطیر	کربن استیل با پوشش اپوکسی	کربن استیل با پوشش اپوکسی	بتن
لوله‌های مربوط به تقطیر یا اثر	آلومینیوم	آلومینیوم - برنج - مس - نیکل	آلومینیوم
صفحات لوله‌ها	آلومینیوم	آلومینیوم - برنج - مس - نیکل	آلومینیوم
لوله‌های پیش گرم کننده	آلومینیوم	آلومینیوم - برنج	تیتانیوم
تلمبه‌ها	فولاد ضد زنگ ۳۱۶	فولاد ضد زنگ ۳۱۶	آلومینیوم - برنج
واحد اکسیژن زدایی	کربن استیل با پوشش اپوکسی	کربن استیل با پوشش اپوکسی	بتن - آلومینیوم
سازه‌های بیرونی	کربن استیل	کربن استیل	نیازی ندارد
سازه‌های داخلی	کربن استیل با اپوکسی	کربن استیل با اپوکسی	آلومینیوم
رطوبت گیر - خشک کننده	فولاد زد زنگ ۳۱۶	فولاد ضد زنگ ۳۱۶	فولاد ضد زنگ ۳۱۶

- کیفیت آب تولیدی و غلظت آلومینیوم در آب تولیدی طبق پیشبینی بوده است.
- خورندگی درخور ملاحظه‌ای در لوله ها مشاهده نشده است.
- رسوبهای ایجاد شده در روی لوله‌ها به آسانی زدوده می‌شود.

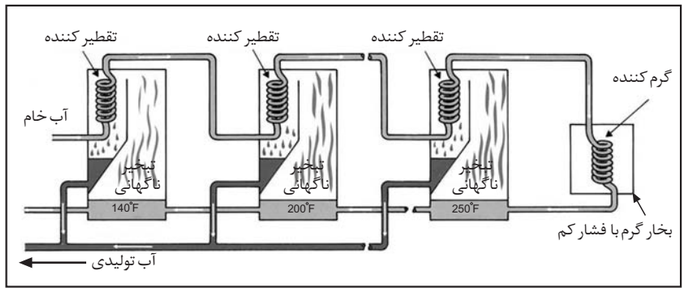
تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای[1]

تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای صنعت دیگری برای تولید آب کم‌نمک به روش تقطیر است. طبق دیاگرام شماره ۴-۳۸ و ۴-۳۹ آب خام تحت فشار هیدرولیکی زیاد که دارای دمای زیاد است ناگهان وارد محفظه‌ای با فشار کم می‌شود و بخشی از آب به طور سریع یا ناگهانی تبخیر می‌گردد، بقیه آب وارد محفظه دوم که فشار هوا کمتر است می‌شود و باز بخشی از آب به طور سریع تبخیر می‌گردد و این فرایند به طور سری در محفظه‌ها انجام می‌گیرد. بخار آب تولید شده در بخش بالا و کناری هر واحد در تماس با لوله‌های آب خام سرد، فشرده و تقطیر می‌شوند. لذا در هر محفظه بخشی از آب خام تبخیر و در همان محفظه حرارت خود را از دست داده و تقطیر می‌شود.

1. Multi-Stage Flash Distllation (MSF)

دیاگرام شماره ۴-۳۸

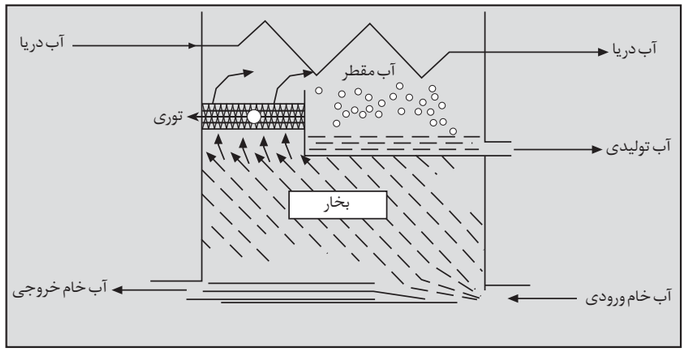
مراحل تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای



برخلاف تقطیر چندمرحله‌ای، در تبخیر ناگهانی در هر مرحله هم بخار آب ناشی از تبخیر ناگهانی تولید می‌شود و در همان واحد تبدیل به آب مقطر تولیدی می‌گردد. لذا بازیافت انرژی در آن مطلوبتر است. مقدار تولید بخار بستگی به اختلاف دمای دو مرحله دارد، لذا هرچه اختلاف دما بیشتر باشد تولید بخار و در نتیجه تولید آب بیشترخواهد بود. لذا با هر تبخیر ناگهانی دمای آب باقیمانده کاهش می‌یابد تا از نظر ترمودینامیکی با فشار آن مرحله به تعادل برسد. میزان تولید آب حدود ۱۵ درصد آب خام ورودی به سیستم است و آب تولیدی مرحله آخر دارای دمای آب خام است.

دیاگرام شماره ۴-۳۹

یک مرحله از تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای



فرایند تولید بدین ترتیب است که آب خام ابتدا وارد شبکه لوله‌های بازیافت حرارت می‌شود و همان‌طور که از هر مرحله می‌گذرد گرمتر می‌گردد که همراه است با سرد شدن بخار آب تولیدی و تبدیل شدن آب به قطرات آب، حال آب خام پس از گذر از واحد فوق وارد گرم کننده آب غلیظ می‌شود. در اینجا آب در حد دمای طرح، گرم می‌شود که برای این بحث ۹۰/۶ درجه سانتیگراد است و حال وارد اولین واحد تبخیر ناگهانی می‌شود همان‌طور که در دیاگرام شماره ۴-۳۸ نشان داده شده است. لذا آب مرحله اول گرمتر از آب مرحله دوم است که به علت تبخیر ناگهانی مرحله اول به ۷۸/۱ درجه سانتیگراد رسیده است.

همان‌طور که گفته شد مقدار تبخیر بستگی به اختلاف دمای دو مرحله دارد که در این مورد ۱۲/۵ درجه است و بدین ترتیب در هر مرحله، آب بخشی از حرارت و نیز بخشی از خود آب را که تبخیر شده است از دست می‌دهد. البته در واحدهای دیگر میزان تبخیر کمتر می‌شود زیرا اختلاف دما کاهش می‌یابد.

بدین ترتیب آب نمک غلیظ از هر واحد به واحد دیگر جریان می‌یابد. از طرف دیگر آب تولیدی هر مرحله به مرحله بعدی فرستاده می‌شود که دارای فشار کمتری است و پس از خروج از دستگاه برای تصفیه نهایی جریان می یابد.

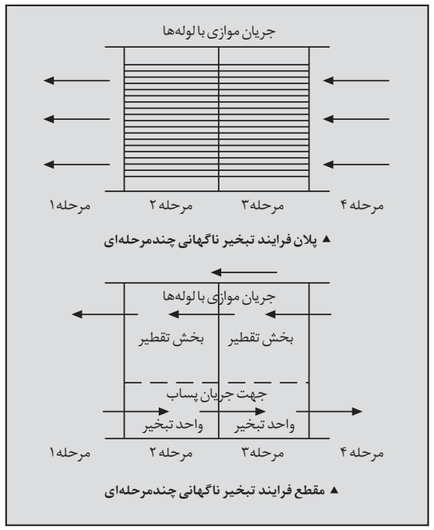
سیستم‌های تبخیر ناگهانی به صورت تولید دو محصول آب و برق با نیروگاههای حرارتی مورد استفاده قرار می گیرد که درباره آنها بحث خواهد شد.

- **ترتیب فرایند**[1]: فرایند تبخیر ناگهانی به دو صورت عمل می‌کند، یک بار جریان[2] و یا با گردش دوباره[3] و در هر دو ترتیب لوله‌ها را می‌توان به صورت موازی[4] و یا چلیپایی[5] قرار داد. در ترتیب لوله‌های موازی لوله‌ها به موازات جریان آب خام قرار می‌گیرند که در دیاگرام شماره ۴-۴۰ نشان داده شده است. و در نوع چلیپا لوله‌ها در ترتیب عمود بر جریان آب قرار می‌گیرند که در دیاگرام شماره ۴-۴۱ نشان داده شده است. چون بهره‌برداری در هر دو ترتیب یکسان است به شرح فرایند پرداخته می‌شود.

1. Process Arrangment
2. once-through
3. Recycle
4. Long tube
5. Cross tube

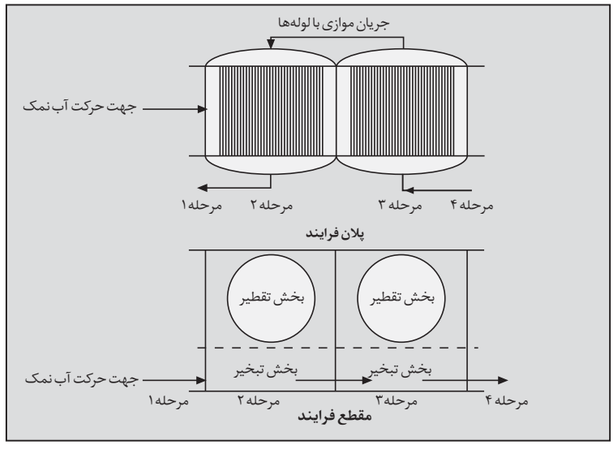
دیاگرام شماره ۴-۴۰

مراحل تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای با لوله‌های بلند



دیاگرام شماره ۴-۴۱

تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای با طرح چلیپایی لوله‌ها



شرح فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای

- **ترتیب یک‌بار جریان:** تاسیسات یک‌بار جریان در دیاگرام شماره ۴-۴۲ نشان داده شده است. در این تاسیسات، آب خام پس از عبور از واحدهای بازیافت انرژی حرارتی و واحد گرم کننده به اولین مراحل تبخیر ناگهانی هدایت شده و در نهایت آب غلیظ نمک‌دار از سیستم خارج می‌شود. اشکال کار این ترتیب این است که برای جلوگیری از بروز خوردگی و ترسیب شیمیایی، آب باید قبل از ورود به مراحل تبخیر ناگهانی قبلا گرم شده باشد. در این ترتیب هم آب باید از نظر اکسیژن و دی‌اکسید کربن زدایش شود لذا فرایندهای پیش تصفیه الزامی است و در نتیجه دو مرحله پمپاژ کردن آب ضرورت دارد و طبعاً تاسیسات یک‌بار جریان بزرگتر از تاسیسات گردش مجدد است.

  امتیاز اصلی این سیستم در این است که خطر ترسیب سولفات کلسیم بسیار کم است زیرا آب در هنگام جریان از واحد بازیافت حرارت دارای همان غلظت املاح آب خام دریاست که حالت تعادل داشته است. از امتیازات دیگر یک‌بار جریان بالاتر بودن دمای آب و فشار کمتر در تولید بخار آب است.

- **ترتیب گردش مجدد:** فرایند این نوع تاسیسات در دیاگرام شماره ۴-۴۳ نشان داده شده است. از دلایل توسعه این ترتیب کاهش هزینه‌های پمپاژ، مصرف مواد شیمیایی و تاسیسات گاززدایی است و واحد تبخیر به دو بخش جدا از هم به نام بخش دفع[1] و بخش بازیافت[2] تقسیم شده است.

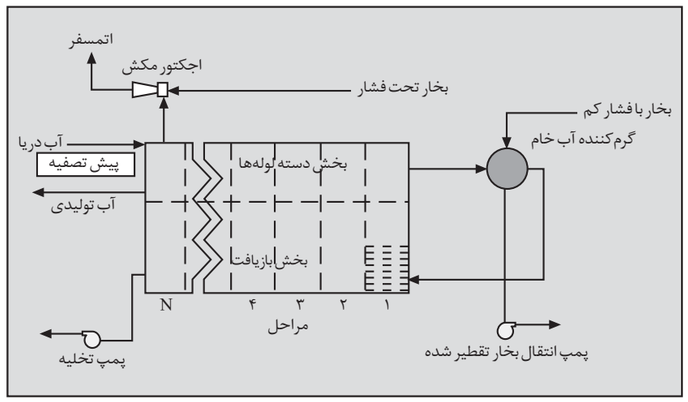
  در بخش دفع، آب خام دریا حرارت لازم را گرفته و به محفظه‌های تبخیر ناگهانی هدایت می‌شود و در بخش بازیافت دمای آب در حال گردش افزایش می‌یابد یعنی انرژی حرارتی لازم را از بخار آب گرم تولید شده دریافت می‌کند. لذا در این ترتیب آب خام دریا ازکنار لوله‌های بازیافت حرارت جریان یافته و گرم شده و به محل اولیه آب برگشت داده می‌شود. لیکن بخش کوچکی از آن به عنوان آب جبرانی وارد تاسیسات می‌گردد. حال این آب که فرایندهای پیش تصفیه را گذرانده پس از عبور از واحدهای اکسیژن‌زدایی و دی‌اکسید کربن‌زدایی به آخرین محفظه بخش دفع هدایت می‌شود.

---

1. Rejection
2. Recovery

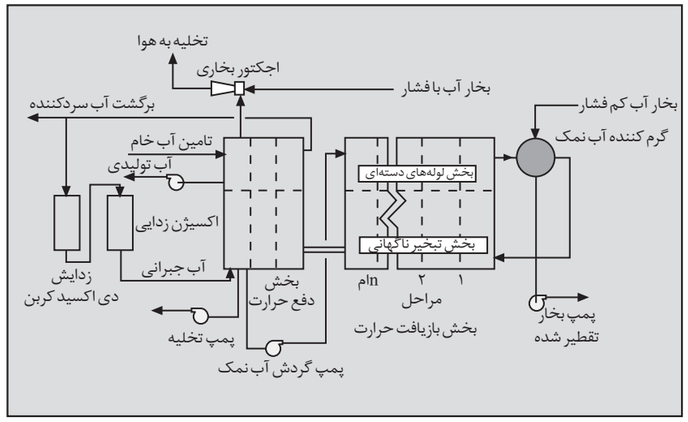
دیاگرام شماره ۴-۴۲

تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای با یکبار جریان



دیاگرام شماره ۴-۴۳

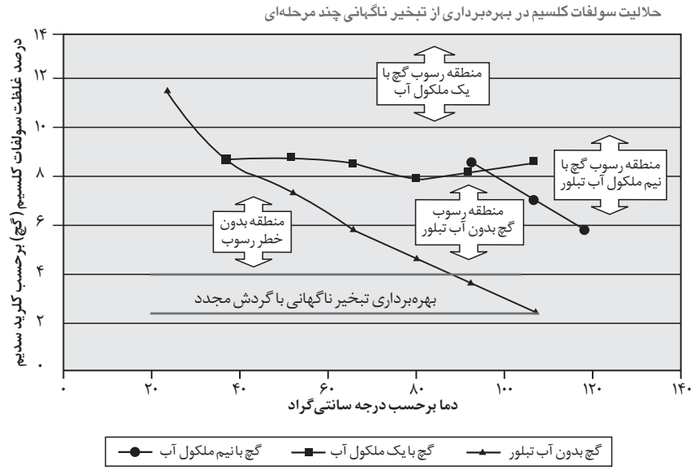
نمایی از تبخیر ناگهانی با گردش مجدد



در آخرین محفظه، بخشی از آب در حال گردش مجدد، معادل مقدار آب جبرانی از سیستم خارج می‌شود و لذا غلظت املاح تحت کنترل می‌ماند تا وارد محفظه‌های تبخیر و تقطیر گردد.

منحنی شماره ۴-۳

حلالیت سولفات کلسیم در بهره‌برداری از تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای



- **ترسیب:** منحنی‌های بهره‌برداری برای یک‌بار جریان و گردش مجدد از نقطه نظر رسوب سولفات کلسیم در منحنی شماره ۴-۳ نشان داده شده است. منحنی نشان می‌دهد که در سیستم یک‌بار جریان که در دمای ۹۰/۶ درجه سانتیگراد کار می‌کند به مرز تولید رسوب بدون آب تبلور نمی‌رسد. اما از طرف دیگر منحنی مربوط به فرایند با گردش مجدد به این مرحله ترسیب می‌رسد. لذا در فرایند گردش مجدد احتمال بروز رسوب وجود دارد. در اینجا کاربرد بازدارنده رسوب می‌تواند سودمند باشد. تولید رسوب در این فرایند به طور آرام و محدود و به صورت غیر متبلور رخ می دهد و به دلیل افزودن بازدارنده حداکثر غلظت املاح در آب بخش تبخیر ناگهانی و نه آب روی سطوح لوله‌ها خواهد بود.
- **خوردگی:** علاوه بر مسئله خوردگی، این سیستم در معرض خطر سایش و برخورد[1] قرار دارد. سایش ناشی از جریان آشفته آب در واحدهای تولید بخار به خصوص در جریان دو فازی یعنی محلی که آب به وسیله نوعی کنترل از یک محفظه به محفظه دیگر هدایت می شود که روزنه های ارتباط واحدها هستند.

1. Impingement

برای مثال در طرح لوله‌های طولانی در زمانی که میزان جریان آب بیشتر از ۱۶،۸۵۶ کیلوگرم در ساعت در متر مربع است سطوح تمام پوسته باید با فولاد ۳۱۶ال پوشانده شود. در مورد جریان چلیپایی اگر جریان کمتر از ۱۶۸۵۶ کیلو گرم در ساعت در متر مربع باشد، پوشش سطوح ضرورت ندارد. البته مراحل اول تا ششم واحدهای تولید[1] بخار بهتر است دارای پوشش پیشگفته بشود.

- **ویژگیهای فرایندها:** در جدول شماره ۴-۱۳ مشخصات دو نوع سیستم تبخیر ناگهانی نشان داده شده است. گرچه فرایند یک‌بارجریان در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد هم می تواند بهره‌برداری شود اما حداکثر دما در سقف ۹۰/۶ درجه سانتی گراد محدود می‌شود. بنابراین جدول فرایند یک‌بار جریان و برای شرایط دمای ۹۰/۶ درجه سانتی گراد ارائه شده است.

جدول شماره ۴-۱۳: ویژگیهای فرایندهای تبخیر ناگهانی

ردیف	یک‌بار گردش	گردش مجدد
حداکثر دمای بهره‌برداری، درجه سانتیگراد	۹۰/۶	۱۱۰
درصد بازیافت فرایند	۱۰- ۱۵	۱۰- ۲۰
تناسب عملکرد (کیلو گرم بر مگا ژول)	۳/۴۴- ۴/۳	۳/۴۴- ۵/۱۷
ظرفیت انتقال حرارت (وات در متر مربع سانتیگراد)	۲/۲۷۱ - ۳/۴۰۷	۲/۲۷۱ - ۳/۴۰۷
غلظت پساب (میلی گرم بر لیتر)	۵۸۰۰۰	۶۲۰۰۰
مصرف انرژی: (مگاژول در لیتر) • بخار تحت فشار بالا • بخار تحت فشار کم • برق	- ۰/۲۹- ۰/۲۴ ۰/۰۲۶	۰/۲۹- ۰/۲ - ۰/۰۲۶
کیفیت آب تولیدی (میلی گرم در لیتر)	۲۵- ۰/۵	۲۵- ۰/۵
پیش تصفیه: ترکیبهای شیمیایی میزان (میلی گرم در لیتر)	 پلی‌فسفات ۶-۴	 اسید یا پلیمر اسید= ۱۴۰ پلیمر= ۵ تا ۱۰

1. Stages

- **مواد و ساخت:** مواد و مصالح مورد استفاده برای ساخت لوله‌های بلند افقی و نوع چلیپایی با هم متفاوت است. سرعت جریان آب خام در نوع لوله‌های افقی بلند تقریباً بیش از دو برابر نوع چلیپایی است. لذا مواد به کار رفته در ساخت لوله‌های افقی در معرض فرسایش و برخورد بیشتری هستند و مواد کربن استیل نمی‌تواند سرعت زیاد آب را تحمل کند و اثر برخورد بویژه در محل خروج آب از روزنه‌ها به داخل حوضچه‌های تبخیر مشکل‌ساز است. لذا این سیستم باید با فولاد ۳۱۶ ال و یا مواد مشابه پوشش داده شود.

در نوع چلیپایی ویژگیهای طرح به نحوی است که حوضچه‌های تبخیر عریضتر و لذا سرعت آب کمتر است. بهره‌برداری‌ها نشان داده است که برای میزان جریان ۱۶۸۵۶ کیلوگرم آب در ساعت در متر مربع و یا کمتر کاربرد کربن استیل بدون نیاز به پوشش مشکل آفرین نیست از طرف دیگر استفاده از معیارهای کوچکتر برای طراحی باعث می‌شود حوضچه‌ها باریکتر و کوچکتر بشود و سرعت افزایش یابد و لذا پوشش سطوح ضرورت پیدا می‌کند. امروزه طراحی‌ها طوری است که پوشش روی کربن استیل ضرورت پیدا می‌کند و هزینه‌های تعمیرات کاهش می‌یابد.

توجه شود که ۳ تا ۶ محفظه اول که دمای آب در آن‌ها بالاتر و در حدود ۱۱۰ درجه سانتیگراد است، پیشبینی پوشش ضرورت دارد. به هرحال اگر پوشش پیشبینی شود می‌توان از سرعت‌های بیشتر بهره‌گرفت و ابعاد و اندازه واحدها کوچکتر گردد.

مصالح مورد استفاده در این دو نوع طرح در جدول شماره ۴-۱۴ آورده شده است. وضعیت امروز تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای - این روش نمک زدایی در نوع یک‌بار گردش از قدیمیترین فرایندهای مورد استفاده است که توسعه کامل یافته و در طی ۳۰ سال گذشته واحدهای زیادی از این نوع ساخته شده و مورد استفاده هستند. با افزایش ظرفیت تولید این نوع تاسیسات قیمت تمام شده آب کاهش چشمگیری پیدا می‌کند.

- **سیستم گردش مجدد:** در طی ۲۰ سال گذشته بیشتر تاسیسات نمک‌زدایی با فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای بر اساس گردش مجدد و از نوع لوله‌های چلیپایی ساخته شده‌اند. نوع لوله‌های افقی تا حدود سال‌های ۱۹۷۰ محبوبیت داشتند اما به دلیل فرسایش و خوردگی این نوع تاسیسات مقبولیت خود را از دست داده است.

جدول شماره ۴-۱۴: **مصالح برای ساخت بخش‌های تبخیر ناگهانی**

ردیف	طرح لوله‌های بلند	طرح لوله‌های چلیپایی
محفظه‌های تبخیر ناگهانی	کربن استیل با پوشش فولاد ۳۱۶ال	کربن استیل ـ سه واحد اول با پوشش فولاد ۳۱۶
نگهدارنده‌های حوضچه‌ها	فولاد ضد زنگ ۳۱۶	کربن استیل
دیواره‌های بخش میعان	کربن استیل با پوشش فولاد ۳۱۶ ال	کربن استیل با پوشش فولاد ۳۱۶ ال
لوله‌های میعان ساز: • بخش دفع • بخش بازیافت • بخش گرم کننده آب خام	مس ـ نیکل ۳۰-۷۰ مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ تا ۸۰ درجه مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ بالای ۸۰ درجه مس ـ نیکل ۳۰-۷۰	مس ـ نیکل ۳۰-۷۰ مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ بالای ۸۰ درجه سانتیگراد مس ـ نیکل ۳۰-۷۰
لوله‌های ارتباطی و حوضچه‌ها	کربن استیل ۱۰-۹۰ با پوشش مس ـ نیکل	کربن ـ استیل ۱۰-۹۰ با پوشش مس ـ نیکل
لوله‌ها: • بخش دفع • بخش بازیافت • بخش گرم کننده آب خام	مس ـ نیکل ۳۰-۷۰ مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ تا ۸۰ درجه مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ بالای ۸۰ مس ـ نیکل ۳۰-۷۰	مس ـ نیکل ۳۰-۷۰ مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد مس ـ نیکل ۱۰-۹۰ بالای ۸۰ درجه سانتیگراد مس ـ نیکل ۳۰-۷۰
پمپ ها	برنز	برنز
نگهدارنده‌های خارجی	کربن استیل	کربن استیل
خشک کننده	فولاد ضدزنگ ۳۱۶	فولاد ضدزنگ ۳۱۶
اکسیژن‌زدا ـ کربن‌دی اکسیدزدا	کربن استیل با پوشش لاستیک	کربن استیل با پوشش لاستیک

۶ تراکم بخار آب[1]

در این فرایند بخار آب تولید شده در خود تاسیسات، متراکم و به آب تبدیل می‌شود و لذا بازیافت آن به نسبت بالاتر است چنانکه در استفاده از آب دریا بازیافت ۵۰ درصد ممکن است تناسب عملکرد آن نسبتا بالاتر و تا ۷/۷ کیلوگرم برای هر مگاژول انرژی حرارتی برسد.

برای تراکم بخار[2] آب دو روش وجود دارد:

---

1. Vapor Compression

۲. در اینجا منظور از بخار آب تحت فشار معادل واژه انگلیسی Steam است و بخار آب هم به جای واژه انگلیسی Vapour یا Vapor به کار رفته است.

- تراکم مکانیکی[1]؛
- تراکم با بخار تحت فشار[2]؛

در تراکم مکانیکی کمپرسور مورد استفاده با برق شبکه و یا حاصل از دیزل مولد برق کار می‌کند و در نوع بخاری، بخار تحت فشار برای ایجاد تراکم بخار آب تولید شده در محفظه[3] مربوط به کار می‌رود و سپس بخار تحت فشار برای گرم کردن و تولید بخار آب مورد استفاده قرار می‌گیرد در نوع تراکم بخاری، حرارت لازم برای تولید بخار آب از بخار تحت فشار گرفته می‌شود. بخار گرم در داخل لوله‌ها جریان دارد و آب خام روی آن‌ها پاشیده می‌شود، حال بخار تولید شده تحت فشار قرار می‌گیرد و حرارت حاصل از آن برای تولید دوباره بخار، مورد استفاده قرار می‌گیرد که در دیاگرام های شماره ۴-۴۴و ۴-۴۵ نشان داده شده است. در بیشتر موارد، تراکم بخار به وسیله کمپرسورهای مکانیکی انجام می‌گیرد.

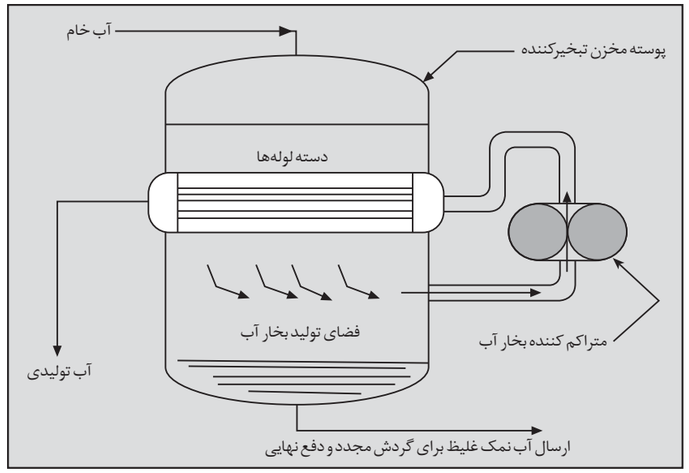
- **شرح فرایند کار**: امروزه دو نوع دستگاه تراکم بخار برای تولید آب در بازارهای جهانی وجود دارد؛ نوع افقی و نوع عمودی که نحوه استقرار لوله‌های تبادل حرارت را بیان می‌کند.

استفاده از این صنعت هم برای حرارت کم آب خام یعنی در حدود ۴۶/۱ درجه سانتیگراد و هم برای دماهای بالا تا ۱۰۱/۷ درجه سانتیگراد کاربرد دارد. همان‌طور که دیاگرام شماره ۴-۴۵ نشان می‌دهد، آب خام وارد واحد تبادل حرارت شده و گرم می‌شود و معمولا این واحد از انواع صفحه‌ای ساخته می‌شود و با بخشی از آب نمک غلیظ موجود مخلوط می‌گردد لذا گردش مجدد در کار است، تناسب اختلاط بین دو آب تابع مشخصات و مبانی طراحی است. حال این آب گرم یا روی سطوح لوله‌های افقی منصوب پاشیده می‌شود و یا در روی لوله‌های عمودی پخش می‌گردد. لذا بخشی از آب که در روی سطوح داخلی لوله‌ها جاری است با مبادله حرارت به بخار آب تبدیل می‌شود.

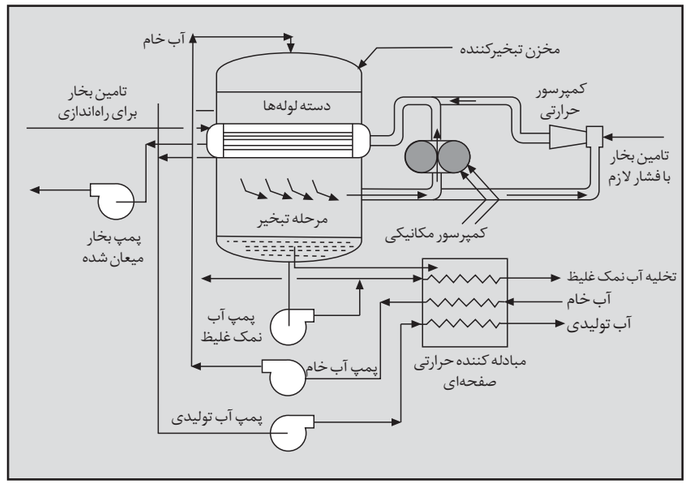
سپس بخار آب تولید شده به وسیله کمپرسور، متراکم و فشرده می‌شود. این فشرده شدن بخار آب همراه است با تولید انرژی حرارتی که مورد استفاده مجدد برای بخار شدن آب قرار می‌گیرد.

1. Mechanical Compression(MVC)
2. Thermo-vapor Compression(TVC)
3. Vessel

دیاگرام شماره ۴-۴۴
نمایی از تراکم بخار آب

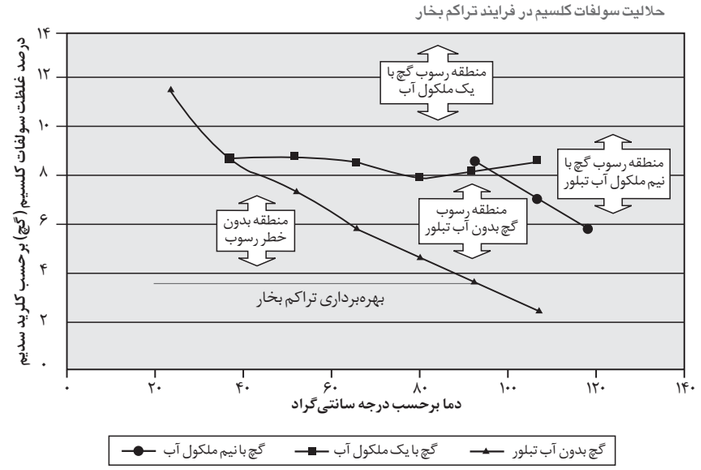


دیاگرام شماره ۴-۴۵
دیاگرام فرایند تراکم بخار دستگاه متراکم کننده مکانیکی یا حرارتی



منحنی شماره ۴-۴

حلالیت سولفات کلسیم در فرایند تراکم بخار



حال، آب با غلظت بالای نمک، به وسیله پمپ مخصوص آب نمک وارد گردش مجدد می‌شود و به دو بخش تقسیم می‌گردد. بخشی با آب خام جدید مخلوط می‌شود و در سیستم باقی می‌ماند و بخشی از سیستم تولید تبخیر، خارج می‌شود.

لذا همان‌طور که قبلاً گفته شد حرارت به کار رفته برای تولید بخار، با تراکم دوباره بخار و تولید آب حرارت خود را به آب خام برمی‌گرداند تا برای تولید بخار به کار می‌رود. برای شروع به کار سیستم، بخار آب لازم است ولی پس از شروع کار سیستم، به انرژی حرارتی دیگری مگر در شرایط خاص نیاز ندارد.

منحنی‌های مربوط به بهره‌برداری از این صنعت نمک‌زدایی در رابطه با سولفات کلسیم در منحنی شماره ۴-۴ نشان داده شده است. منحنی بهره‌برداری از فرایند تراکم بخار آب در دمای حدود ۸۰ درجه سانتیگراد منحنی انحلال خشک[1] را قطع می‌کند.

در بعضی از شرایط ممکن است سیستم از این دما تجاوز کند و در این‌صورت با افزایش بازدارنده رسوب، خطر ترسیب از بین می‌رود.

1. Anhydrite Solubility

جدول شماره ۴-۱۵: ویژگیهای فرایندی تراکم بخار

ردیف	تراکم مکانیکی بخار با درجه دمای کم	تراکم مکانیکی بخار با دمای بالا	کمپرسور بخاری با دمای پایین
حداکثر دمای بهره‌برداری (درجه سانتیگراد)	۴۶/۱	۱۰۱/۷	۴۶/۱
درصد بازیافت	۴۰	۴۰	۴۰
تناسب عملکرد (کیلوگرم بر مگاژول)	۵/۱۷-۳/۴۴	-	-
ضریب انتقال حرارت (وات بر مترمربع در سانتیگراد)	۲/۲۷۱-۱/۷۲۰	-	-
غلظت پساب (میلی‌گرم بر لیتر)	۵۸۰۰۰	۵۸۰۰۰	۵۸۰۰۰
مصرف انرژی:			
• بخار تحت فشار	-	-	۰/۰۲۴-۰/۰۱۵۹
• برق مصرفی (مگاژول بر مترمکعب)	۰/۰۲۵۲-۰/۰۱۷۲	۰/۰۲۵۲-۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۱۳۲
• کیفیت آب تولیدی (میلی‌گرم بر لیتر املاح)	کمتر از ۲۵	کمتر از ۱۰	کمتر از ۲۵
پیش‌تصفیه:			
• شیمیایی	پلی‌فسفات	اسید یا پلی‌فسفات	پلی‌فسفات
• میزان (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۵	۱۰-۴	۱۰-۴

- **ویژگیهای فرایند تراکم بخار**: در جدول شماره ۴-۱۵ خصوصیات و شرایط فرایند تراکم بخار برای دماهای کم و زیاد نشان داده شده است که هم برای متراکم کننده مکانیکی و هم بخاری است و باید اضافه شود که در مورد متراکم کننده بخاری از بخار با دمای کم استفاده می‌شود.
- **وضعیت فعلی فرایند**: تاسیسات لازم در بازارهای جهانی برای دماهای کم و زیاد این صنعت وجود دارد.
  - واحدهایی با دماهای کم: تاسیسات کار با دماهای کم تا ظرفیت ۱۹۰۰ متر مکعب در روز فروخته شده است. این تاسیسات برای مناطق دور از مراکز جمعیتی دارای جاذبه‌هایی است.
  - واحدهای با دماهای بالا - در مناطقی که آب فراوان نیست این نوع تاسیسات کارایی دارند. در تاسیسات نیروگاهی که آب سرد کننده‌های تاسیسات باید حفظ گردد جایگاه خوبی

جدول شماره ۴-۱۶: **مواد مورد استفاده در ساخت تاسیسات تراکم بخار**

ردیف	بهره‌برداری در دمای پایین	بهره‌برداری در دمای بالا
پوسته دیگ تولید بخار	کربن استیل با پوشش اپوکسی	کربن استیل با پوشش فولاد ۳۱۶ ال و یا تماماً فولاد ۳۱۶ ال
لوله‌های تبادل حرارت	آلومینیوم	تیتانیم
صفحات ساخت لوله‌ها	آلومینیوم	کربن استیل با پوشش تیتانیم
لوله های ارتباطی	غیر فلزی	فولاد ۳۱۶ ال
گرم کننده آب خام	تیتانیم	تیتانیم
پمپ‌ها	برنز	فولاد ۳۱۶
سازه های خارجی	کربن استیل	کربن استیل
خشک کننده	فولاد ۳۱۶	فولاد ۳۱۶

دارد بعلاوه اکثراً دارای تراکم کننده‌های مکانیکی هستند و از یک دیزل مولد انرژی الکتریکی برای تاسیسات با تولید ۳۸۰۰ متر مکعب در روز استفاده می‌شود.

در جدول شماره ۴-۱۶ مواد مورد استفاده در ساخت تاسیسات تراکم بخار ارائه شده است.

پیش تصفیه

لازم است آب خام مورد استفاده در نمک‌زدایی به کمک فرایندهای مختلف تصفیه و اصلاح گردد تا تاسیسات نمک‌زدایی دارای عملکرد مطلوبی باشند. در غیر این صورت تاسیسات در تولید آب با مشکلات بسیار روبه‌رو خواهند شد.

هر نوع صنعت نمک‌زدایی نیاز به آبی با خصوصیات ویژه آن صنعت دارد؛ چنانکه درصنعت نمک‌زدایی به روش تبخیری نگرانی های زیر وجود دارد؛

- ایجاد رسوب ترکیبهای شیمیایی در روی سطوح تبادل حرارتی و کاهش عملکرد؛
- بروز خوردگی در سطوح فلزی واحدهای تبخیر؛
- بروز سایش به علت وجود ذرات سخت مانند ماسه؛
- اثرهای نامطلوب وجود فلزات دیگر و گازها؛

در صنعت نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس هم نگرانی هایی به شرح زیر وجود دارد:

- ترسیب ترکیبهای شیمیایی روی ممبران‌ها و ایجاد گرفتگی و کاهش تولید آب؛

- بروز گرفتگی ناشی از ترسیب ذرات معلق مانند اکسیدهای فلزی؛
- رشد میکروب‌ها در روی ممبران‌ها و ایجاد گرفتگی؛
- تخریب ممبران‌ها به علت اثر اکسید کننده‌ها؛

فرایندهای تبخیر - تقطیر

در فرایندهای تقطیری، ترکیبهای شیمیایی مانند سولفات کلسیم، هیدروکسید منیزیم و کربنات کلسیم موجود در آب خام ترسیب می‌شود. این رسوبات در فرایندهای مبادله حرارت چه در تبخیر و چه در تقطیر ایجاد اختلال کرده و سودمندی تاسیسات را کاهش می دهند. اهمیت آن ها در مباحث نمک‌زدایی با روش های تبخیر در صفحه‌های پیشین آورده شده است.

با حذف کلسیم و یا سولفات‌ها در فرایندهای پیش تصفیه، می توان از تولید این رسوب جلوگیری کرد. گرچه به کمک بازدارنده‌ها و در شرایطی کاهش دما، مبارزه با آن ارزانتر است. همچنین استفاده از نانوفیلترها به عنوان عملیات پیش تصفیه باید مورد توجه قرار گیرد. با حذف یون های بی‌کربنات آب می توان مانع ترسیب این ترکیب شد.

یون بی‌کربنات را به کمک اسید می توان خنثی کرد. اسید سولفوریک با بی‌کربنات ترکیب شده تولید آب و گاز دی‌اکسیدکربن می‌کند که این گاز را باید در واحد گاززدایی حذف کرد. در غیر این صورت باید از ترکیب بازدارنده ترسیب استفاده شود.

خورندگی در فرایندهای تبخیر - تقطیر

خورندگی در واحدهای تبخیر به مقدار گازهای موجود در آب ورودی، دمای آب، غلظت کلریدها و پی‌اچ آب بستگی دارد و لذا با استفاده از فرایندهای مختلف در پیش تصفیه می توان عوامل بروز خوردگی را کنترل کرد.

- **مقدار گازها**: با زدایش دی اکسیدکربن از آب ورودی به واحدهای تبخیر، خورندگی را می توان کاهش داد. افزایش بی‌سولفیت سدیم و یا ترکیبهای مشابه به آب جبرانی[1]، در هنگام خروج از واحد هوادهی باید اطمینان یافت که در آب ورودی به واحدهای تبخیر، اکسیژن وجود ندارد.

1. Make-up Stream

- **دمای آب**: دمای آب خام تعیین‌کننده نوع ماده شیمیایی مصرفی در فرایندهای پیش تصفیه است چنانکه برای آب خام دارای دمای تا ۹۰/۶ درجه سانتیگراد پلی‌فسفات موثر است. برای آب‌های با دمای بیشتر، اسید و یا پلیمرهای خاص کربولیک مورد نیاز است. البته این نوع اعمال پیش‌تصفیه مانع خوردگی در داخل واحدها نمی‌شود.
- **غلظت یون‌های کلرید**: خورندگی ناشی از کلریدها اجتناب ناپذیر است و باید در ساخت تاسیسات از مواد ضد خوردگی استفاده شود. برای مثال اگر غلظت کلرورها در آب خام بیش از ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر باشد استفاده از فولاد ۳۱۶ ال برای ساخت تاسیسات درست نیست.
- **پی‌اچ**: با افزودن اسید به آب خام و پایین آوردن پی‌اچ آب، غلظت بی‌کربنات‌ها کاهش می‌یابد. حدود پی‌اچ مناسب این کار ۴/۲-۴/۵ است. اما اگر امکان داده شود که دی‌اکسید کربن تولید شده ناشی از کاربرد اسید به واحدهای تبخیر برسد، خوردگی شدید بروز می‌کند، لذا این گاز باید در واحد حذف آن از آب زدایش بشود. البته نتیجه زدایش دی‌اکسیدکربن افزایش پی‌اچ آب به حدود ۵/۵ - ۶ خواهد بود.
- **سایش ناشی از ذرات معلق**: ماسه تنها ماده معلق مایه نگرانی در فرایندهای تبخیری است. اگر ماسه وارد سیستم بشود در واحدهای تبخیر و سطوح لوله‌ها ایجاد سایش می‌کند و در نتیجه تعویض مرتب آنها ضرورت می‌یابد که به طبع باعث افزایش قیمت تمام شده آب می‌شود. ماسه‌ها علاوه بر ایجاد مشکل سایش ممکن است باعث گرفتگی روزنه‌های آب بین واحدها گردد.
- **سولفید هیدروژن**: بعضی آب‌های خام، مانند آب منابع زیرزمینی ممکن است دارای سولفید هیدروژن باشد که باید قبل از ورود آن به واحدهای تبخیر از آب زدایش بشود. این گاز به مصالح مسی و نیکلی که در ساخت سطوح مبادله حرارت به کار می‌رود واکنش نشان می‌دهد. این واکنش باعث کاهش ظرفیت تبادل حرارت دستگاه شده و در نهایت کار آن‌ها را متوقف می‌کند.
- **روغن‌ها**: این آلاینده‌ها نیز باید در مراحل پیش تصفیه از آب زدایش شود زیرا در صورت وجود آن در آب مورد نمک‌زدایی سطوح لوله‌های واحدهای تبخیر را کثیف کرده و نرخ تبادل حرارتی را کاهش می‌دهد.

- **رشد آبزیان**: رشد آبزیان دریا در روی سطوح تاسیسات آبگیر و لوله انتقال ممکن است مزاحمت ایجاد کند که با کاربرد متناوب کلر می‌توان با آن مبارزه کرد. میزان تقریباً مستمر افزایش حدود ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است و گهگاه به صورت افزایش ناگهانی حدود ۵ گرم در متر مکعب اثر مطلوبتری خواهد داشت.
- **فلزات سنگین**: اگر واحدهای تبخیر از آلومینیوم ساخته شده باشد، فلزاتی مانند مس، نیکل و جیوه باید از آب حذف شود که با نصب تله یونی[1] این کار انجام پذیر است.

منظور از تله یونی محفظه‌ای است که در آن از براده‌های همان آلومینیوم مورد استفاده در ساخت واحدها پر شده است. لذا عنصرهای پیشگفته با این براده‌های آلومینیوم قربانی واکنش داده و از آب حذف می‌شوند.

در دیاگرام‌های ۴-۴۶ و ۴-۴۷ دیاگرام تاسیسات پیش‌تصفیه برای آب‌های با دماهای مختلف نشان داده شده است. در دمای پایین پلی فسفات و در دمای بالا اسید افزوده می‌شود.

خورندگی در تاسیسات فرایندهای ممبرانی

برای بهره‌برداری مطلوب از تاسیسات اسمز معکوس و الکترودیالیز اعمال پیش‌تصفیه آب ضرورت دارد. در این بخش سه نوع گرفتگی ناشی از ترسیب و جرم گرفتگی مطرح می‌شود:

- **گرفتگی شیمیایی**: تولید رسوب ترکیباتی مانند سولفات کلسیم؛
- **گرفتگی رسوب اکسیدهای فلزی** مانند گوگرد اکسید شده و سولفید هیدروژن، آهن، منگنز؛
- **گرفتگی فیزیکی**: ترسیب ذرات معلق، کلوییدها و رشد بیولوژیکی.

جدول شماره ۴-۱۷ کیفیت آب خروجی از تاسیسات پیش تصفیه برای تاسیسات اسمز معکوس و الکترودیالیز را نشان می‌دهد و هدف از پیش تصفیه زدایش عوامل مزاحم زیر است:

- فعالیت‌های بیولوژیکی؛
- اکسیدهای فلزی؛
- ترسیب ترکیب‌های معدنی؛

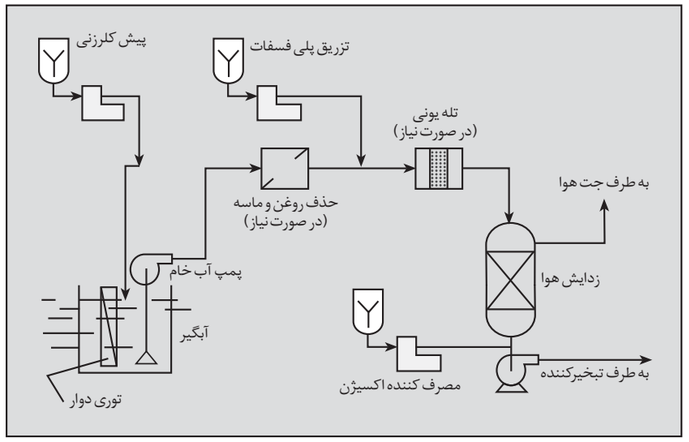
---

1. Ion- Trap

- ترسیب سیلیس؛
- جرم گرفتگی کلوییدی؛
- جرم گرفتگی ذرات معلق؛

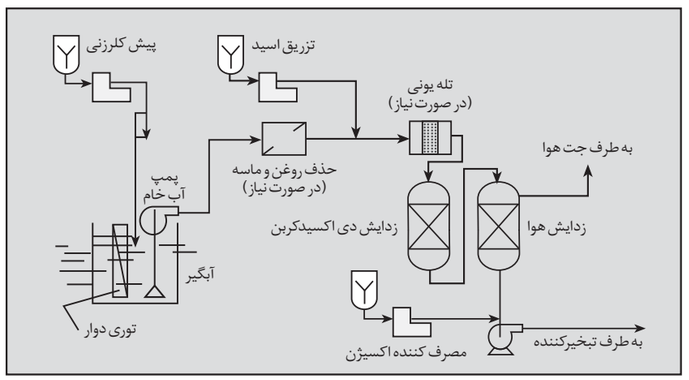
دیاگرام شماره ۴-۴۶

پیش تصفیه آب با دمای کمتر از ۹۰ درجه سانتیگراد



دیاگرام شماره ۴-۴۷

پیش تصفیه آب با دمای بیش از ۱۱۰ درجه سانتیگراد



جدول شماره ۴-۱۷: کیفیت لازم آب خروجی از واحدهای پیش‌تصفیه برای فرایندهای اسمز معکوس و الکترودیالیز

مشخصات	ممبران استات سلولز پیچیده	ممبران پلی آمید پیچیده	الکترودیالیز ریورسال
ذرات معلق			
• کدورت ان تی یو	کمتر از ۱/۰	کمتر از ۱/۰	کمتر از ۵
• اندکس سیلت اس دی ای	کمتر از ۴/۰	کمتر از ۴/۰	کمتر از ۱۵
محتویات یونی			
• آهن فرو- میلی گرم در لیتر	کمتر از ۲/۰	کمتر از ۲/۰	کمتر از ۰/۳
• منگنز- میلی گرم در لیتر	کمتر از ۰/۵	کمتر از ۰/۵	کمتر از ۰/۱
• استرانسیوم درصد اشباع	۲۰۰۰ درصد	۳۰۰۰ درصد	۴۰۰۰ درصد
• باریوم درصد اشباع	۵۰۰۰ درصد	۵۰۰۰ درصد	۷۰۰۰ درصد
• سیلیس- میلی گرم در لیتر با و یا بدون بازدارنده	کمتر از ۱۶۰	کمتر از ۱۶۰	کمتر از اشباع در آب خام
افزودنی‌های شیمیایی			
• کلر باقیمانده میلی گرم در لیتر	کمتر از ۱/۰	هیچ	هیچ
• بازدارنده ترسیب میلی گرم در لیتر	۱۸-۱۲	۱۸-۱۲	بنابر نیاز
• افزایش اسید- پی اچ	۶-۵/۵	۱۰-۴	بنابر نیاز
دما			
• حداکثر آب خام درجه سانتیگراد	۴۰	۴۵	۴۳
• حداکثر ال اس آی با بازدارنده رسوب	توجه به یادآوری	۲/۸-۲/۴	۲/۱
ضریب انحلال سولفات کلسیم با بازدارنده ترسیب. درصد اشباع	۱۵۰ درصد	۱۵۰ درصد	۶۵۰ درصد

یادآوری: ممبران استات سلولز در پی اچ حدود ۵/۵-۶ باید کار کند تا دچار هیدرولیز یا تجزیه نشود. بنابراین ال اس ای پساب آنقدر پایین است که نیازی به کاربرد بازدارنده ترسیب کربنات کلسیم نخواهد بود.

ترسیب در فرایندهای ممبرانی

در مباحث گذشته اهمیت کربنات کلسیم و ضریب لانگلیر بررسی شد و از تکرار آن خودداری می‌شود و یادآوری می‌گردد که ضریب لانگلیر باید در محاسبه‌ها تعیین شود. جدول شماره ۴-۳ برای تصمیمگیری ارائه شده است.

در تاسیسات نمک‌زدایی با روش اسمز معکوس با افزایش بازدارنده رسوب حتی اگر ضریب لانگلیر پساب، کمتر از ۲/۴+ باشد، شرایط تحت کنترل خواهد بود. بعضی از سازندگان

مدعی هستند که حتی در ضریب لانگلیر حدود ۳+ هم مشکلی از این جهت ایجاد نمی‌شود. رسوبات کربنات کلسیم را با کاربرد اسید کلریدریک می‌توان به حالت محلول در آورد و از سیستم خارج نمود و با کاهش پی‌اچ آب در هنگام بهره‌برداری مانع تشکیل آن شد. در دیاگرام شماره ۴-۸ اندکس اشباع لانگلیر آورده شده است. ترسیب کربنات کلسیم برای الکترودیالیز ریورسال به ندرت مشکل‌آفرین است، حال در صورت بروز با شستشوی دستگاه با اسید کلریدریک و یا افزایش میزان کمی بازدارنده ترسیب به آب در گردش مجدد، احتمال رسوب از بین رفته و یا کم اهمیت می‌شود.

رسوبات سولفات‌های کلسیم، باریوم و استرانسیوم در اسمز معکوس والکترودیالیز ریورسال می‌تواند مشکل‌آفرین گردد. قبل از معرفی بازدارنده‌های ترسیب به بازار این صنعت، چنین توصیه می‌شد که بهتر است درصد اشباع سولفات کلسیم زیر ۱۰۰ باشد. اما امروزه به کمک بازدارنده حتی تا ۲۰۰ درصد اشباع هم می‌توان بهره‌برداری نمود مشروط به اینکه ابزار دقیق کنترل میزان افزایش بازدارنده در طراحی‌ها در نظر گرفته شده باشد.

اما سولفات باریوم و استرانسیوم پس از تشکیل به سختی قابل حذف هستند در حالی که به آرامی تشکیل می‌شوند حتی در غلظت‌های بالای اشباع قابل مهار هستند چنانکه در مورد سولفات باریوم با آب خام دارای ۳۰ تا ۷۰ برابر غلظت اشباع می‌توان تولید آب نمود.

در مورد الکترودیالیز ریورسال این نگرانی به مراتب کمتر است. در انجام پیشبینی حدود حلالیت سولفات‌ها دو نکته باید مورد توجه باشد:

۱. ممبران‌های اسمز معکوس فعلی یون‌های دو ظرفیتی را به خوبی دفع[1] می‌کنند لذا در محاسبه‌های تعیین ضریب غلظت پساب، درصد عبور املاح را می‌توان صفر فرض نمود.

۲. چون ضریب انحلال برای هر ترکیب با افزایش غلظت کل املاح آب افزایش می‌یابد به همین جهت این ترکیبها در پساب بیشتر به حالت محلول هستند.

به عنوان یک قضاوت کلی برای تعیین مقدار لازم بازدارنده رسوب، میزان ۱۲-۱۸ میلی‌گرم در لیتر برای پساب مورد محاسبه قرار می‌گیرد حال این عدد بر مبنای مقدار آب خام و ضریب بازیافت اصلاح می‌گردد که با همان فرض درصد عبور املاح معادل صفر می باشد.

1. Reject

در تاسیسات الکترودیالیز و نوع ریورسال بازدارنده ترسیب به آب نمک گردش مجدد اضافه می‌شود که در همان حال معادل آن از طریق پساب از سیستم خارج می‌شود.

در جدول شماره ۴-۱۸ مشخصات گروهی از بازدارنده‌های ترسیب نشان داده شده است و توجه گردد که تزریق هر ترکیبی به آب باید دارای گواهی تائید مصرف از نظر استاندارد آب شرب باشد. گرچه دمای آب خام روی برنامه‌های کنترل ترسیب نقشی ندارد، لیکن باید به خاطر سپرد که در آب گرم‌تر از ۳۵ درجه سانتیگراد با افزایش دما حلالیت کربنات کلسیم کاهش می‌یابد. علاوه بر خطر ترسیب کربنات کلسیم و سولفات کلسیم، خطر ترسیب ترکیبهای دیگری مانند فلورید کلسیم و فسفات کلسیم وجود دارد که اصول کنترل آن‌ها مشابه کنترل کربنات کلسیم و غیره است.

- **جرم حاصل از اکسیدهای فلزی:** اکسید بسیاری از فلزات در حد زیادی محلول هستند، اما اکسید آهن سه ظرفیتی در تاسیسات اسمز معکوس مایه نگرانی است. ممبران‌های اسمز معکوس نسبت به آب‌های دارای آهن و منگنز بهتر از ممبران‌های الکترودیالیز معمولی مقاومت دارند زیرا در فرایند الکترودیالیز معمولی این اکسیدها آزاد می‌شوند اما در مدل الکترودیالیز ریورسال این مشکل بسیار کمتر دیده می‌شود.

در آب خام مورد استفاده در نمک‌زدایی با اسمز معکوس توصیه می شود که غلظت آهن و منگنز به ترتیب بیشتر از ۲ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر نشود. در غلظت‌های بیشتر ممکن است همراه با عنصرهای دیگر مانند سیلیس ترسیب شود. این دو عنصر خود از نظر استانداردهای آب شرب دارای محدودیت هستند. آب خام مورد استفاده الکترودیالیز نباید دارای آهن و منگنز به ترتیب بیش از ۰/۳ و ۰/۱ گرم در متر مکعب باشد اگر میزان آهن بالا باشد در کار بازدارنده ترسیب مداخله کرده و احتمالاً باعث ترسیب زودرس رسوب کننده ها می‌شود.

در این صورت ضرورت دارد که در طراحی تاسیسات اسمز معکوس، جریان آب در سیستم به صورت بی‌هوازی حفظ گردد تا آهن و منگنز به صورت دو ظرفیتی محلول در آب خام باقی بمانند. لازم به یادآوری است که در مورد غلظت حداکثر آهن و منگنز آب مورد استفاده در انواع نمک‌زداها بین مراجع مختلف همفکری دیده نمی‌شود، چنانکه ارقام نشان داده شده با ارقام جدول شماره ۴-۱۷ یکسانی نشان نمی‌دهد. لذا توصیه می‌شود اعداد جدول پیشگفته ملاک تصمیمگیری‌ها قرار گیرد.

جدول شماره ۴–۱۸: بازدارنده‌های تجاری ترسیب

نام تجاری	نام تخصصی	نوع	درصد وزنی	وزن مخصوص	pH	مشخصات ظاهری	کاربرد
PermaTreat *TM1*	Pc -۱۹۱ Pc -۴۹۱ Pc -۵۱۰	مخلوط مخلوط مخلوط	نامعلوم ناملوم ناملوم	۱/۲۶ ۱/۱۰ ۱/۲۲	۱۰/۵ ۱۱ ۹/۷	محلول زرد کمرنگ محلول شفاف بی‌رنگ محلول زرد کم‌رنگ	عمومی در سیستم‌های کوچک و سیستم‌های با گردش آب کنترل سیلیس
Flocon *TM*	Fc-۱۰۱ Fc-۶۰	مخلوط نامعلوم	ناملوم ۳۵	۱/۱۷ ۱/۱۶	۳/۵ ۲٫۶	محلول زرد کمرنگ کمی زرد کمرنگ	ترسیب مواد معدنی پخش و معلق کننده
AquaFeed *TM2* Antiscalent	۶۰۰ ۸۲۰ ۱۰۷۵ ۱۲۰۵	مخلوط مخلوط مخلوط مخلوط	۲۵ ۲۷ ۳۶/۵ ۲۹	۱/۲ ۱/۲ ۱/۱۵ ۱/۱	۴-۳ ۵/۳-۴/۳ ۵/۳-۴/۵ ۵/۱-۴/۱	سفید تا کهربایی سفید تا کهربایی سفید تا کهربایی محلول سفید تا کهربایی	کنترل ترسیب املاح معدنی پخش کننده و پایدار کننده یون‌های فلزی کنترل ترسیب املاح معدنی و پخش کننده کنترل سیلیس و سیلیکات
Hyperprese *TM3*	MDC ۱۲۰ MDC ۱۵۰ MS ۱۲۱۰	مخلوط پلی الکترولیت مخلوط پلی الکترولیت پلیمر مخلوط	ناملوم ناملوم ناملوم	۱/۱۵-۱/۰۵ ۱/۲-۱/۱ ۱/۱۵-۱/۰۵	۲/۵۶ ۲/۵۶ ۵/۵-۴/۸	محلول کهربایی محلول کهربایی تیره محلول کهربایی	عمومی کنترل ترسیب املاح معدنی سیلیس
Pretreat plus *TM4*	۱۰۱۰ ۱۱۰۰ SIIica ۲۰۰۰ ۲۳۰۰ ۴۰۰۰	مخلوط مخلوط مخلوط مخلوط مخلوط مخلوط	ناملوم ناملوم ناملوم ناملوم ناملوم ناملوم	۱/۰۹-۱/۰۲ ۱/۱۲-۱/۰۴ ۱/۵۵-۱/۲۵ ۱/۰۹-۱/۰۲ ۱/۱۴-۱/۰۲ ۱/۱۴-۱/۰۴	۲-۱ ۲/۶ ۵/۲ ۲-۱ ۱۰ ۲-۱	محلول بدون رنگ محلول بدون رنگ محلول قهوه‌ای روشن محلول بدون رنگ محلول قهوه‌ای روشن محلول بدون رنگ	کنترل ترسیب مواد معدنی و کنترل رسوبات ژل مانند کنترل ترسیب مواد معدنی سیلیس و اکسید فلز کنترل ترسیب مواد معدنی کنترل ترسیب املاح معدنی و کنترل رسوبات ژل مانند
ProTec RO *TM5*	ProTec RO-B ProTec RO-C ProTec RO-D	مخلوط مخلوط مخلوط	ناملوم ناملوم ناملوم	۱/۰۲ ۱/۰۴ ۱/۰۷	۵/۲ ۷/۵ ۸	محلول زرد کاهی محلول بدون رنگ محلول زرد	کنترل سیلیس و سیلیت کلوئیدی کنترل کلوئیدهای آلی و سولفور کنترل کلوئیدهای میکروبی مخلوط کلوئیدها

۱: املاحات بدست آمده از شرکت نالکو (Nalco) در سال ۲۰۰۲ ۳: املاحات بدست آمده از شرکت جی بتز (GE Betz) در سال ۲۰۰۲

۲: اطلاعات بدست آمده از شرکت کیتگلی (۲۰۰۲) ۴: ترکیبی ضدرسیب (شرکت کیتگلی ۲۰۰۲) ۵: ترکیب ضدگرفتگی (شرکت کیتگلی ۲۰۰۲)

۶: املاحات بدست آمده از شرکت نوورون (Novoon) در سال ۲۰۰۲

منبع: مرجع شماره ۲

---

1. Biofilm

2. Biofouling

جدول شماره ۴-۱۹: **رویدادهای بیوفیلم در فرایندهای ممبرانی**

رویداد	مدت عملکرد تا بروز رویداد	شرح
رشد کک مواد آلی اولیه	ثانیه‌ها تا دقیقه‌ها	جذب سریع مولکول‌های بزرگ آلی محلول و مواد معدنی در سطح ممبران
چسبیدن سلول‌های اولیه روی ممبران	ثانیه‌ها تا دقیقه‌ها	چسبیدن باکتری‌های پیش‌رسیده به ممبران که بستگی به نوع سلول، ممبران وکیفیت آب و هیدرودینامیک سیستم دارد
جدا شدن سلول از ممبران	ثانیه‌ها تا دقیقه‌ها	جدا شدن این سلول‌ها گاهی به خاطر کاربرد ترکیبهای گندزدا و پخش‌کننده‌ها است
رشد و تکثیر سلول‌ها	دقیقه‌ها و ساعت‌ها	به علت وجود مواد غذایی در آب خام با سرعت رشد می‌کنند مگر آنکه گندزدا حضور داشته باشد
تولید پلیمرهای[1] آلی	دقیقه‌ها و ساعت‌ها	شرایط مطلوب رشد بیوفیلم فراهم می‌شود اثر گندزدا را از بین می‌برد و باعث تجمع مواد غذایی و میکروب‌ها می‌شود
ذرات و کلوئیدهای تجمع یافته	ثانیه‌ها و دقیقه‌ها	این ذرات در داخل بیوفیلم می‌مانند
چسبیدن سلول‌های بعدی	روزها و هفته‌ها	پس از تشکیل بیوفیلم اولیه و ایجاد شرایط رشد میکروب‌های دیگر
کنده شدن بیوفیلم	روزها و هفته‌ها	جدا شدن سلول‌ها و بیوفیلم از ممبران که به علت شرایط هیدرودینامیک و نیروهای جریان آشفته و اثرهای گندزداها
پیرشدن بیوفیلم	هفته‌ها و ماه‌ها	منظور مرگ شتابدار سلول ها در بیوفیلم اولیه است. حال تولید سلول‌های جدید هم نرخ مرگ بقیه می‌شود و در نتیجه به طور مرتب مواد غذایی ثابتی از تجزیه میکروب‌ها تولید می شود.

- **جامدات معلق**: جامدات معلق مورد توجه در فرایند نمک‌زدایی ممبرانی عبارتند از جامدات معلق غیر آلی مانند سیلت، رس و اکسیدهای نامحلول فلزی مانند اکسیدهای سه ظرفیتی آهن و منگنز.
- **مواد آلی کلوئیدی**: در صورتی‌که منبع آب از لایه‌های زیرزمینی باشد نگرانی مربوط به جامدات معلق در حد آب‌های سطحی نیست. بهرحال باید توجه داشت که استفاده از فرایندهای متعارف تصفیه از قبیل زلال‌سازی، صاف‌سازی می‌تواند کدورت آب را به کمتر از

1. Biopolymer Syntheses

یک ان تی یو برساند. در مورد کدورت آب و شاخص سیلت آب ورودی به استوانه‌های فشار به طور مفصل قبلاً گفتگوشده است. برای مثال برای زدودن مواد آلی آب از پودر کربن فعال و یا فیلترهای دانه‌ای کربن فعال باید بهره گرفت.

استفاده از اولترافیلترها نیز کار زدایش جامدات معلق آب را به خوبی انجام می‌دهد. میکروفیلترها که دارای روزنه‌های ۰/۰۵ -۰/۵ میکرون هستند و از پلی‌پروپلین، پلی‌سولفون و پلی‌وینیل‌فلوراید[1] و حتی سرامیک ساخته می‌شوند و اولترافیلترها با اندازه روزنه‌های ۰/۰۰۱ - ۰/۱ میکرون که از پلی‌سولفون، پلی‌وینیل، استات سلولز و سرامیک ساخته می‌شوند برای حذف جامدات معلق از آب به عنوان پیش تصفیه نمک‌زدایی اسمز معکوس استفاده می‌شود.

جدول شماره ۴-۲۰: **روش‌های گندزدایی برای کنترل گرفتگی بیولوژیکی**

کلاس گندزدا	نمونه	حدود و غلظت	سازگاری ممبران	تفسیرها
اکسیدکننده‌ها	کلر	۱-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر	PS و CA	بیوسایدهای اکسید کننده برای اصلاح آب پیش تصفیه کاربرد دارند.
	منوکلرآمین	۵-۰/۵ میلی گرم در لیتر	همه	
	اسید پراستیک[2]	۱-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر	PS و CA	منوکلرو آمین با قدرت اکسیدکنندگی کمتر نسبت به کلر دارد و روی عملکرد PA اثر بدی ندارد و در مبارزه با بیوفیلم عملکرد مطلوبی دارد.
	هیدروژن پراکسید	۱-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر	همه	
غیر اکسیدکننده‌ها	فرم آلدئید	۵-۰/۵ درصد	همه	بی سولفیت سدیم تنها ترکیب احیا کننده است که به آب خام زده می شود و مانع رشد بیوفیلم می شود.
	گلوترال دهید[3]	۵-۰/۵ درصد	همه	
	بیوسولفیت	۱۰۰-۰/۱ میلی‌گرم در لیتر	هم	سایر گندزداها در اصل برای جلوگیری از تجزیه بیولوژیکی و نابودی بیولوژیکی در هنگام عدم تولید آب کاربرد دارند.
	2M4[4]	۱-۰/۰۱ درصد	همه	
	آمونیوم چهار ظرفیتی	۱-۰/۰۱ درصد	PS و CA	
	بنزوات	۱-۰/۰۱ درصد	همه	
	ای دی تی آ[5]	۱-۰/۰۱ درصد	همه	
پرتوافشانی	اشعه ماوراء بنفش	۱- ۲ مگا راد	همه	گندزدایی با اشعه بسیار موثر است ولی اثر ابقایی ندارد لذا میکروب‌های باقیمانده ممکن است روی ممبران رشد کنند.

1. Polyvinylidene Fluorid
2. Asid Peracetic
3. Glutaraldehyde
4. 2- Methyl-4-isothiazoline-3-one
5. EDTA

- **سیلیس:** سیلیس در بیشتر آب‌ها وجود دارد و ممبران‌های اسمز معکوس سیلیس را دفع می‌کنند. سیلیس از دستگاه الکترودیالیز بدون تغییر عبور می‌کند لذا برای این نوع نمک‌زدایی مشکلی پیش نمی‌آورد. اما سیلیس موجود در آب خام تاسیسات اسمز معکوس به سه صورت ممکن است حضور یابد.
  - منومرسیلیس و یا اسید سیلیسیک[1] که به نام سیلیس محلول شناخته می‌شود؛
  - اسید سیلیسیک پلیمریزه شده که سیلیس کلوییدی نامیده می‌شود؛
  - ذرات سیلیس؛
- **سولفید هیدروژن:** سولفید هیدروژن محصول جانبی فعالیت‌های باکتری‌های احیا کننده گوگرد هستند و معمولاً در آب زیرزمینی یافت می‌شوند. این گاز مانند تمام گازهای دیگر از ممبران اسمز معکوس عبور می‌کند و در آب تولیدی حضور دارد. حذف آن از آب تولیدی، هم آسانتر است و هم ارزانتر. بعلاوه اگر در مراحل پیش تصفیه حذف شود خطر گرفتگی ممبران بیشتر می‌شود زیرا در نتیجه اکسید شدن آن خطر تولید کلوییدِ گوگرد افزایش می‌یابد، بدین ترتیب که :

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow + 2S + 2H_2O$$

اما در مورد آب خام ورودی به دستگاه الکترودیالیز باید این گاز حذف شود در غیر این صورت گاز در دستگاه اکسید شده و گوگرد باعث گرفتگی ممبران می‌شود. زیرا در فرایند الکترودیالیز، هم اکسیژن و هم کلر تولید می‌گردد.

روش متداول حذف این گاز در پیش تصفیه الکترودیالیز، هواشویی[2] و پس از آن اکسیداسیون گاز باقیمانده و عبور از صافی‌های با بستر دانه‌ای است. این روش زدایش با موفقیت در یک تصفیه‌خانه الکترودیالیز با ظرفیت ۴۵،۰۰۰ متر مکعب در روز در فلوراید امریکا انجام می‌گیرد. برای هواشویی خوب پی اچ آب باید ۵/۵-۵/۸ باشد.

هوای مورد استفاده باید به کمک فیلتر و یا وسیله دیگرتمیز شود تا به آب طعم و بو اضافه نکند و برای این منظور شستشوی هوا با هیپوکلریت سدیم و یا سود سوز آور ضرورت پیدا می‌کند. این فرایند شستشوی هوا هنوز مراحل ابتدایی خود را می گذراند.

1. $Si(OH)_4$
2. Air Stripping

تصفیه نهایی در تاسیسات نمک‌زدایی

آب تولیدی از فرایندهای نمک‌زدایی نیاز به اصلاح بیشتر به نام تصفیه نهایی دارد تا مناسب مصرف شرب و بعضی صنایع گردد. تصفیه نهایی برای مصرفهای شرب با توجه به استاندارد ۱۰۵۳ یک الزام است و حداقل این تصفیه گندزدایی با کلر و حفظ یک حداقل کلر باقیمانده در آب شبکه توزیع شهری است . اما آب تولیدی باید از نظر ترکیبهای شیمیایی و آلی مطابق نیازهای استاندارد ۱۰۵۳ گردد. در این استاندارد نه فقط مجموع املاح محلول، بلکه کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پی اچ آب تعریف شده است.

اگر در آب املاح محلول کم باشد و آب از نظر قلیاییت و کلسیم پایدار نباشد، آب دارای خاصیت خورندگی است لذا باید از این جهت، آب به پایداری برسد. با افزایش بی‌کربنات کلسیم به آب و اصلاح پی اچ آن خاصیت خورندگی آب از بین می‌رود در غیر این صورت در لوله‌ها و مخازن بتنی و هر جا که با آب در تماس باشد احتمال خوردگی شیمیایی وجود دارد.

بعلاوه دمای بالا، کاهش سیلیس، غلظت بالای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن آزاد و بالاخره نبود تناسب قلیاییت به کلرورها و سولفات‌ها خاصیت خورندگی آب را افزایش می‌دهد. استفاده از شاخص لانگلیر در این مورد توصیه می‌شود.

پایدار کردن آب

آب پایدار آبی است که نه تولید رسوب کربنات کلسیم می‌کند و نه کلسیم محیط تماس را در خود حل می سازد. افزایش مقداری املاح کمک می‌کند که خاصیت خورندگی آب از بین برود. ترکیبهای زیر معمولا به آب اضافه می‌شود:

- سود سوز آور[1] برای افزایش پی اچ؛
- بی‌کربنات سدیم[2] برای افزایش قلیاییت آب؛
- کربنات دوسود[3] برای افزایش قلیاییت آب؛
- آهک[4] برای افرایش سختی آب؛
- آب آهک[5] برای سختی و قلیاییت آب و از بین بردن دی اکسید کربن در آب؛

1. NaOH
2. $NaHCO_3$
3. Na_2CO_3
4. CaO
5. $Ca(OH)_2$

جدول شماره ۴-۲۱: **اثر ترکیب‌های شیمیایی روی سختی و قلیائیت آب**

با افزایش یک میلی‌گرم در لیتر ترکیب شیمیایی	افزایش قلیائیت بر حسب کربنات کلسیم به میلی‌گرم در لیتر	افزایش سختی کل بر حسب کربنات کلسیم به میلی‌گرم در لیتر	کاهش دی اکسیدکربن به میلی‌گرم در لیتر
سود سوزآور ۹۸/۰۶ درصد	۱/۲۳	-	۱/۰۸
بی‌کربنات سدیم ۱۰۰ درصد	۰/۶	-	-
کربنات دوسود ۹۹/۱۶ درصد	۰/۹۴	-	۰/۴۱
اکسید کلسیم ۹۰ درصد	۱/۶۱	۱/۶۱	۰/۴۱
آب آهک ۹۳ درصد	۱/۲۶	۱/۲۶	۱/۱۱

این ترکیبها معمولا به صورت محلول در آمده و سپس به آب اضافه می‌شود. می‌توان خرده سنگ های مرمر و یا کربنات کلسیم را در تانک های شبیه فیلترهای تحت فشار قرار داد که آب تولیدی از آن گذر می‌کند و بخشی از کربنات کلسیم را در خود حل می‌نماید و لذا قلیاییت و سختی آب افزایش می‌یابد. برای اصلاح آب می‌توان از ترکیبهای مختلف طبق جدول شماره ۴-۲۱ بهره گرفت. همان‌طور که جدول شماره ۴-۲۱ نشان می‌دهد افزایش ترکیبهای مختلف بالا ، روی تغییر قلیائیت و سختی آب اثر یکسان ندارند و لذا باید بر اساس کیفیت آب مورد نیاز تصمیمگیری کرد. ۳ شاخص در این مورد می تواند مورد استفاده قرار گیرد که عبارتند از:

۱. اندکس لانگلیر که قبلا بررسی شده است.

۲. اندکس پایداری رایزنر $RSI=2pH_S-pH$ ، اگر اندکس رایزنر کمتر از ۶/۵ باشد نشاندهنده استعداد آب در تولید رسوب است و اگر بزرگتر از ۶/۵ باشد گویای خورندگی آب است.

۳. اندکس خورندگی $AI=pH+\log(A\times C_n)$ آب که در آن A عبارت است از قلیاییت متیل اورانژ بر حسب کربنات کلسیم و C_n عبارت است از سختی کلسیم بر حسب کربنات کلسیم. اگر AI بزرگتر از ۱۲ باشد آب تمایل به ایجاد رسوب دارد و اگر کمتر از ۱۰ باشد آب قدرت خورندگی دارد و بین ۱۲-۱۰ آب به نسبت خورنده است و چون تاسیسات باید مورد بهره‌برداری قرار گیرد تا با گذشت زمان وضعیت آب از این جهت معلوم شود می توان ترکیبهایی به آب افزود که یک لایه حفاظتی روی سطوح در تماس با آب را بپوشاند این ترکیبها که بازدارنده نامیده می‌شوند شدت خوردگی را کاهش می دهند اما کاملا متوقف نمی‌کنند. کاربرد سه نوع ترکیب

برای این منظور پیشنهاد شده است.

- ترکیبهایی که باعث تشکیل رسوب کربنات کلسیم می‌شود؛
- فسفات غیر آلی؛
- سیلیکات سدیم؛

که انتخاب آن ها بستگی به نتایج مطالعات پیلوت خاص هر پروژه دارد.

مشاهده شد که برای ایجاد شرایط پایدار آب باید کلسیم و بی‌کربنات آب افزایش یابد. اختلاط آب تولیدی یا آبی که دارای بی‌کربنات و کلسیم است یک راه پایدار کردن آب تولیدی است. تناسب اختلاط تابع محدودیت غلظت املاح مختلف است که در استاندارد ۱۰۵۳ آورده شده است. چنانکه اگر به دلایل محدودیت بعضی از ترکیبهای آب پیش تصفیه، اختلاط جواب ندهد و ضرورت پیدا کند که برای پایداری آب، ترکیبی به آن اضافه شود، محاسبه‌های موازنه جرمی برای انتخاب تناسب اختلاط لازم است و برای انجام این محاسبه‌ها نتایج کامل تجزیه آزمایشگاهی دو آب ضرورت دارد که در بخش‌های قبلی به تفصیل ارائه شده است.

تخلیه گازهای محلول آب

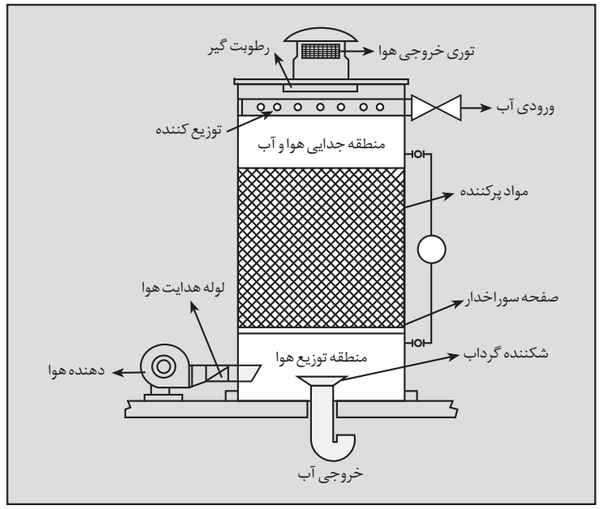
آب تولیدی از نمک‌زدایی به روش الکترودیالیز ریورسال ممکن است دارای دی‌اکسید کربن باشد و آب تولیدی از نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس هم ممکن است حاوی دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن باشد.

در فرایندهای پیش تصفیه در تاسیسات نمک‌زدایی به روش الکترودیالیز ریورسال باید سولفید هیدروژن حذف شود لذا در آب تولیدی این گاز وجود ندارد. توجه شود که چون اختلاط آب تولیدی برای افزایش املاح محلول قبل از تخلیه گاز انجام می‌گیرد، تاسیسات تخلیه باید برای آب مخلوط طراحی شود.

- **حذف دی‌اکسید کربن:** حذف دی‌اکسید کربن به طورکلی یک فرایند تصفیه نهایی است. بعضی از آب‌های زیرزمینی دارای دی‌اکسید کربن با غلظت زیاد هستند و در بعضی از تاسیسات نمک‌زدایی آن را به کمک اسید آزاد می‌کنند. دی‌اکسید کربن از ممبران اسمزمعکوس عبور می‌کند و در آب تولیدی حضور دارد. تکنیک متداول حذف گازهای محلول آب، استفاده از برج‌های هوادهی مطابق دیاگرام شماره ۴-۴۸ است.

دیاگرام شماره ۴-۴۸

مقطع برج آکنده هوادهی



هر دو گاز دی‌اکسید کربن و سولفید هیدورژن را می‌توان از طریق برج‌های هوادهی از آب حذف کرد. نوع هوادهی برای حذف دی‌اکسید کربن بستگی به حدود زدایش گاز از آب و یا غلظت مجاز باقیمانده در آب تولیدی دارد. اگر غلظت دی‌اکسید کربن در آب خیلی بالا باشد بهتر است از برج‌های هوادهی استفاده شود، در غیر این صورت باید از روشهای دیگر استفاده کرد.

حذف سولفید هیدروژن از آب با هوادهی امکان دارد، به‌ویژه اگر پی اچ آب مورد هوادهی بالا باشد. اگر هر دو گاز در آب وجود داشته باشند، سرعت تخلیه گاز دی‌اکسیدکربن بیشتر از سولفید هیدروژن است.

به طور کلی هوادهی با ۳ روش انجام می‌گیرد:

اول: آب خام در معرض تماس با هوا قرار می‌گیرد.

دوم: هوابه داخل حجم آب دمیده می‌شود.

سوم: هوا با فشار در داخل آب تحت فشار حل می‌شود.

هر کدام از سه روش برای شرایط خاصی بهترین نتیجه را می‌دهد. با توجه به اهمیت حفظ آب تولیدی از آلودگی، در اینجا فقط به هوادهی نوع دوم و استفاده از برج هوادهی[1] اشاره می‌شود. همان‌طور که در دیاگرام شماره ۴-۴۸ نشان داده شده است. در استوانه حاوی صفحه‌های دارای شکافها و یا روزنه‌ها و یا دربرگیرندهٔ مصالح پلاستیک شرایطی فراهم می‌شود که آب با نیروی ثقل از بالا وارد استوانه شده و به طرف پایین جریان می‌یابد و هوای تمیز از پایین به داخل استوانه دمیده می‌شود. آب در مسیر حرکت خود به پایین به قطرات تبدیل می‌شود و گازهای خود را به هوا تخلیه می‌کند. چون میزان هوا و آب ورودی به ستون کنترل‌پذیر است، بازده آن را می‌توان تنظیم کرد، و برای طراحی و تعیین ابعاد برج به مراجع دیگر مانند ای. نوردل[2] مراجعه شود ولی به اجمال باید گفت که در طراحی برج هوادهی لازم است معیارهای زیر برای محاسبه تدوین شود.

- غلظت دو گاز فوق در آب خام؛
- غلظت دو گاز فوق در آب خروجی از برج و یا میزان مجاز آن‌ها در آب تولیدی؛
- بار هیدرولیکی عبارت است از حدود یک متر مکعب در متر مربع در دقیقه؛
- میزان جریان هوای مورد استفاده ؛
- نوع مصالح پر کننده برج؛
- فضای کافی در بالای برج برای توزیع آب ورودی به آن.

۴ گندزدایی

آب تولیدی از فرایندهای نمک‌زدایی، به قاعده عاری از ویروس‌ها و عوامل بیماری‌زاست. اما پیشبینی تاسیسات گندزدایی آب ضرورت دارد. زیرا اولا در آب شبکه توزیع باید کلر باقیمانده وجود داشته باشد و ثانیاً اگر در المان‌های ممبران پارگی ایجاد شده و آب حاوی عوامل بیماریزا بدون تصفیه از آن عبور کرده باشد، این کلرزنی ضرورت پیدا می کند. بعلاوه حاصل اختلاط هم آبی است که گندزدایی لازم دارد. در ارزیابی و طراحی گندزدایی دو عامل غلظت گندزدا و زمان تماس مهم است که برای همه عوامل بیماری‌زا هم یکسان نیست. لذا باید به کمک آزمایشها،

---

1. Packed Tower
2. Eskel Nordell

کلر مورد نیاز و کلر باقیمانده لازم آب را پس از ۳۰ دقیقه تماس تعیین کرد. برای اطلاعات بیشتر توصیه می‌شود که به مراجع تصفیه متعارف آب[1] مراجعه شود. به هرحال برای گندزدایی آب روش های زیر وجود دارد:

- کاربرد کلر چه به صورت گاز کلر و چه به صورت محلول هیپوکلریت کلسیم و یا سدیم؛
- دی‌اکسیدکلر؛
- اشعه ماورای بنفش؛
- منوکلرو آمین؛
- ازن؛

طبق استانداردهای ملی کشور، آب شبکه توزیع در تمام نقاط شبکه باید دارای کلر باقیمانده باشد. اما یکی از مشکلات کاربرد کلر احتمال تولید محصولات جانبی گندزدایی است. بدین‌ترتیب که کلر با مواد آلی طبیعی[2] موجود در آب واکنش می‌دهند. این واکنش دو گروه محصول تولید می‌کند که عبارت از تری‌هالومتان‌ها[3] و هالواستیک[4] اسیدهاست. هر دو دسته از ترکیبهای بالا طبق استانداردهای ملی برای سلامت مصرف کننده آب مضر است و باید غلظت آن‌ها در آب کنترل شود.

بر اساس مدارک موجود در آب تولیدی به کمک روش‌های نمک‌زدایی مواد آلی طبیعی نباید در حد خطرناک وجود داشته باشد اما به دلیل اختلاط دو آب و برای اصلاح نهایی آن در صورت وجود مواد آلی طبیعی در آب شور، گندزدایی به کمک کلرو آمین منطقیتر است.

گرچه تولید تری‌هالومتان‌ها در آب تولیدی نمک‌زداها بجز الکترودیالیز ریورسال کم است و مواد آلی کربن‌دار طبیعی هم به وسیلهٔ ممبران‌های اسمز معکوس و نانوفیلتر تقریبا دفع می‌شوند لذا نگرانی‌ها در این مورد زیاد نیست. اما در مورد نمک‌زدایی به روش الکترودیالیز ریورسال ممکن است بخشی از مواد آلی در جریان یونیزه شدن آب حذف شود ولی بخشی از آن که حدود ۵۰ درصد است در آب تولیدی باقی می‌ماند.

گندزدایی به کمک ازن که در اروپا رایج بود امروزه در امریکا هم رایج شده است

۱. کتاب "کاربرد فرایندهای تصفیه متعارف آب" ناصر رازقی، رویا منصوری، شرکت تحقیقات و بهبود بهره وری صنعت آب و فاضلاب - ۱۳۸۲

2. Natural Organic Carbones 3. Trihalomethanes 4. Haloacetec Acides

زیرا افزایش آن برای گندزدایی، تری‌هالومتان‌ها و هالواستیک اسیدها را تولید نمی‌کند. اما گروهی از ترکیبهای جانبی[1] دیگر را تولید می‌کند که باید به وسیلهٔ فیلتر دانه ای کربن فعال از آب زدایش شوند و سپس آب گندزدا شده به تاسیسات توزیع فرستاده شود.

چون استفاده از اشعه ماوراءبنفش ، اثر باقیمانده ندارد، لذا در هر حال باید به آب، کلر اضافه شود تا در شبکه، گندزدا وجود داشته باشد، به این جهت در تاسیسات عمومی آب شرب، کاربرد اشعه ماورای بنفش خیلی جدی گرفته نمی‌شود. همین مسئله در مورد ازن هم صادق است. با توجه به اینکه تولید تری‌هالومتان‌ها برای آب تولیدی نمک‌زداها، بجز الکترودیالیز ریورسال، مطرح نیست کلرزنی هنوز انتخاب معقول شمرده می‌شود و در شرایطی که اختلاط دو آب مطرح می‌شود کاربرد دی‌اکسیدکلر توصیه می گردد، زیرا تری هالومتان‌ها و هالواستیک اسیدها را تولید نمی‌کند.

در شرایطی که نگرانی تشکیل ترکیبهای بالا مطرح است، استفاده از تاسیسات افزایش کلرو آمین توصیه می‌شود. کلرو آمین هم یک گندزدا است لیکن برای تاثیر روی ویروس‌ها زمان تماس بیشتر لازم دارد. لذا به طور خلاصه در گندزدایی آب تولیدی در مرحله تصفیه نهایی استفاده از گاز کلر، هیپوکلریت سدیم و کلرو آمین توصیه می‌شود. برای طراحی تاسیسات کلرزنی به مراجع تصفیه متعارف آب مراجعه شود. در فصل ششم نگاهی دیگر به صنعت نمک‌زدایی خواهیم داشت.

1. Disinfectant By-Products (DBPs)

فصل پنجم اثرهای محیط‌زیستی تاسیسات نمک‌زدایی

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- توجهات آبگیری از دریا
- توجهات در آبگیری از منابع زیرزمینی
- تجدیدشوندگی یا توسعه پایدار
- نشست زمین
- مدیریت پساب
- مدیریت تخلیه و دفع پساب
- مطالعات صحرایی
- تخلیه به منابع آب متعارف
- ملاحظات در مورد کیفیت آب تولیدی
- گازهای گلخانه ای
- توجهات حقوقی
- چالش‌های کلی
- اثرهای محیط زیستی نمک زدایی گرمایی و اسمز معکوس آب دریا
- پایش و بازرسی های بهداشتی در مراحل مختلف نمک‌زدایی
- پایش در مرحله بهره‌برداری از تاسیسات نمک‌زدایی
- مقررات
- نتیجه گیری

مقدمه

گرچه صنعت نمک زدایی تاریخی پنجاه ساله در دنیا دارد و کشور ما با این صنعت ناآشنا نیست لیکن مسائل محیط زیستی آن نیاز به توجه دوباره دارد. این ملاحظات در ۴ گروه تقسیمبندی می شوند:

۱. اثرهای محیط زیستی روی منابع آب مورد استفاده؛

۲. اثرهای محیط زیستی ناشی از دفع پساب و فضولات جامد تاسیسات؛

۳. توجهات در استفاده از آب تولیدی؛

۴. اثرهای گازهای گلخانه ای ناشی از مصرف انرژی در این تاسیسات؛

اولین گروه موثر در اثرهای محیط زیستی بخش آبگیر است. انتخاب سیستم آبگیری به منبع آب خام، موقعیت مکانی و ظرفیت تاسیسات بستگی دارد. بهترین کیفیت آب دریا می تواند از طریق چاههای ساحلی[1] به دست آید. اما میزان آب به دست آمده از هر چاه ساحلی بسته به وضعیت زمین، معمولا محدود بوده و در نتیجه مقدار آب دردسترس از هر چاه بسیار کمتر از میزان مورد نیاز تاسیسات بزرگ نمک‌زدایی است. برای تاسیسات اسمز معکوس با اندازه کوچک و متوسط، معمولا چاه ساحلی به کار برده می‌شود. در آب های نزدیک به ساحل و با عمق کمتر از ۳ متر، برای تاسیسات با ظرفیت بزرگ لوله‌های کوتاه انتقال آب دریا[2] با آبگیر مستقیم[3] و برای عمق های بیش از ۳۰ متر لوله های طویل در آب دریا[4] به کار برده می‌شود.

آبگیر ممکن است باعث تلف شدن موجودات آبزی دریا شود. لوله گذاری آبگیر باعث اختلال در بستر کف دریا می‌شود که موجب شناوری مواد ته نشین شده، مواد مغذی یا آلودگیهای موجود در آب می گردد. اما میزان صدمات در طی دوره بهره‌برداری به موقعیت لوله گذاری آبگیر، میزان آبگیری و حجم کلی آبگیری بستگی دارد.

دومین گروه موثر در اثرهای محیط زیستی شامل اثرهای ناشی از تخلیه پساب تاسیسات به منابع آبی است. از یک طرف رهاسازی پساب به دلیل افزایش میزان شوری و دما روی محیط زیست آب تنش ایجاد کرده و از طرف دیگر این پساب، حاوی مازاد مواد شیمیایی

1. Beach Wells
2. Short Seawater Pipes
3. Open Intake
4. Long Seawater Pipes

تزریق شده در طی مراحل پیش تصفیه آب دریا و نیز محصولات جانبی تشکیل شده در طی مراحل تصفیه است. این مواد افزودنی و محصولات جانبی ممکن است برای موجودات دریایی سمی بوده، ماندگار شود و یا در گل ولای ته نشین و در موجودات زنده انباشته گردد. به غیر از خواص فیزیکی و شیمیایی، تاثیر پساب به موقعیت هیدرودینامیکی محیط نیز بستگی دارد که شامل تاثیر رقیق سازی پساب و ساختارهای بیولوژیکی منطقه[1] تخلیه است. به عنوان مثال مناطق با آب های عمیق برای رقیق سازی مناسبتر از مناطق کم عمق هستند و مناطق با فعالیت‌های حیاتی فراوان دریایی بسیار حساستر از مناطق با جمعیت کمتر هستند. در واقع رقیق سازی می تواند تنها یک راه حل موقت باشد.

سومین و چهارمین گروه موثر در اثرهای محیط زیستی به میزان مورد نیاز انرژی و مواد مورد نیاز تولید آب مربوط است که موجب آلودگی هوا و افزایش تغییرات آب وهوا می شود. اثرهای این گروه‌ها ممکن است به طور موثر از طریق جایگزینی انرژی های تجدیدپذیر به جای انرژی های فسیلی و کاربرد انرژی حرارتی مورد تخلیه نیروگاه برای تولید آب و برق کاهش یابد.

توجهات آبگیری از دریا

به کمک صنایع نمک زدایی می توان از منابع آبهای به ظاهر بدون استفاده، آبی با کیفیت دلخواه طرح تولید کرد و توجهات لازم هر یک از منابع آب، ویژه منبع مربوط است. چنانکه در مورد آبگیری از دریا مسائل برخورد[2] و ورود[3] موجودات آبزی مطرح است و در مورد منبع آب درون سرزمین، تجدیدشوندگی آن و نشست زمین در درازمدت باید مورد توجه قرار گیرد.

در جریان پمپاژ حجم زیادی از آب دریا باید مسئله برخورد و به تله افتادن موجودات آبزی مورد مطالعه قرار گیرد. منظور از کلمه برخورد عبارت است از گیرکردن و گرفتار شدن انواع ماهی ها و سایر آبزیان مشابه به تاسیسات توری آبگیر و اما منظور از به تله افتادن این است که همراه با آب موجودات ریز آبزی مانند تخم ماهی ها، انواع لاروها و جلبک ها و باکتریها به داخل تاسیسات آورده می شوند. این موجودات در حرارت نمک زدایی حرارتی و یا در فشار هیدرولیکی نمک زدایی ممبرانی می میرند و لذا لازم است برای طراحی تاسیسات فوق توجهات

1. Site
2. Impingement
3. Entrainment

و مقرراتی وضع شود چنانکه در مورد آبگیر نیروگاه ها این مقررات تدوین شده است. و در مورد نابودی انواع ماهیها و جانداران دیگر از این طریق برآوردهایی نیز صورت گرفته است. این مرگ‌ومیرهای موجودات زنده آبزی باعث کاهش اکسیژن منبع آب می‌شود که خود فشار مضاعفی به محیط آبی تحمیل می کند. اثرهای نامطلوب فوق بستگی به شرایط ویژه هر طرح دارد. برای کاهش اثرهای نامطلوب فوق هم از تمهیدات مهندسی باید استفاده کرد و هم با توجه به بیولوژی آب محل، برنامه آبگیری را تنظیم نمود. چنانکه می توان در ایام حداکثر فعالیت حیاتی آبزیان میزان آبگیری را کاهش داد.

حال اگر دریچه‌های آبگیری کمی عمیقتر از معمول قرار گیرد طبیعی است که موجودات زنده کمتر به داخل تاسیسات حمل می‌شوند. با کوچکتر کردن روزنه‌های توری می‌توان میزان انتقال موجودات را به داخل تاسیسات کاهش داد اما میزان برخورد افزایش می‌یابد. در صورت استفاده از چاههای ساحلی و نقبهای نشتی این دو فرایند در حد زیادی کاهش می‌یابند. بحث مربوط به آبگیرها در فصل ششم ارائه شده است.

به هر حال اگر تاسیسات نمک زدایی در کنار نیروگاه ساحلی قرار گیرد و آبگیری مورد نیاز از آب تخلیه خنک کننده های نیروگاه انجام گیرد، اثرهای محیط زیستی برخورد و ورود وجود نخواهد داشت ولی توجه شود که هر نوع تغییر در برنامه نیروگاه روی برنامه آبگیری نمک‌زدایی موثر است. در شرایط فعلی که نیروگاه‌ها نصب شده‌اند و مورد بهره برداری قرار دارند و صنعت نمک زدایی کم کم وارد بازار تولید آب می شود برای مطابقت دادن آنها نیاز به توجهات زیاد و مقررات جدیدی است.

توجهات در آبگیری از منابع زیرزمینی

در بعضی از کشورها منبع آب نمک زدایی، آب لب شور سواحل و یا منابع آب لب شور زیرزمینی دیگر است. در اینجا مسئله تجدیدشوندگی منبع آب و نشست بالقوه زمین باید مورد توجه قرار گیرد. در مناطق زیادی از کشور ما هم منابع آب زیرزمینی لب شور برای تولید آب متعارف وجود دارد. منابع آب لب شور مناطق ساحلی نیز باید مورد توجه و در گزینه های انتخاب منبع آب برای نمک‌زدایی درنظر گرفته شود. این منابع معمولا از اختلاط آب متعارف زیرزمینی که به طرف رقوم پایینتر یعنی دریا و دریاچه در جریان است با آب شور دریا تشکیل می گردد. در

شرایط متعارف بخش اعظم آب کم نمک زیرزمینی به طور مستقیم به دریا و دریاچه ها تخلیه می‌شود. فرایند انتشار ملکولی و اختلاط هیدرودینامیکی باعث تولید آب لب شور این مناطق می‌شود. لازم به یادآوری است که آبگیری از این منابع باعث نفوذ بیشتر آب دریا به این منبع گردیده و در نتیجه باعث افزایش ضخامت و حجم آب شور این منبع می گردد.

پساب های کشاورزی که دارای املاح بیشتر هستند و یا زهابهای زمینهای کشاورزی منبع آب غیرمتعارف برای نمک زدایی و تولید آب هستند. البته باید توجه داشت که کیفیت و کمیت این منبع آب خام تابع عوامل ویژه محل هستند. لذا مطالعه آنها برای انتخاب منبع آب خام ضرورت دارد و دو مشخصه مهم یعنی میزان تجدیدشوندگی و نشست زمین باید مورد مطالعه قرار گیرد.

تجدیدشوندگی یا توسعه پایدار

در انتخاب منبع آب لب شور برای سرمایه گذاری تاسیسات نمک زدایی لازم است تجدیدشوندگی منبع آب از نظر کمی و کیفی بررسی شود. بدین معنی که منبع آب خام نه فقط باید جوابگوی نیاز طرح در طول عمر مفید پروژه باشد، بلکه باید بتواند در صورت ادامه آبگیری و استمرار تولید یعنی بازسازی و دوباره سازی تاسیسات نمک زدایی نیاز نسل بعدی جامعه را نیز جوابگو باشد.

لذا باید میزان برداشت آب لب شور از منبع، معادل و یا کمتر از میزان تغذیه آن منبع باشد حال اگر میزان برداشت بیشتر از میزان تغذیه یا تجدیدشوندگی شود در این صورت با کاهش تدریجی مقدار آب منبع و پایین رفتن سفره آب، هم احتمال تغییر کیفیت آب خام ممکن است رخ دهد و هم احتمال نشست زمین که در زیر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

پایداری کیفیت آب منبع نیز باید مورد توجه و مطالعه قرار گیرد زیرا در صورت تغییر کیفیت آب خام یعنی افزایش مجموع املاح محلول در طی عمر مفید تاسیسات و بازسازی آن در سال های آینده در مقایسه با کیفیت آب در ابتدای بهره برداری طرح را نمی توان پایدار نامید. این تغییرات کمی و کیفی منبع آب لب شور باید به کمک هیدروژئولوژی و هیدرولوژی و ابزارهای دیگر صحرایی و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گیرد تا نسبت به نتایج سرمایه گذاری اطمینان حاصل شود.

چالش پیش روی متخصصان هیدروژئولوژی این است که باید محدوده تاثیرگذاری

روی کمیت و کیفیت منبع را تعیین نموده و اثرهای نسبی آنها را ارزیابی کنند و برای میزان‌های مختلف آبگیری از منبع تغییرات کمی و کیفی آب را پیشبینی کنند. لذا شرایط خاص هر پروژه، مطالعات خاص خود را می‌طلبد.

نشست زمین

هرگاه مقدار آبگیری از لایه های زیرزمین غیر فشرده، بیشتر از میزان جایگزینی شود به مرور سطح سفره آب پایین رفته و شرایطی ایجاد می‌شود که دانه‌های خاک جابه‌جا شده و فضای خالی شده از آب را اشغال کرده و لذا نشست زمین رخ می دهد این فرایند از دیدگاه زمین شناسی و ژئوتکنیک مفصلتر و پیچیده‌تر است که باید به وسیلهٔ متخصص مورد مطالعه قرار گیرد.

چنین حوادث ناشی از برداشت آب بیشتر از میزان تغذیه در نقاط مختلفی از جهان رخ داده است که طبق یک ارزیابی انجام گرفته در بیشتر از ۸۰ درصد موارد نشست زمین مورد مطالعه ناشی از همین فرایند آبگیری بیشتر از تغذیه طبیعی بوده است.

مدیریت پساب

در فرایندهای نمک زدایی پساب های مختلفی تولید می شود که عبارتند از:

۱. آب نمک بسیار غلیظتر از آب خام که بستگی به درصد بازیافت دارد که به نام پساب معرفی شده است؛

۲. فاضلاب حاصل از شستشوی تاسیسات نمک زدایی حاوی ترکیبهای شیمیایی مختلف؛

۳. فاضلاب های تاسیسات پیش تصفیه.

- **آب نمک غلیظ:** حجم پساب تاسیسات نمک زدایی چه از نظر میزان جریان و چه از نظر غلظت املاح آن بستگی به وضعیت آب خام، درصد بازیافت و فرایندهای مورد استفاده دارد. به عنوان مثال درصد بازیافت تاسیسات نمک زدایی آبهای لب شور حدود ۵۰-۹۰ درصد است و لذا ۵۰-۱۰ درصد آب خام تبدیل به پساب می شود که در آن میزان املاح ۲ تا ۱۰ برابر آب خام خواهد شد. جدول شماره ۵-۱ کیفیت پساب انواع فرایندها را نشان می‌دهد.

درصد بازیافت آب دریا حدود ۳۰-۶۰ است لذا ۷۰ تا ۴۰ درصد آب خام تبدیل به پساب می شود و غلظت املاح آن ۱/۵ تا ۲/۵ برابر آب خام خواهد شد. علاوه بر املاح، عناصر

جدول شماره ۵-۱: **ویژگیهای پساب تاسیسات نمک زدایی**

فرایند	کیفیت آب خام	درصد بازیافت	دمای پساب برحسب درجه سانتیگراد	اختلاط پساب	غلظت نهایی نسبت به آب خام
آب لب شور - اسمز معکوس	لب شور	۸۵-۶۰	حدود محیط	ممکن است اما معمول نیست	۶/۷-۲/۵
آب دریا - اسمز معکوس	شور	۶۰-۳۰	حدود محیط	متعارف نیست	۲/۵-۱/۴
تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	شور	۳۰	۱۵/۵-۵/۵ بیش از محیط	تخلیه با آب خنک کننده	کمتر از ۱/۴
تقطیر چند مرحله‌ای	شور	۲۰	۱۵/۵-۵/۵ بیش از محیط	تخلیه با آب خنک کننده	کمتر از ۱/۴

و ترکیبهای دیگری که در آب خام وجود دارد به همان نسبت در پساب تغلیظ می‌شود. حال اگر تاسیسات نمک زدایی با نیروگاه در یک محل متمرکز شوند، پساب غلیظ از نظر دما هم باعث نگرانی در مورد تخلیه آن به محیط زیست می شود.

در پساب تاسیسات نمک‌زدایی ترکیبهای دیگری مانند کلر، سدیم بی سولفیت[1]، بازدارنده ترسیب[2]، منعقدکننده های[3] مورد استفاده در زلال‌سازی پیش تصفیه آب، پلی الکترولیت[4] و غیره که در فرایند نمک‌زدایی مصرف می شوند وجود خواهد داشت.

میزان و غلظت ترکیبهای فوق در پساب بستگی به پروژه خاص دارد. لذا اثرهای محیط‌زیستی ناشی از تخلیه آنها به محیط باید مطالعه شود.

میکروب‌کش‌ها مانند هیپوکلریت سدیم[5] که برای مبارزه با گرفتگی سطوح و در استفاده از آبهای سطحی به کار می رود اگر در پساب باقی بماند روی حیات دریا اثرهای تخریبی دارند و لذا باید قبل از تخلیه خنثی شوند.

طبق معیارهای سازمان حفاظت محیط زیست امریکا وجود کلر در پساب نگرانی‌هایی

1. Sodium Bisulfate
2. Antiscale
3. Coagulants
4. Polyelectrolyte
5. Sodium Hypochlorite

پدید می آورد، زیرا به دلیل افزایش تجمعی ترکیبهای کلردار ناشی از حضور آن در پساب معیار غلظت مجاز آن در پساب برای کوتاه‌مدت و درازمدت به ترتیب ۱۳ و ۷/۵ میکروگرم در لیتر توصیه شده است. در یک تحقیق صحرایی انجام شده، در فاصله یک کیلومتری پایین دست محل تخلیه پساب تاسیسات دو منظوره نیروگاه و نمک‌زدایی حرارتی کویت، مقدار کلر باقیمانده در آب حدود ۱۰۰ میکروگرم در لیتر تشخیص داده شده است و به نظر می رسد که به سبب مبارزه با فعالیت های بیولوژیکی نیروگاه است، لذا حتی اگر تاسیسات نمک‌زدایی از سیستم حذف شود این روند افزایش کلر در آب خلیج فارس ادامه خواهد یافت.

مسئله کلر در تاسیسات نمک زدایی ممبرانی جای نگرانی ندارد زیرا اولا افزایش کلر به آب در مراحل پیش تصفیه معمولا به طور مستمر انجام نمی گیرد و ثانیا باید قبل از ورود آب خام به استوانه های حاوی المانها خنثی شود. کاربرد منعقدکننده‌های کلرور آلومینیوم و کلروفریک که در غلظتهای کمتر از ۳۰ گرم در مترمکعب آب خام برای زلال‌سازی به کار می‌روند و در پساب تاسیسات وجود دارند مسمومیت‌های بزرگی در محیط ایجاد نمی کنند اما می توانند باعث افزایش کدورت پساب گردند. آب حاصل از شستشوی فیلترهای پیش تصفیه را حتی نمی‌توان بدون ملاحظات به محیط آبی دریا تخلیه کرد.

ترکیبهای شیمیایی بازدارنده ترسیب، بازدارنده تولید کف، مصرف کننده اکسیژن و بازدارنده خوردگی ممکن است در پساب تاسیسات حضور داشته باشد.

ترکیبهای بازدارنده ترسیب معمولا پلی فسفات ها، فسفاتها یا پلیمرهای کربوکسیلیک مانند اسید پلی اکریلیک و یا اسید پلی مالیک هستند.

متاسفانه پلیمرهایی که نسبت به دمای بهره برداری و عوامل بیولوژیکی و شیمیایی مقاومترند و تجزیه نمی‌شوند جایگزین پلی فسفاتها می‌شوند که در پساب وجود خواهند داشت. این ترکیبهای بازدارنده ترسیب در غلظت‌های مورد استفاده در نمک‌زدایی در حدی که در پساب غلظت آنها ۱-۲ گرم در متر مکعب بماند خطری در بر ندارد. اما در مورد کاربرد پلی فسفاتها و حضور آنها در پساب به عنوان یکی از مواد غذایی رشد خطرناک جلبک ها جای نگرانی دارد. هنوز آثار محیط‌زیستی مربوط به کاربرد بازدارنده ترسیب مانند هگزا متا فسفات سدیم در ابهام قرار دارد. و در مورد کاربرد بازدارنده پلیمری مانند پلی اکریلیک آمید به دلایلی نگرانی کمتری وجود دارد. چنانکه با ترکیب با مس قدرت سمیت آن کاهش می‌یابد.

افزودنیهای بازدارنده کف مانند اسیلیتد پلی گلیکول[1]، اسیدهای چرب و استرها اسیدهایی که به کار می روند جزو شوینده ها هستند. بعضی از این افزودنیها در غلظت‌های کم مسموم‌کننده نیستند. به اجمال لازم است اثرهای درازمدت و کوتاه‌مدت کاربرد ترکیبهای شیمیایی مورد مطالعه قرار گیرد و از سازنده و یا فروشنده گزارش و گواهی مصرف مجاز آن را قبل از خرید به دست آورد.

در پساب تاسیسات نمک زدایی ممکن است فلزات ناشی از خوردگی وجود داشته باشد که در صورت تخلیه به دریا برای میکروبها و موجودات مشابه مسموم کننده باشد، غلظت این فلزات در پساب بستگی به نوع حفاظت به کار رفته دارد. این مسئله در مورد تاسیسات نمک‌زدایی ممبرانی اهمیت زیادی ندارد گرچه در پساب این نوع تاسیسات هم ممکن است آهن، کرم، نیکل و مولیبدیوم در غلظتهای کم، به علت خوردگی فولاد ضدزنگ مشاهده شود.

ترکیبهای ناشی از خوردگی تاسیسات نمک‌زدایی تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای نیاز به توجه دارد زیرا فرایند این روش نمک‌زدایی در حرارتهای بالاست که خوردگی را تسهیل می کند. چنانکه در پساب تاسیسات دو منظوره مس ممکن است خطرآفرین شود.

مس در شکل محلول که تشکیل کمپلکس را می دهد خطر آفرین نیست اما در رسوبات ممکن است مسئله ساز شود. لیکن برای جلبک ها و نرم تنان در غلظت های بالا کشنده است. خطرناکترین شکل مس یون آزاد دو ظرفیتی آن است که معمولا فراوان نیست زیرا به جامدات معلق چسبیده و رسوب می کند ولی ممکن است به دلایل مختلف دوباره شناور شده و برای موجودات خطرناک گردد. غلظت مس در پساب نباید از حدود ۳-۵ میکروگرم در لیتر بیشتر شود. مسمومیت نیکل کمتر از مس است و برای آن غلظت حدود ۸/۲ میکروگرم در لیتر بیان شده است. ترکیبهایی مانند شوینده ها نیز گهگاه برای تمیز کردن ممبرانها به کار می رود تا عملکرد آن را با کاهش گرفتگی بهبود بخشد و بدین ترتیب عمر مفید آن را افزایش دهد، در جدول شماره ۵-۲ ترکیبهای مورد مصرف برای شستشوی ممبرانهای اسمز معکوس و نانو ارائه شده است.

برای حذف گرفتگی ناشی از عنصرهای فلزی از اسید استفاده می شود. از محلول قلیا

1. Acylated Poly Glycols

جدول شماره ۵-۲ : **ترکیب شیمیایی مورد استفاده در شستشوی نانوفیلترها و ممبرانهای اسمز معکوس**

نوع گرفتگی	محلول‌های شیمیایی تمیز کننده
املاح معدنی	۰/۲ درصد اسید کلریدریک ۰/۵ درصد اسید سولفوریک ۲ درصد اسید سیتریک
اکسیدهای فلزی	۲ درصد اسید سیتریک ۱ درصد بی سولفیت سدیم
کلوئیدهای غیر آلی	۰/۱ درصدهیدروکسید سدیم و ۰/۰۵ درصدان دی بی اس[1]
سیلیس و سیلیکات فلزی	آمونیم بی فلورید ۰/۱ درصد هیدروکسید سدیم و ۰/۵ درصد ان دی بی اس
بیوفیلم و مواد آلی	هیپوکلریت - پروکسید هیدروژن - ۰/۰۱ هیدروکسید سدیم، ۰/۰۵ان دی بی اس ۱ درصد سدیم تری فسفات، ۱درصد تری سدیم فسفات و ۱ درصد ای دی تی آ[2]

و ترکیبهای پخش کننده[3] برای حذف گرفتگی بیولوژیکی، رسوب سیلت و گرفتگی ناشی از مواد آلی استفاده می شود. بنابراین می‌توان ممبرانها را در پی اچ بالا یا در پی اچ پایین به کمک اکسیدکننده و بالاخره با ترکیبهای ضد میکروب مانند فرم آلدئید و محلول های شوینده تمیز کرد. لذا اگر از شوینده های اسیدی استفاده شود و دفع آنها به طور جداگانه انجام بگیرد و با پساب تخلیه نشود ممکن است پی اچ آب پذیرنده را تغییر دهد لیکن آب دریا به سادگی دچار تغییر قابل توجه پی اچ نمی‌شود. البته این ترکیبها ممکن است برای میکروب های آبهای شور و آبهای متعارف مضر باشد. لذا کیفیت و کمیت محلول های تمیز کننده و پساب بستگی به خصوصیات طرح، ابعاد و اندازه تاسیسات و دفعات استفاده از این ترکیبها دارد.

اگر عملیات شستشوی تاسیسات تقریبا ۳ ماه یک‌بار و کمتر انجام گیرد، معمولا حجم این ترکیبها حدود ۱/۲ لیتر برای هر متر مربع سطح ممبرانها است.

در تخلیه هر نوع ترکیب شیمیایی مورد مصرف لازم است اثرهای درازمدت تخلیه در محیط آب دریا مورد مطالعه و مراقبت قرار گیرد. باید توجه کرد که می‌توان بخش زیادی از

1. Nadodecyl Benzene Sulfonaute pH 12
2. EDTA
3. Dispersants

ترکیبهای شیمیایی مورد مصرف و مواد معلق موجود در پساب را قبل از تخلیه به دریا از آن زدود و یا خنثی کرد. البته این بخش از فاضلاب تاسیسات نمک زدایی را می توان به شبکه جمع آوری فاضلاب تخلیه کرد. به هر حال از مهمترین آلاینده های موجود در پساب تاسیسات نمک‌زدایی، کلر و مس است که نیاز به توجهات بیشتری دارد.

باید توجه داشت که نمی‌توان اثرهای محیط زیستی تاسیسات نمک‌زدایی را به صورت عام مطرح کرد زیرا هر پروژه‌ای بنا بر شرایط بهره‌برداری و محیط فیزیکی استقرار دارای اثرهای محیط زیستی ویژه‌ای است اما به طور کلی اثرهای محیط زیستی پساب تاسیسات ممبرانی خیلی کمتر از تاسیسات حرارتی است زیرا در تاسیسات حرارتی وجود غلظت به نسبت زیاد عناصر فلزی ناشی از خوردگی و همچنین کلر درخور ملاحظه است. البته تخلیه فاضلاب ناشی از شستشوی ممبرانها هم توجه خاص می‌طلبد.

مدیریت تخلیه و دفع پساب

در فصل چهارم گزینه های تخلیه پساب تاسیسات نمک زدایی بررسی شد و گفته شد که تخلیه به منابع آبهای سطحی ، تغذیه به منابع آب زیرزمینی و یا تزریق به زمین، استفاده از برکه های تبخیر، تخلیه به شبکه جمع آوری فاضلاب شهر و بالاخره تخلیه بر روی اراضی از گزینه‌ها هستند که شرایط خاص هر طرحی گزینه مطلوب را معلوم می سازد. چنانکه شرایط آب و هوایی، قیمت زمین، مقررات شبکه جمع آوری فاضلاب و غیره با توجه به هزینه‌های مربوط راهکار مناسب را تعریف می کند که در ادامه مطرح خواهد شد.

- **تخلیه به دریا:** چون غلظت املاح در پساب تاسیسات نمک‌زدایی از آب دریا ممکن است تا ۲/۵ برابر آب خام گردد اثرهای محیط زیستی این تخلیه باید مورد توجه قرارگیرد و این اثرها بستگی به عواملی مانند روش تخلیه، غلظت املاح آب خام یا شرایط اکوسیستم دارد. اگر هنگام تخلیه اختلاط به خوبی انجام نگیرد جریان غلیظ پساب به صورت دالانی طولانی در محیط دریا ادامه می یابد و ممکن است به اکوسیستم دریا آسیب بزند. حال اگر بتوان این پساب را با پساب نیروگاه کناری، در صورت وجود، و یا با اختلاط با پساب تصفیه خانه فاضلاب همراه و به دریا تخلیه کرد، اثرهای محیط زیستی آن کمتر خواهد بود. اگر این تخلیه به کمک تاسیساتی انجام گیرد که کار اختلاط را خوب انجام دهد اثرهای نامطلوب محیط‌زیستی

آن کمتر خواهد بود. به علاوه در انتخاب محل استقرار پایانه های تخلیه نیز باید با توجه به جریانهای آب دریا تصمیمگیری کرد که کمک به اختلاط کند. لذا آگاهی به جریانهای سطحی و زیر سطحی، وضعیت امواج و وضعیت آب در عمقهای مختلف لازم است.

پساب تاسیسات نمک زدایی از آبهای لب شور معمولا دارای غلظت املاح کمتر از آب دریا است اما ممکن است در آن عناصر کمیاب مانند آرسنیک و سلنیوم در غلظت بیشتر از آب دریا وجود داشته باشد. در تخلیه پساب این گروه تاسیسات نمک زدایی باید توجه داشت که حتی ممکن است کمبود و یا غلظت پایین بعضی از یون‌ها روی تعادل شیمیایی آب دریا اثرهای منفی بگذارد که نوعی مسمومیت نامیده می‌شود.

افزایش غلظت املاح ناشی از تخلیه پساب نمک زداها برای بعضی از میکروبها خطرناک است. بدین ترتیب تعادل فشار اسمزی درون سلولی با آب دریای محیط را به هم می‌زند و رشد و فعالیت میکروب را دچار اختلال می‌کند. طبیعی است که تحمل همه موجودات آبزی نسبت به این فرایند یکسان نیست. در اینجا اهمیت و ضرورت مطالعات پیلوتی اثرهای این پساب‌ها روی فعالیت‌های حیاتی موجودات آبزی منطقه تحت نام آزمایشهای سنجش زیستی تاکید می‌شود و از بحث‌های تخصصی آن خودداری می‌شود.

مطالعات صحرایی

توجه شود که پساب حتی پس از اختلاط هنوز دارای املاح یا غلظت بیشتری نسبت به آب دریاست و تمایل به پایینتر رفتن داشته و در لایه‌های نزدیک به کف دریا متوقف می‌شود و لذا روی موجودات کف زی دریا تاثیرگذار است. لذا مطالعات مربوط به اکوسیستم کف دریا، با توجه به جهت حرکت این پساب ضرورت دارد. زیرا ممکن است روی تنوع زیستی[1] این محیط اثرهای منفی باقی بگذارد.

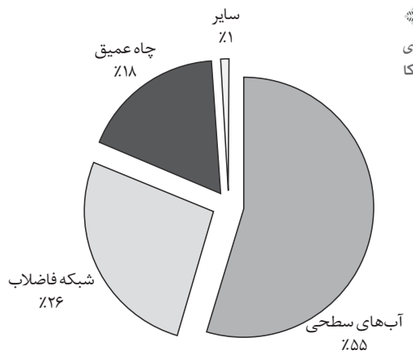
امروزه از مدلهای کامپیوتری شبیه سازی[2] برای پیشبینی تغییرات محیط زیستی ناشی از تخلیه این پساب ها استفاده می شود که از مقبولیت زیادی برخوردار است و نرم افزارهای مختلفی وجود دارد که برای شرایط مختلف کاربرد دارد و از اولین مطالعات لازم برای تصویب

1. Biodiversity
2. Simulation

اجرای تاسیسات نمک‌زدایی و تخلیه پساب آنهاست. به هر حال در تخلیه پساب مورد بحث باید اثرهای درازمدت مورد توجه باشد تا بتوان طرح را پایدار نامید و استفاده از طرح های پیلوت و مراقبت از محیط در مرحله بهره‌برداری ضرورت دارد که در این مورد دستورالعمل‌های تخصصی لازم وجود دارد. در مورد تخلیه پساب تاسیسات نمک زدایی از آبهای لب شور که فاصله زیادی نسبت به منابع آب دریا دارند توجهات دیگری لازم است. اولا چون درصد بازیافت این نوع تاسیسات نسبت به بازیافت آب دریا خیلی بیشتر و حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد است، لذا حجم پساب آنها خیلی کمتر است همچنین به دلیل اینکه مجموع املاح آبهای لب شور کمتر از آب دریاست، غلظت املاح پساب ها هم خیلی کمتر از پساب نمک زداهای آب دریاست. حتی با توجه به امتیاز بالا، دفع پساب این تاسیسات با معیارهای اقتصادی و محیط زیستی چالش برانگیز است چنانچه همیشه گزینه فراوری آن و بازیافت ترکیبهای آن مطرح است. اما مشکلات و توجهات تخلیه این پساب‌ها به شرح زیر بررسی می‌شود.

تخلیه به منابع آب متعارف

در صورتی که مقررات حفاظت از محیط زیست و مدیریت جامع آب اجازه دهند می توان این پساب را به منابع آبهای سطحی تخلیه کرد. چنانکه در بعضی از کشورها مانند ایالات متحد امریکا در موارد زیادی تخلیه این پساب ها به شبکه جمع آوری فاضلاب انجام می گیرد که پس از عبور از تاسیسات تصفیه در نهایت به منابع آب تخلیه می شود و باید توجه داشت که در تاسیسات تصفیه خانه فاضلاب املاح آب زدایش نمی شود اما به علت اختلاط این پساب با فاضلاب جاری در شبکه و در تصفیه خانه غلظت املاح محلول موجود در پساب تصفیه خانه خیلی کمتر از پساب تاسیسات نمک‌زدایی خواهد بود. اما به هرحال کیفیت آب رودخانه دریافت‌کننده این پساب تغییر می‌کند. مهمتر اینکه اگر در آب لب شور خام عنصرهای نامطلوب وجود داشته باشد در پساب هم وجود خواهد داشت لذا مراقبت از تغییرات آب پذیرنده باید مدنظر باشد. اثرهای تخلیه پساب تاسیسات نمک زدایی از آب لب شور به منابع آبهای سطحی خیلی بیشتر از تخلیه این پساب به آب دریاست. لذا اگر املاح آب دریافت کننده خیلی تغییر کند در این صورت رشد موجودات مقاوم به املاح محلول آب باعث تغییر اکولوژی محیط آب می‌شود. این فرایند در کف و لایه‌های پایینی محیط آبی برجسته‌تر است. به طور کلی افزایش املاح آب روی حیات



دیاگرام شماره ۵-۱۰
درصد مقایسه روش‌های تخلیه پساب برای تاسیسات نمک‌زدایی آب‌های لب شور در آمریکا

محیط رودخانه و دریاچه دارای آب متعارف تاثیرگذار است لذا برای اجرای این تخلیه مطالعات مفصل لازم است به هرحال در دیاگرام شماره ۵-۱ درصد روش‌های دفع نهایی پساب تاسیسات نمک زدایی آب های لب شور برای خواننده ارائه شده است. استفاده از برکه تبخیر و تخلیه در روی سطح زمین در فصل چهارم بررسی شده است.

ملاحظات در مورد کیفیت آب تولیدی

معمولا انتظار عموم این است که آب تولیدی از فرایندهای نمک‌زدایی عاری از آلاینده ها باشد، در حقیقت چنین نیست؛ گرچه بخش زیادی از آلاینده‌ها از آب حذف می‌شود اما گروهی از این آلاینده‌ها در حدود کمتری حذف می‌شوند. برای مثال در فرایند نمک‌زدایی اسمز معکوس مقدار کمی از یون‌ها، بویژه یون های یک ظرفیتی مانند سدیم و کلرورها و ملکول‌های آلی محلول مانند حشره کش ها و گندزداها از ممبران ها عبور می کنند. لذا کیفیت آب تولیدی فرایندهای نمک زدایی بستگی به کیفیت آب خام و فرایند مورد استفاده دارد چنانکه آب تولیدی نمک‌زدایی اسمز معکوس و الکترودیالیز و روش های تبخیری با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند برای مثال بر[1] و برم[2] دو آلاینده غیر آلی هستند که در رابطه با نمک‌زدایی اسمزمعکوس نیاز به توجه دارند.

---

۱. بر با علامت اختصاری B با شماره اتمی ۵ و وزن اتمی ۱۰/۸۲ و ظرفیت ۳

۲. برم با علامت اختصاری Br با شماره اتمی ۳۵ و وزن اتمی ۷۹/۹۲ و ظرفیت ۵،۳،۱ و ۷

بر، که در غلظت حدود ۴/۵ میلی گرم در لیتر در آب اقیانوس ها وجود دارد و در روش‌های تبخیری نمک‌زدایی در آب تولیدی مشاهده نمی‌شود، در فرایندهای ممبرانی با وضعیت پی اچ آب خام رفتارهای مختلف دارد. با افزایش پی اچ آب فرایند دفع آن توسط ممبران افزایش می‌یابد اما در فرایند اسمزمعکوس که برای جلوگیری از ترسیب، اسید افزوده می‌شود بخش اعظم بر در آب تولیدی باقی خواهد ماند.

غلظت کم آن در آب دریا برای گروهی از موجودات زنده مفید است و در غلظت های بالا اثرهای نامطلوب روی حیات آنها دارد. در مورد اثرهای آن روی انسان اطلاعاتی در دست نیست. براساس مطالعات انجام شده روی حیوانات آزمایشگاهی میزان دریافت درازمدت آن ۰/۲ میلی گرم در کیلوگرم وزن موجود زنده در روز تعریف شده است که حداکثر غلظت مجاز آن در آب شرب ۰/۵ میلی گرم در لیتر اعلام شده است که بستگی زیادی دارد که مصرف کنندگان این آب چه میزان بر از طریق نوشیدنی و خوردنی های دیگر دریافت می کنند. سازمان بهداشت جهانی این رقم را ۰/۵۱ میلی گرم در لیتر اعلام کرده است که در تجدیدنظر احتمالا به ۱ میلی گرم در لیتر تغییر خواهد کرد.

برم هم در کار تولید آب از طریق اسمز معکوس نیاز به توجه دارد زیرا به عنوان یک ماده اکسیدکننده در فرایندهای پیش تصفیه به کار می رود. برم به صورت هیپوبرمیت[1] از ممبران اسمزمعکوس عبور می‌نماید و در آب تولیدی وجود دارد و با کلرزنی تولید دی کلروبرمومتان و برموفرم[2] می کند که به عنوان محصولات جانبی کلرزنی شناخته می‌شود که برای مصرف کننده آب زیان آور است.

برای کاهش تولید محصولات جانبی کلرزنی، معمولا کلر به صورت غیرمستمر به آب مراحل پیش تصفیه تزریق می‌شود البته در صورتی که مواد آلی آب بالا نباشد، در غیر این صورت دی اکسیدکلر باید به کار برد. کاربرد آن در پیش تصفیه همراه است با تولید منوکلرآمین‌ها که خود یک گندزدا است و مانع تشکیل ترکیبهای جانبی کلرزنی می‌شود. به طور خلاصه بر، برم و ترکیبهای جانبی کلرزنی می‌تواند کیفیت آب تولیدی نمک‌زدایی را دستخوش تغییر نامطلوب کند که کنترل آنها از نظر فنی عملی است لیکن هزینه بیشتری را به طرح تحمیل می کند.

1. Hypobromite
2. Bromophorm

گازهای گلخانه‌ای

تمام عملیات مدیریت منابع آب تا تحویل به مصرف کننده نیاز به انرژی دارد. در براورد انجام شده در ایالت کالیفرنیا میزان مصرف انرژی برای این منظور حدود ۵ درصد انرژی مصرفی ایالت است البته توپوگرافی منطقه و فاصله بین محل آب خام و محل مصرف و کیفیت آب خام همه روی مصرف انرژی لازم تاثیرگذار است.

در شهرهایی مثل تهران بخش های زیادی از شهر در ارتفاعاتی است که باید آب مورد نیاز مصرف کنندگان به کمک پمپ به آنجا منتقل شود. در پروژه هایی برای انتقال آب از محل تولید تا محل مصرف نیاز به خطوط طولانی انتقال و نصب چند ایستگاه مرحله افزایش فشار دارد که همه مستلزم مصرف نیروی الکتریسیته است.

تاسیسات نمک زدایی نیاز به انرژی زیادی دارند و در جدول شماره ۵-۳ ارقامی نسبی در این مورد نشان داده شده است. توجه شود که تاسیسات نمک زدایی تقریبا ۱۰ برابر تاسیسات تصفیه متعارف آب نیازمند انرژی است. لذا مسئله مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه ای و گرم شدن زمین در رابطه با تاسیسات نمک‌زدایی توجه متخصصان گرم شدن کره زمین را جلب کرده و گرچه درصد نسبی این مصرف بالا نیست، اما به هر حال اثر نسبی آن باید مورد مطالعه قرار گیرد و با گزینه های دیگر که انرژی کمتری مصرف می کنند مقایسه شود. به همین جهت استفاده از انرژی هایی که با گرم شدن کره زمین از طریق تولید گازهای گلخانه ای ارتباطی ندارند باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد. این انرژی‌ها عبارتند از: انرژی اتمی (با توجه به مسائل و مشکلات آن)، انرژی آبی، انرژی باد، حرارت آب زیرزمینی و انرژی خورشیدی که بویژه انرژی

جدول شماره ۵-۳: مقایسه مصرف انرژی در تاسیسات منابع مختلف آب در کالیفرنیا

منبع آب	انرژی مصرف شده بر حسب کیلو وات ساعت درمترمکعب
پمپاژ آب از چاه با عمق ۴۰ متر	۰/۱۴
پمپاژ آب از چاه با عمق ۶۰ متر	۰/۲۴
تصفیه آب های سطحی	۰/۳۶
نمک زدایی از آب لب شور	۱/۴-۰/۳
نمک زدایی از آب دریا	۴/۵-۳/۴

خورشیدی پتانسیل بزرگی برای کشور ما شمرده می‌شود. در فصل چهارم در مورد نمک‌زدایی با فرایند تبخیر - تقطیر و استفاده از انرژی ارزان مانند حرارت نیروگاه‌ها و انرژی تصفیه‌خانه فاضلاب گفتگو شد گرچه به طور کلی گزینه های انتخاب منبع انرژی برای تاسیسات نمک‌زدایی بسیار محدود است اما نیاز به توجه دارد. ولی آنچه مسلم است این که سیاست‌های جهانی در مورد گرم شدن کره زمین با سرعتی بیشتر پیگری خواهد شد و طبیعی است که روی تاسیسات نمک‌زدایی بی‌تاثیر نخواهد بود. چنانکه بالا آمدن سطح آب دریاها در چند دهه اخیر با میزان ۲ میلیمتر در سال باعث نفوذ آب دریا به منابع آب متعارف سواحل شده است و افزایش دمای آب خام دریاها نیز ما را ناگزیر به بازنگری فرایندهای این صنعت می‌سازد.

توجهات حقوقی

در انجام مطالعات مرحله اول و تدوین گزینه‌های ممکن برای انتخاب فرایند صنعت نمک‌زدایی، لازم است مطالعات ارزیابی محیط زیستی گزینه پیشنهادی انجام گیرد و اگر در این گزارش ارزیابی‌های محیط‌زیستی[1] قابل توجه ناشی از اجرای پروژه تصور شد لازم است مطالعه مرحله دوم تحت نام اثرهای محیط‌زیستی[2] مفصل انجام گیرد و گزارش آن برای تصویب و تصمیمگیری به دستگاه مسئول حفاظت محیط زیست تسلیم شود. معیارهای انجام مطالعات مرحله دوم در زیر آورده شده است. در گزارش اول اگر نشان داده شود که خطرهای محیط زیستی ناشی از اجرا و بهره‌برداری طرح در مقام مقایسه با منافع آن زیاد نیست و گزینه‌ای بهتر برای کاهش این خطرات وجود ندارد. انجام مطالعات مرحله دوم ضرورت ندارد. برای تهیه دو گزارش باید سازمان حفاظت محیط زیست شرح خدمات آنها را تهیه کند و در اختیار مسئولان پروژه قرار دهد. در گزارش اول توجهات اساسی زیر باید در گزارش نشان داده شود:

۱. هدف و ضرورت ایجاد تاسیسات؛

۲. شرح گزینه های ممکن؛

۳. اثرهای محیط زیستی؛

۴. پیامدهای محیط زیستی.

1. Environmental Assessment

2. Environmental Impact Statement

در بحث ردیف های ۳ و ۴ مسائل آلودگی آب، خاک، هوا و صدا مطرح است، دیگر مسئله کاربری اراضی در توسعه منطقه و طرح جامع تصفیه فاضلاب‌ها و مدیریت پسماندهای جامد و غیره از مهمترین نکته‌هاست.

بنابراین اگر گزارش نشان دهد که اثرهای تخریبی مهم محیط زیستی پیشبینی نمی‌شود لذا طرح مورد نظر، از نگاه محیط‌زیستی بی‌خطر شناخته می‌شود. لیکن در صورتی که در گزارش اول خطرهای بالقوه مشاهده شد، مطالعات مرحله دوم باید انجام گیرد. گزارش مرحله اول به حدود ۶ ماه زمان و گزارش مرحله دوم به حدود ۱۲ماه وقت نیاز دارد. با توجه به روند رو به افزایش نصب تاسیسات نمک‌زدایی در اطراف سواحل خلیج فارس و دریای عمان و خطر بالقوه پساب این تاسیسات که در بالا مطرح شد لازم است همه استفاده‌کنندگان از این منابع آب و با نظارت سازمان ملل، آیین‌نامه‌ای برای تمام عملیاتی که روی کیفیت آب دریا تاثیرگذار است تدوین کنند و سازمانی متشکل از نمایندگان همین کشورها بر روند انجام آن نظارت نمایند چه در غیر این صورت در آینده این منبع بزرگ آبی که منبع مواد غذایی دریایی همگان هم است از بین می رود. متاسفانه دریای مازندران و خلیج فارس را نمی توان از نظر حجم آب و مسائل اقیانوس شناسی در گروه اقیانوسها و دریاهای آزاد قرار داد ولذا آثار تخلیه پساب‌های نمک‌زدایی می تواند با سرعت بیشتری اکوسیستم آنها را به هم بزند. حتی در تخلیه پساب‌های تاسیسات نمک‌زدایی دور از سواحل دریا، هر نوع تخلیه چه در منابع آبهای سطحی و چه تخلیه به لایه های زیرزمینی باید از نظر سازمان حفاظت محیط زیست بی خطر و یا کم خطر، براساس معیارهای توسعه پایدار تشخیص داده شود ولذا لازم است گزارشهای مرحله اول و دوم، طبق شرح خدماتی که سازمان پیشگفته تهیه می کند ارائه شود.

توجه شود که تاسیسات نمک‌زدایی مواد زائد جامد مانند ممبرانهای تعویض شده، کارتریجهای از کار افتاده، فاضلاب و لجن آب واحدهای پیش تصفیه را نیز به همراه دارند. لذا تصفیه و دفع آنها باید طبق قوانین و مقررات روشنی انجام گیرد. معیارهای انجام مطالعات مرحله دوم یعنی ارزیابی اثرهای محیط زیستی طرح به شرح زیر است:

۱. اثرهایی که به آلودگی محیط انسانی و یا ایجاد مزاحمت برای رفاه و آسایش مردم می‌انجامد و یا کیفیت زندگی مردم را به مخاطره می‌اندازد؛

۲. باعث تغییر و یا تخریب عنصرهای مهم منابع انسانی، طبیعی و میراث فرهنگی جامعه شود؛

۳. باعث تغییر درخور ملاحظه طرح های موجود در اراضی منطقه شود؛

۴. باعث تغییر درخور ملاحظه توزیع و تراکم جمعیت منطقه شود؛

۵. اثر درخور ملاحظه تخریبی روی حفظ و افزایش تولید منابع طبیعی منطقه بگذارد؛

۶. باعث به هم خوردن پایداری اکولوژیکی عنصرهای مهم محیط شود؛

۷. باعث افزایش بیش از حد مصرف انرژی گردد.

به اجمال در تهیه یک طرح نمک‌زدایی از نظر محیط‌زیستی گامهای اساسی زیر باید برداشته شود:

۱. در همان مرحله اولیه برنامه ریزی که هدفهای طرح تقریبا معلوم است باید سازگاری آن با منابع مختلف منطقه معلوم شود.

۲. حال اگر مفهوم و کلیات طرح در سطح برنامه ریزی امکانپذیر شناخته شد باید ارزیابی محیط زیستی مرحله اول انجام گیرد. در این ارزیابی عوامل زیر باید مدنظر باشد:

- خصوصیات محل استقرار تاسیسات؛
- نوع فرایند و اندازه آن؛
- تعریف فاضلاب های فرایندها؛
- تخمین میزان فاضلاب تولیدی؛
- گزینه های کنترل کار؛
- اثرهای محیط زیستی.

۳. حال گزینه‌های مربوط به فرایندها، محل های استقرار و اثرهای محیط زیستی باید در چارچوب هدفهای طرح مورد مطالعه و مقایسه قرار گیرد.

۴. گزینه‌های طرح که اهداف طرح و نیازهای محیط‌زیستی را رعایت می کند لازم است در گزارشی که گزارش شناخت نام دارد تهیه شود.

۵. بر مبنای دیاگرام فرایندهای طرح، برنامه اتمام مطالعات باید تهیه شود.

۶. بر مبنای دیاگرام فرایندها میزان فاضلابها، روشهای کنترل آنها و اثرهای محیط زیستی باید تنظیم و تدوین شود.

۷. در صورت لزوم گزارش مرحله دوم ارزیابی محیط‌زیستی باید تهیه شود.

چالش‌های کلی

با توجه به ضرورت توسعه دانش و صنعت نمک‌زدایی از آبهای لب‌شور و شور برای تامین آب مورد نیاز مردم کشور در سالهای آینده لازم است اثرهای محیط‌زیستی آن مورد توجه کافی قرار گیرد. لذا نه فقط در مقایسه اقتصادی گزینه‌ها هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره‌برداری باید مورد توجه قرار گیرند، بلکه هزینه‌های محیط زیستی نیز باید مورد مطالعه قرار گیرد. در آبگیری از دریا مسائل محیط‌زیست آن مورد بحث قرار گرفت که تخلیه پساب تاسیسات نمک‌زدایی می‌تواند اکوسیستم دریا را دستخوش تغییر نماید و خسارتهای جبران ناپذیر به ساکنان اطراف دریا تحمیل کند. در تاسیسات نمک‌زدایی آبهای لب شور در مناطق دور از دریا خطر ناممکن بودن تجدید شوندگی آب برداشتی و پس از آن نشست اراضی منطقه که خود پیامدهای دیگری به همراه دارد باید مورد توجه قرار گیرد. در امر دفع پساب این تاسیسات نیز مشکلات تخریب محیط‌زیست ناشی از آلودگی از پساب‌ها باید با دقت مطالعه و مراقبت شود.

در پروژه‌هایی که پساب تاسیسات به دریا تخلیه می‌شود، نه تنها لازم است مقررات موجود مراعات شود، بلکه می‌باید مراقبتی مستمر روی رفتار تمام موجودات زنده پایین دست محل تخلیه پساب انجام گیرد و تنها به تجربه‌های مناطق دیگر اکتفا نشود زیرا درجه حساسیت و آسیب پذیری اکوسیستم‌ها نمی‌توانند با یکدیگر یکسان باشند.

در حال حاضر تکنولوژی‌های تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تقطیر چند مرحله‌ای و اسمزمعکوس فراگیرترین تاسیسات نمک‌زدایی هستند، لذا بیشترین اثرهای نامطلوب محیط‌زیستی ناشی از این تاسیسات است. در ادامه اثرهای محیط‌زیستی این تکنولوژی‌ها به اجمال بیان شده است.

اثرهای محیط زیستی نمک زدایی گرمایی و اسمز معکوس آب دریا

آبگیر تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای

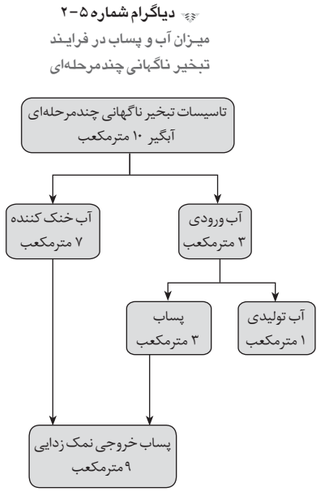
به دلیل این که در تاسیسات تولید آب به روش فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله ای بخش بزرگتر آب برای خنک کردن تاسیسات به کار برده می‌شود و میزان بازیافت آب تولیدی هم حدود ۱۰-۲۰ درصد است، بنابراین حجم آب خام ورودی در مقایسه با حجم آب تولیدی زیاد است. در موردی که میزان بازیافت ۱۰ درصد باشد، میزان ۱۰ مترمکعب آب دریا برای تولید ۱ مترمکعب آب

مورد نیاز خواهد بود که در دیاگرام شماره ۵-۲ نشان داده شده است. در نتیجه در تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله ای مشکلات محیط زیستی در محل آبگیر بیشتر خواهد بود و لذا در طراحی آبگیر آن توجه بیشتری باید به کار رود.

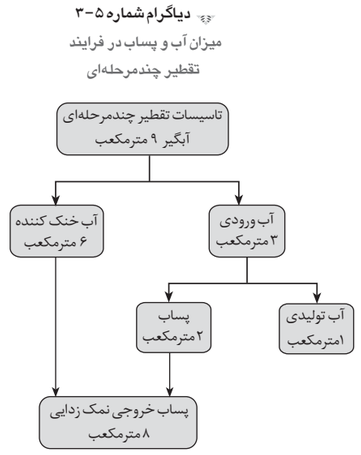
آبگیر تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای

میزان جریان آب خنک کننده که در خروجی کندانسور نهایی این فرایند تخلیه می‌شود بستگی به طراحی تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای و شرایط بهره‌برداری آن دارد. در میزان بازیافت ۱۱ درصد (وابسته به جریان آبگیر) ۹ مترمکعب آب دریا برای تولید ۱ مترمکعب آب مورد نیاز است(دیاگرام ۵-۳). بدین دلیل در اندازه‌های کوچکتر واحد تقطیر چند مرحله‌ای نسبت به تبخیر ناگهانی، آب خام کمتری مورد نیاز است. اما در بیشتر موارد برای تولید آب مورد نیاز توسط تاسیسات گرمایی از طریق نصب چندین واحد آن به صورت موازی تامین می‌شود. لذا ظرفیت آبگیر برای تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای مانند تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای است و لذا پتانسیل اثرهای مخرب آن در آبگیر باید در نظر گرفته شود.

دیاگرام شماره ۵-۲
میزان آب و پساب در فرایند تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای



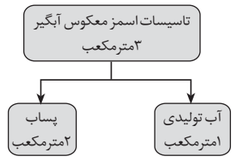
دیاگرام شماره ۵-۳
میزان آب و پساب در فرایند تقطیر چندمرحله‌ای



آبگیری از دریا برای تاسیسات اسمز معکوس

میزان بازیافت فرایند اسمزمعکوس در محدوده ۲۰-۵۰ درصد قرار دارد. لذا برای بازیافت ۳۳ درصد حجم آبگیر حداقل ۳ متر مکعب آب دریا برای ۱ مترمکعب آب تولیدی لازم است. بنابراین در مقایسه با فرایندهای گرمایی فرایند اسمز معکوس مقدار بسیار کمتری آب خام برای همان میزان تولید آب نیاز دارد. در نتیجه تلفات ارگانیسم ها ناشی از نتایج برخورد و ورود کمتر خواهد بود. در دیاگرام شماره ۵-۴ جریانها براساس میزان تبدیل ۳۳ درصد نشان داده شده است.

دیاگرام شماره ۵-۴
میزان آب و پساب در فرایند اسمز معکوس



تخلیه پساب حاوی مواد افزودنی[1]

تخلیه پساب های این صنعت که حاوی بقایای ترکیبهای افزودنی و محصولات ناشی از خوردگی است، اثرهای درخور ملاحظه ای روی محیط زیست دارد، زیرا باعث تغییر خصوصیات فیزیکی مانند شوری، دما، دانسیته و بیولوژی محیط آب می شود.

در تاسیسات گرمایی مواد افزودنی شیمیایی متداول عبارت از بیوسیدها[2]، بازدارنده‌های ترسیب[3]، مواد بازدارنده کف[4] و بازدارنده‌های خوردگی[5] است. در تاسیسات اسمز معکوس مواد افزودنی شیمیایی معمولا بیوسیدها، اسیدها در صورت جانشین نشدن توسط بازدارنده‌های ترسیب، منعقد کننده‌ها و در صورت کاربرد ممبرانهای پلی آمید خنثی کننده های کلر هستند.

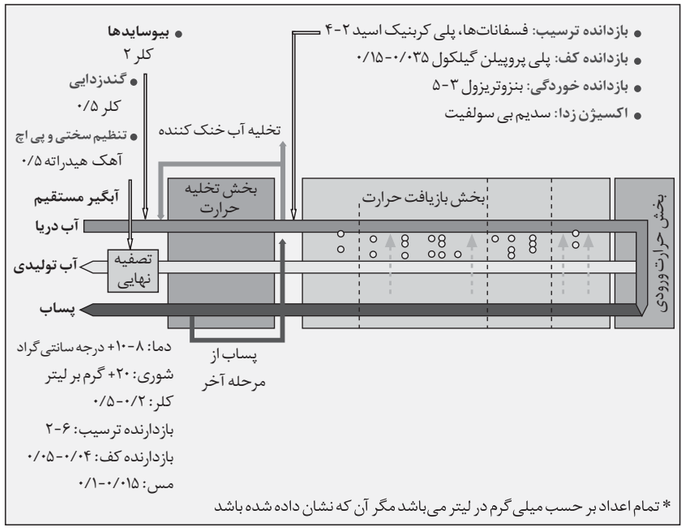
اصلاح آب خروجی از تاسیسات یا آب تولیدی برای مناسب شرب شدن و تثبیت آن نیاز به تزریق کلر برای گندزدایی و نیز کلسیم به عنوان مثال به شکل هیدروکسید کلسیم برای افزایش سختی و تنظیم پی اچ دارد که در فصل چهارم مطرح شده است. به علاوه در زمان اسیدشویی حذف بر[6] ممکن است ضروری باشد.

---

1. Additives
2. Biocide
3. Antiscale
4. Antifoam
5. Anticorrosion
6. Boron

دیاگرام شماره ۵-۵

فرایندهای تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای و حدود مشخصات مواد شیمیایی و رودی و خروجی و مشخصات پساب



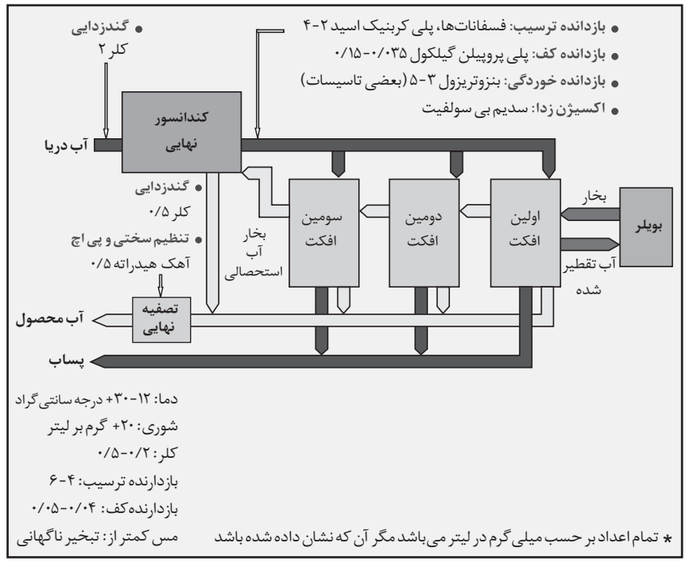
در دیاگرام‌های شماره ۵-۵، ۵-۶ و ۵-۷ نقاط و میزان تزریق مواد شیمیایی در فرایندهای گرمایی و اسمز معکوس آب دریا و نیز مشخصات پساب و میزان مواد شیمیایی موجود در آنها ارائه شده است.

خواص فیزیکی پساب تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای

پارامترهای فیزیکی پساب در مقایسه با کیفیت آب دریا در منطقه تخلیه متفاوت است. در طی فرایند گرمایی و یا تبخیری دما و میزان نمک موجود در پساب افزایش می‌یابد. در دیاگرام شماره ۵-۸ با میزان تبدیل تقریبا ۱۰ درصد (بسته به جریان آب ورودی) به عنوان مثال شوری پساب از ۴۵ به ۶۷/۵ گرم در لیتر و دمای پساب و آب خنک کننده به ترتیب ۹ و ۷/۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. شوری پساب تولیدی از طریق اختلاط با آب خنک کننده کاهش یافته اما هنوز با میزان ۵/۴ گرم در لیتر، بالاتر از شوری آب محیط است. در مقام مقایسه با افزایش دما و شوری، اثرهای افزایش دانسیته آب ناچیز است.

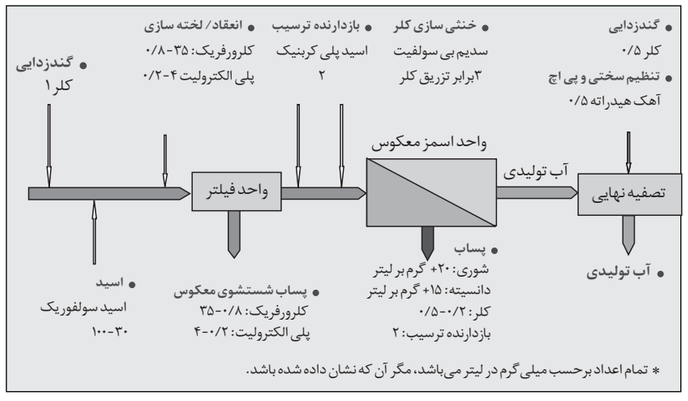
دیاگرام شماره ۵-۶

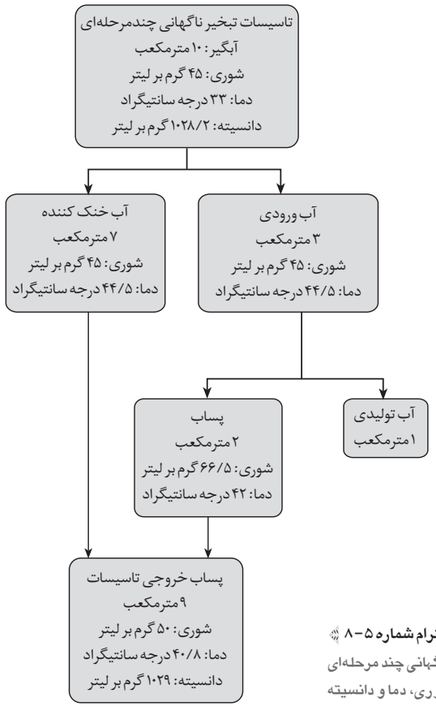
فرایندهای تقطیر چندمرحله‌ای و حدود مشخصات مواد شیمیایی و رودی و خروجی و مشخصات پساب



دیاگرام شماره ۵-۷

فرایندهای اسمز معکوس و حدود مشخصات و رودی و خروجی مواد افزودنی و مشخصات پساب



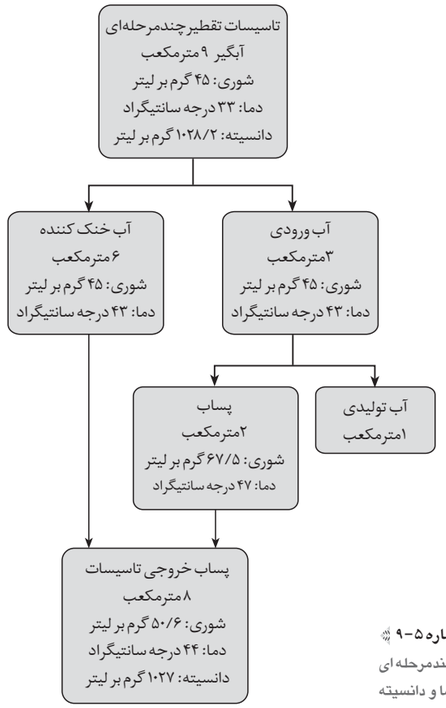


دیاگرام شماره ۵-۸
میزان و کیفیت آب و پساب فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای با میزان شوری، دما و دانسیته

سیستم تخلیه پساب باید طوری طراحی شود که پساب به خوبی با آب دریا مخلوط شود و از تمرکز مقدارهای بالای دما و شوری جلوگیری شود.

خواص فیزیکی پساب تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای

در اینجا نیز پارامترهای فیزیکی پساب در مقایسه با کیفیت آب دریا در منطقه تخلیه متفاوت است. در طی فرایند گرمایی، دما و میزان نمک در پساب افزایش می‌یابد. برای مثال در فرایند دیاگرام شماره ۵-۹ با درصد بازیافت تقریبا ۱۱/۲ درصد شوری از ۴۵ به ۶۶ گرم در لیتر و دمای پساب و آب خنک کننده به ترتیب ۱۴ و ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. شوری پساب تولیدی



دیاگرام شماره ۵-۹
میزان و کیفیت آب و پساب فرایند تقطیر چندمرحله ای با میزان شوری دما و دانسیته

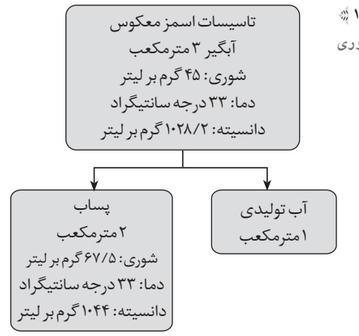
از طریق اختلاط با آب خنک کننده کاهش می یابد اما هنوز با میزان ۵/۶ گرم در لیتر، بالاتر از میزان شوری آب دریاست. در مقام مقایسه با افزایش دما و شوری، اثرهای افزایش دانسیته ناچیز است.

خواص فیزیکی پساب در اسمز معکوس

شوری پساب به دلیل میزان‌های بازیافت به شکل چشمگیری ۳۰-۴۵ درصد افزایش می‌یابد. برای آب خام با میزان شوری ۴۵،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با فرض ۳۳ درصد بازیافت و نیز دفع ۱۰۰ درصد نمک به وسیله ممبران، غلظت نمک در پساب حدود ۶۷،۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر است

(مطابق دیاگرام شماره ۵-۱۰). هنگامی که دما در طی فرایند ثابت می‌ماند دانسیته به میزان زیادی از ۱۰۲۸ به ۱۰۴۴ گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. اگر تاسیسات فرایند اسمز معکوس برای تولید توامان در کنار نیروگاه قرار گیرد و دو پساب اختلاط پیدا کنند، آب خنک کننده خروجی از نیروگاه دانسیته کلی را به میزان کمی در مقایسه با محیط کاهش داده و دانسیته کلی تقریبا تا سطح محیط کاهش می‌یابد.

دیاگرام شماره ۵-۱۰
میزان و کیفیت آب و پساب فرایند تقطیر چندمرحله ای با شوری



بیوسیدها در تاسیسات گرمایی و اسمزمعکوس

آب‌های سطحی حاوی مواد آلی است که متشکل از مواد زنده یا مرده و ملکولهای نامحلول هستند که باعث رشد بیولوژیکی و تشکیل بیوفیلم در تاسیسات می‌شود. بنابراین آب ورودی به آبگیر با کمک بیوسیدها گندزدایی می‌شود. مهمترین بیوسید در تاسیسات گرمایی و اسمزمعکوس کلر است. میزان کلر در غلظت‌های تا۱-۲ میلی گرم در لیتر از طریق تزریق مستمر به جریان ورودی در منطقه آبگیر حفظ می شود. کلر در صورت تزریق به آب دریا، بسته به شرایط، تولید هیپوکلریت و هیپوبرمیت می کند. در تاسیسات گرمایی کلر باقیمانده از طریق پساب خروجی خنک کننده و تقطیر کننده به محیط زیست تخلیه می‌شود و میزان آن به حدود ۰/۲-۰/۵ میلی گرم در لیتر می رسد که نشاندهنده ۱۰-۲۵ درصد غلظت تزریق است. با فرض نسبت پساب به آب تولیدی ۹ به ۱ در تاسیسات تبخیر ناگهانی چند مرحله ای میزان تخلیه ویژه کلر باقیمانده بر مترمکعب آب تولیدی ۱/۸-۴/۵ میلی گرم بر لیتر است.

برای مثال تاسیسات نمک زدایی تبخیر ناگهانی چند مرحله ای به ظرفیت ۲۴،۰۰۰

مترمکعب در روز منجر به تخلیه ۴۳/۲-۱۰۸ کیلوگرم کلر باقیمانده در روز به محیط می‌شود.

در تاسیسات تقطیر چند مرحله ای با فرض نسبت تولید به پساب ۱ به ۸ میزان تخلیه ویژه کلر باقیمانده بر متر مکعب آب تولیدی ۱/۶-۴/۰ گرم بر متر مکعب است. برای مثال جهت تاسیسات نمک‌زدایی به ظرفیت ۲۴،۰۰۰ متر مکعب در روز این به معنای تخلیه ۳۸/۴-۹۶/۰ کیلوگرم کلر باقیمانده در روز به محیط است.

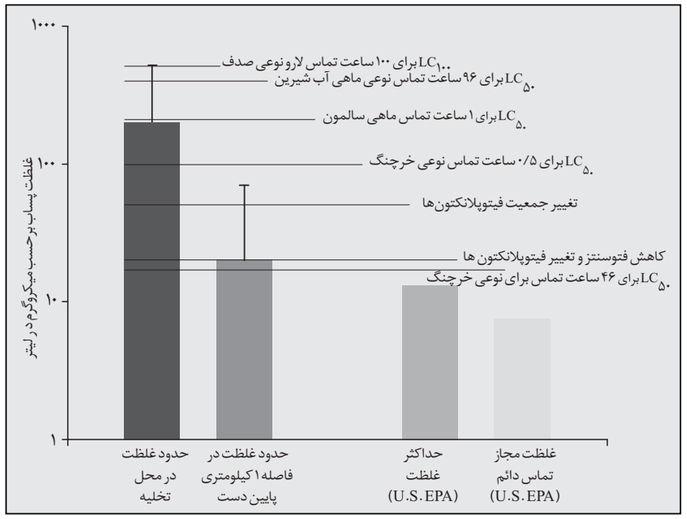
در تاسیسات نمک زدایی اسمز معکوس که از ممبرانهای پلی آمید استفاده می‌شوند، خنثی سازی کلر برای جلوگیری از اکسیداسیون ممبران ضروری است. لذا مسئله تخلیه کلر به محیط محدود به تاسیساتی می شود که از ممبرانهای سلولز استات استفاده می شود. بر این اساس کلر باقیمانده در پساب خروجی به حدود ۰/۱-۰/۲۵ میلی گرم در لیتر می‌رسد که بیانگر ۱۰-۲۵ درصد غلظت تزریق است. با فرض بازیافت ۵۰ درصد، میزان تخلیه ویژه کلر باقیمانده بر متر مکعب آب تولیدی ۰/۲-۰/۵ میلی گرم در لیتر است. برای مثال جهت تاسیساتی با ظرفیت روزانه نمک زدایی ۲۴،۰۰۰ متر مکعب مقدار کلر باقیمانده حدود۴/۸ -۱۲ کیلوگرم در روز است. یاداوری می شود که تخلیه کلر در تاسیسات با ممبران‌های استات سلولز باید مورد توجه قرار گیرد. به عکس تولید محصولات جانبی ناشی از مصرف کلر مسئله ای است که در تمام تاسیسات اسمز معکوس بدون توجه به مواد و جنس ممبران‌ها نگران کننده است که نباید به حدود درصد حذف بی‌توجه بود.

تجزیه‌پذیری بیشتر کلر موجود در پساب بعد از تخلیه به آب دریا باعث رسیدن غلظت آن به ۲۰-۵۰ میکروگرم در لیتر در محدوده تخلیه می‌شود. کلر روی محیط زیست آبی به دلیل سمیت بالای آن تاثیرگذار است. این غلظت در شرایط درازمدت به عنوان یک معیار کیفیت آب حدود ۷/۵ میکروگرم بر لیتر از سوی سازمان حفاظت محیط زیست امریکا[1] توصیه شده است. اما طبق نظر سازمان ارزیابی خطرات محیط زیستی اروپا[2] غلظت بی‌خطر[3] آن ۰/۰۴ میکروگرم در لیتر برای آب‌های شور تعریف شده است. در دیاگرام شماره ۵-۱۱ غلظتهای موجود در محل خروجی و در فاصله یک کیلومتری برای تعیین مقدارهای سمیت کلر از طریق آزمایش روی

1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA)
2. EU Environmental Risk Assessment
3. Predicted No-Effect Concentration(PNEC)

دیاگرام شماره ۵-۱۱

کلر - سمیت اکولوژیکی (LC_{50} متوسط غلظت کشنده) در مقایسه با حدود تغییرات آن در پساب و آب دریا



گونه‌های مختلف موجودات دریایی با یکدیگر مقایسه شده است. بنابر این مطالعه موردی در صورتی که غلظت کلر در محل تخلیه در حدود ۳۰۰ میکرو گرم در لیتر باشد، این غلظت در فاصله یک کیلومتری به حدود ۳۰ میکرو گرم در لیتر کاهش می‌یابد. باید توجه داشت که غلظت کشنده آن برای ماهی سالمون (آزاد) در شرایط تماس یک ساعت، حدود ۲۰۰ میکروگرم در لیتر و برای خرچنگ در زمان تماس نیم ساعت با فرض ال سی ۵۰[1] حدود ۸۰ میکرو گرم در لیتر است.

مطابق معیارهای کیفی سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا حداکثر غلظت کلر در محل تخلیه پساب حدود ۱۰ میکروگرم در لیتر تعریف شده است. جای تعجب است که بیشتر غلظت‌هایی که در آن نیمی یا کل جمعیت آزمایش شده از بین رفته‌اند در زمان‌های تماس مختلف بوده است و همچنین اثرهای دیگری نیز در غلظت‌های اندازه‌گیری شده حتی تا فاصله یک کیلومتری دیده شده است. جنبه دیگر کلرزنی تشکیل هیدروکربن‌های هالوژنه فرار[2] است

1. LC50
2. Halogenated Volatile Liquid Hydrocarbons

که در شرایط عادی به صورت مایع است. یک نوع مهم آن بروموفرم[1] است که یک هیدروکربن تری هالومتان فرار[2] است.

غلظت های تا ۱۰ میکروگرم در لیتر بروموفرم در آب نزدیک به خروجی تاسیسات تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای دوحهٔ[3] کویت اندازه‌گیری شده است. سمیت بروموفرمها از راه آزمایشهای روی صدفهای در معرض تماس در غلظت ۲۵ میکروگرم بر لیتر بروموفرم را اثبات کرد و افزایش میزان تنفس و کاهش میزان تغذیه و اندازه تخمدانها را نشان داده است. لارو صدفها در مقابل بروموفرم بسیار حساس است، مرگ و میر این لاروها در غلظت ۱۰-۰/۰۵ میکروگرم بر لیتر و با تماس ۴۸ ساعت نشان داده شده است.

بازدارنده‌های ترسیب در تاسیسات گرمایی

مشکل اصلی در تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله ای تشکیل رسوب روی سطوح مبدل‌های حرارتی است که باعث کاهش سودمندی انتقال حرارت می شود. متداولترین آنها ترسیب کربنات کلسیم ناشی از افزایش دما و غلظت املاح آن در آب فرایند است. سایر رسوبهای تشکیل شده عبارتند از هیدروکسید منیزیم و سولفات کلسیم. رسوب سولفات کلسیم به دلیل سختی در زدایش از سطوح فلزی در گروه رسوبات سخت قرار می گیرد. بنابراین در اولین مرحله کار تنظیم پارامترهای بهره برداری مانند دما و غلظت املاح آب است به طوری که از بروز غلظت اشباع جلوگیری شود. همچنین کربناتهای کلسیم و هیدروکسیدهای منیزیم از راه تزریق اسید و یا بازدارنده ترسیب کنترل می شوند. در فصل چهارم به طور مفصل در این خصوص بحث شده است. در گذشته، اصلاح آب با اسید به صورت متداول انجام می گرفت. با کمک اسیدها پی اچ آب ورودی به ۲ یا ۳ کاهش یافته و بدین ترتیب یون‌های بی کربنات و کربنات تجزیه شده و دی اکسید کربن آزاد شده و در واحد زدایش حذف می‌شد. در نتیجه یون‌های تشکیل دهنده رسوب کرباب کلسیم از آب خام حذف می‌شود. اسیدهای مورد استفاده عبارتند از اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک. که تصور می‌شود اسید سولفوریک به دلایل هزینه کمتر

1. Bromoform
2. Trihalomethan Volatil Liquid Hydrocarbon
3. Doha

ترجیح داده می‌شود. مقدار زیاد و با غلظت‌های بالای اسید برای این واکنش‌ها لازم است. سایر اثرهای منفی کاربرد اسیدها عبارت از افزایش خوردگی مصالح نصب شده و در نتیجه کاهش عمر مفید تاسیسات نمک زدایی و نیز مشکلات حمل و نقل و نگهداری آن است.

اثرهای منفی اشاره شده در بالا باعث توسعه و کاربرد سایر ترکیبها شده است. امروزه بازدارنده‌های ترسیب جایگزین اسیدها شده‌اند. اما قبل از بحث در مورد بازدارنده‌های ترسیب لازم است تا به کاربرد اسیدها به عنوان مواد شستشو دهنده اشاره شود. در طی دستور عمل شستشوی دوره ای برای مثال جهت حذف رسوبهای کربنات و اکسید فلزات با افزایش اسید سیتریک، سولفامیک و اسید سولفوریک حدود پی اچ به کمتر از ۲-۳ می رسد. لذا به علت تخلیه آن به آب های سطحی تغییر پی اچ از ۸/۳ به ۵/۸ رخ می دهد که باعث تغییر در تراکم و تنوع موجودات زنده دریایی می شود. محدوده نامناسب محیط زیستی پی اچ برای ستاره دریایی ۲-۲/۵ و برای میگو آب‌های شور ۳-۳/۳ است که نشاندهنده حساسیت موجودات زنده دریایی در محدوده کم پی اچ است. موجودات زنده کوچک متحرک مانند ستاره دریایی به خصوص از محیط اسیدی تحت تاثیر قرار می گیرند. برای کاهش اثرهای احتمالی محلولهای شستشو باید اسید آن قبل ازتخلیه خنثی شده یا حداقل با پساب متعارف مخلوط شود.

پلی فسفاتها نشاندهنده نسل اول مواد بازدارنده ترسیب هستند. سدیم هگزا متا فسفات از گونه‌های بسیار متداول پلی فسفاتهاست. عیب کاربرد این مواد، احتمال تشکیل رسوب فسفات کلسیم است. اما مسئله اصلی در محیط زیست آبی تجزیه آن در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به ارتوفسفاتهاست که به عنوان مواد مغذی جلبک ها و ایجاد کننده اتروفیکاسیون عمل می کند. تشکیل پوشش جلبکی روی بستر آب ممکن است در نتیجه تخلیه فسفاناتها[1] باشد.

به این دلایل بخشی از کاربرد پلی فسفاتها با بازدارنده های نسل دوم مانند فسفاناتهای مقاوم در برابر گرما و اسیدهای پلی کربنیک جایگزین شده اند. در مواردی که پلی فسفاتها با فسفاناتها جایگزین شده اند، مشکل رشد جلبک به طور کامل برطرف شده است. به خصوص اسید پلی اکریلیک به منظور اجتناب از ترسیب باید با دقت تزریق شود. به این دلیل که در غلظت‌های پایینتر، این ماده تجمع و اتصال مواد را به یکدیگر زیاد می کند و بنابراین در تاسیسات

1. Phosphanates

اسمزمعکوس به عنوان ماده منعقدکننده نیز به کار می‌رود. تخلیه اسید پلی کربنیک‌ها و فسفاناتها به عنوان مواد بی خطر طبقه‌بندی می‌شوند، زیرا غلظت آنها در پساب به مراتب کمتر از غلظت خطرناک است.

با فرض میزان تزریق ۲ میلی گرم در لیتر بازدارنده ترسیب به آب ورودی تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله ای با ظرفیت روزانه ۲۴،۰۰۰ متر مکعب، حدود ۱۴۴ کیلوگرم بازدارنده ترسیب در روز آزاد می‌شود، در واقع برای هر متر مکعب آب تولیدی حدود ۶ گرم بازدارنده ترسیب تخلیه می‌شود. با فرض میزان تزریق ۲-۴ میلی گرم در لیتر به آب ورودی، تاسیسات تقطیر چندمرحله ای با ظرفیت روزانه ۲۴،۰۰۰مترمکعب حدود ۱۴۴-۲۸۸ کیلوگرم در روز بازدارنده رسوب رها می‌شود که این میزان نشاندهندهٔ بیانگر رهاسازی ۶-۱۲ گرم در مترمکعب آب تولیدی است.

مواد بازدارنده کف[1]

آب دریا دربرگیرندهٔ مواد آلی محلولی است که در لایه‌های سطحی جمع شده و باعث تشکیل کف می‌شود. کاربرد مواد ضد کف در تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای برای کاهش فیلم سطحی و کف ضروری است چرا که در غیر این صورت باعث افزایش احتمال انتقال نمک و آلودگی به آب تولیدی می گردد. به علاوه در زمان تخلیه سریع آب نمک به واحدهای تبخیر به دلیل افزایش کشش سطحی باعث ترکیدن سریع قطرات می‌شود. زدایش دی اکسیدکربن و اکسیژن در تاسیسات گرمایی برای کاهش میزان خوردگی فلزات ضروری است و از انتقال نمک از طریق قطره‌های آب نمک به آب تولیدی جلوگیری می کند. همچنین از آنجا که مواد بازدارنده کف از جنس مواد آلی هستند باید با دقت انتخاب و تزریق شوند. مخلوط پلی گلیکول به کار برده شده حاوی پلی اتیلن گلیکول یا پلی پروپیلن گلیکول است. این مواد معمولا به عنوان مواد بی‌خطر در نظر گرفته شده و غلظت کم ۴۰-۵۰ میکروگرم در لیتر آن در پساب خطرات محیط زیستی زیادی ایجاد نمی کند. با توجه به اینکه پلی اتیلن گلیکول پلیمریزه با جرم ملکولی بالا تا حدودی در مقابل تجزیه‌پذیری بیولوژیکی مقاوم است، این ماده در بعضی کاربردهای

1. Antifoam Agents

صنعتی با موادی مانند دی آلکیل اترها که تجزیه پذیری بیولوژیکی دارند جایگزین شده است. افزودن متعارف کمتر از ۰/۱ میلی گرم در لیتر ماده بازدارنده کف کافی است و غلظت‌های این ترکیب در پساب به دلیل اختلاط با پساب آب خنک کننده معمولا نصف این میزان خواهد بود. با فرض نسبت آب تولیدی به آب ورودی ۱ به ۳ و میزان تزریق ۰/۰۳۵-۱/۱۵ میلی گرم در لیترماده بازدارنده کف، برای هر مترمکعب آب تولیدی حدود ۰/۱-۰/۴۵ گرم ماده بازدارنده کف تخلیه می‌شود.

بازدارنده‌های خوردگی در تاسیسات گرمایی

مسئله مهم دیگر در تاسیسات گرمایی حفاظت فلزات به کار برده شده در مبدل های حرارتی در مقابل خوردگی است. توان خورندگی آب دریا، بالا بودن دمای فرایند و وجود باقیمانده کلر و گازهای خورنده در آب دلایل بروز این مشکل هستند. با کاربرد مواد مقاوم در برابر آن، هوازدایی آب خام، و بعضی اوقات از طریق افزودن بازدارنده‌های لازم خوردگی کنترل می‌شود. به خصوص در جریان اسید شویی کنترل خوردگی از راه کاربرد بازدارنده‌های ترسیب برای لوله‌های مسی ضروری است.

در مرحله اول، اکسیژن‌زدایی برای کاهش خوردگی انجام می گیرد. افزودن مواد شیمیایی مانند سدیم بی‌سولفیت می‌تواند باعث کاهش بیشتر میزان اکسیژن محلول گردد. سدیم بی سولفیت باید به دقت تزریق شود زیرا کاهش اکسیژن در پساب تخلیه برای موجودات دریایی خطرناک است.

بعضی از محصولات خوردگی معمولا با سطوح فلزی لوله ها واکنش نشان می دهند. برای مثال سولفات فرو بعد از هیدرولیز و اکسیده شدن به سطوح آلیاژ می چسبد و باعث حفاظت آن می‌شود. بنزوتری آزول[1] و مشتقات آن بازدارنده های خاص خوردگی هستند و در طی عملیات اسید شویی به آنها نیاز است. این بازدارنده‌ها دارای عنصرهای مانند سلنیوم، نیتروژن، سولفور و اکسیژن با دو الکترون آزاد هستند که با سطوح فلزات واکنش نشان می‌دهند و فیلم محافظ مقاومی را ایجاد می کنند. البته تصور می‌شود که در نهایت بخش اعظم آن با پساب به محیط

1. Benzotriazole

تخلیه می‌شود. به دلیل تجزیه پذیری آهسته بنزوتری آزول، در رسوبات ماندگار می‌شود و این امر به خصوص در پی اچ کم بهتر انجام می گیرد، لذا اثرهای سمی حاد ناشی از آن نامحتمل است و در نتیجه انتظار می رود که غلظت‌های آن در پساب کمتر از مقدارهای ال سی ۵۰ برای ماهی قزل آلا و خرچنگ باشد. با این حال این مواد به عنوان مواد مضر برای موجودات دریایی طبقه بندی می شوند. در صورت تزریق مستمر حدود ۳-۵ میلی گرم در لیتر بنزوتیرآزول به آب ورودی، میزان تخلیه آن به محیط برای هر مترمکعب آب تولیدی حدود ۹-۱۵ گرم است.

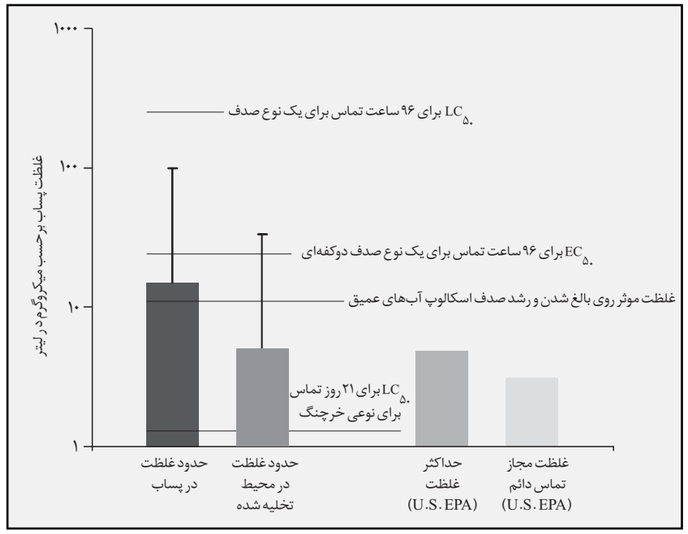
به دلیل استفاده گسترده از مبدل های حرارتی مس- نیکل، مهمترین نوع فلزات سنگین نامحلول تخلیه شده از لوله های مبدل حرارت، مس است. در پساب خروجی از تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای، مس آلاینده مهمی به شمار می آید. با فرض تولید ۲۴،۰۰۰ مترمکعب آب در روز، بازیافت ۵۰ درصد و غلظت مس در پساب ۱۵ میکرو گرم در لیتر میزان تخلیه مس به دریا روزانه ۷۲۰ گرم است. بازدارنده‌های خوردگی که در تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای به کار برده می‌شوند در تاسیسات تقطیر چندمرحله‌ای نیز ضروری هستند. اگرچه فرض می‌شود که میزان مس در مقایسه با تاسیسات تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای به دلیل کم بودن دمای عملیاتی کمتر است و در ساخت لوله‌ها نیز میزان کمتری مس مانند تیتانیوم و آلومینیوم- برنج به کار برده شده است. به طور کلی خطر محیط زیستی مس ناشی از غلظت‌های بالای آن است.

در این تاسیسات میزان مس به اندازه‌ای پایین است که برای موجودات دریایی مضر به شمار نمی آید، اما تجمع مس در رسوبات کف دریا گویای خطر بالقوه‌ای است که می تواند دوباره هنگام تغییر شرایط از هوازی به بی‌هوازی به دلیل کاهش میزان اکسیژن ایجاد شود. دیاگرام شماره ۵-۱۲ حدود غلظت مس در پساب تاسیسات، در آب دریا پس از اختلاط، حداکثر مجاز و غلظت بی‌خطر آن برای بعضی از آبزیان طبق نظر سازمان حفاظت محیط زیست امریکا را نشان می‌دهد. مقدارهای سمیت محیط‌زیستی از مقدارهای تعیین شده در طی آزمایشهای با سولفات مس استنتاج می‌شود، با فرض اینکه سولفات مس ارتباط کمتری با موجودات زنده آب شور دارند. نتایج حاصل از رقیق سازی آن با آب خنک کننده ایجاد اطمینان نمی کند زیرا میزان‌های گزارش‌شده هنوز بالاتر از میزان بی‌خطر آن است و لذا مجموع تخلیه شده خطرناک است.

طبق دیاگرام شماره ۵-۱۲ در صورتی که غلظت مس در پساب در حدود ۲۰ میکرو گرم

دیاگرام شماره ۵-۱۲

مس ـ سمیت اکولوژیکی (LC_{50} متوسط غلظت کشنده)(EC_{50} متوسط غلظت موثر) در مقایسه با حدود تغییرات آن در پساب و آب دریا



در لیتر باشد، در محیط اختلاط با آب دریا میزان آن به حدود ۸ میکرو گرم در لیتر می رسد، در حالی که طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا این رقم حداکثر ۶ میکرو گرم در لیتر و میزان غلظت مستمر مجاز حدود ۴ میکروگرم در لیتر است لذا یک خطر بالقوه محیط زیست دریایی است.

مواد منعقدکننده در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا

حذف مواد معلق، به خصوص کلوییدها قبل از هدایت به المان های اسمز معکوس برای کارایی بهتر ممبران‌ها ضروری است. برای این منظور مواد منعقدکننده و پلی الکترولیت ها برای عملیات انعقاد ـ لخته سازی اضافه می‌شود. لخته‌های تشکیل شده توسط فیلترهای با بستر دو لایه ماسه ـ آنتراسیت و مخلوط جدا می‌شوند. ۳ ترکیب آلومینیوم، آهن سه ظرفیتی و پلی‌کلراید آلومینیوم برای ایجاد لخته از کلوییدها و ترسیب آن در زلال سازها و یا زدایش آن‌ها در فیلترها

بکار می‌روند. کیفیت آب خام از نظر پی اچ، قلیاییت، دما و کدورت روی انتخاب منعقدکننده دخالت دارد. به طبع در صورتی که شرایط پی اچ آب و یا اصلاح آن مناسب باشد انتخاب آهن سه ظرفیتی برای تولید ذره مناسبتر است، بخصوص که کدورت آب دریا معمولا در محدوده‌های کم قرار دارد. لذا برای انتخاب نهایی منعقدکننده لازم است تا با کمک دستگاه جارتست نسبت به تعیین نوع منعقدکننده، میزان مصرف و ضرورت اصلاح پی اچ آب تصمیمگیری نمود. بعلت مطلوبتر بودن امکانات دسترسی و قیمت انواع آهن سه ظرفیتی در کشور و کمتر بودن مشکلات محیط زیستی آن انتخاب این منعقدکننده اصلح می باشد.

روش معمول تخلیه پساب شستشوی معکوس فیلترها به محیط دریاست که زندگی موجودات دریایی را به دلیل وجود رنگ و مواد معلق در آن به مخاطره می‌اندازدکه برای مثال می توان به پساب قرمزرنگ حاوی سولفات‌فریک حاصل از شستشوی معکوس فیلترها در تاسیسات نمک‌زدایی اسمزمعکوس اشکلون، اسراییل به میزان ۶۵۰۰ مترمکعب به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه در هر ساعت اشاره نمود. این تخلیه از یک طرف باعث کاهش نفوذ نور خورشید می‌شود و روی فرایند فتوسنتز اثر منفی دارد و از طرف دیگر با افزایش مواد ته نشینی ممکن است سطوح برخی موجودات زنده به خصوصی مرجان‌ها پوشیده شود.

میزان تزریق منعقدکننده‌ها متناسب با کدورت طبیعی آب است و می تواند به حدود ۳۰ میلی گرم در لیتر برسد. این میزان زیاد مصرف ماده منعقدکننده، پلی الکترولیت‌ها فرایند لخته‌سازی را از طریق اتصال کلوییدها سودمندتر می‌سازند. پلی الکترولیت‌های مصرفی ممکن است پلی فسفاتها یا پلی اکریلیک اسیدها و پلی اکریل آمیدها باشند، که به عنوان بازدارنده ترسیب نیز به کار برده می‌شوند. در مقایسه با کاربرد آنها به عنوان بازدارنده، میزان مورد نیاز پلی الکترولیت‌ها برای ذره‌سازی بسیار ناچیز است. این مواد سمی نیستند اما باعث افزایش کدورت آب می‌شوند. میزان تزریق ۰/۵ میلی گرم بر لیتر مستلزم تخلیه ۱/۵ گرم بر مترمکعب آب تولیدی است. در تاسیساتی با ظرفیت ۲۴،۰۰۰ متر مکعب در روز مقدار تخلیه آن به محیط دریا حدود ۳۶ کیلوگرم در روز است.

بازدارنده‌های ترسیب در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا

مهمترین ترکیبهای شیمیایی ترسیبی در تاسیسات اسمز معکوس، کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و سولفات باریم است. تزریق اسید و یا بازدارنده ترسیب برای کنترل رسوب به کار برده می‌شود. متداولترین نوع اسید، اسید سولفوریک است و در محدوده ای به میزان ۳۰-۱۰۰ میلی گرم در لیتر تزریق می‌شود.

در بهره‌برداری از تاسیسات اسمز معکوس گزینه کاربرد بازدارنده‌های ترسیب مانند پلی فسفاتها، اسیدهای فسفاتها یا پلی کربناتها به دلیل اثرهای منفی کاربرد اسیدهای معدنی بسیار متداول شده است. معمولا تزریق حدود ۲ میلی گرم در لیتر بازدارنده‌های ترسیب کافی است. در صورتی که میزان تزریق ۲ میلی گرم در لیتر آب خام در نظر گرفته شود و درصد بازیافت ۳۳ باشد در تاسیسات اسمز معکوس با ظرفیت ۲۴،۰۰۰ مترمکعب در روز آب تولیدی حدود۱۴۴ کیلوگرم در روز معادل ۵۲ تن در سال بازدارنده رسوب به محیط تخلیه می‌شود. که گویای تخلیه ۶ گرم بازدارنده ترسیب برای هر متر مکعب آب تولیدی است.

مواد شیمیایی شستشوی ممبران

به جز اسید شویی که معمولا با اسید سیتریک یا اسید هیدروکلریدریک انجام می گیرد، ممبران‌ها با سدیم هیدروکسید، دترجنت ها و سایر ترکیبات برای حذف بیوفیلم و سیلت به جای مانده روی آنها شستشو می‌شوند. معمولا برای حذف بیوفیلم ها و سیلت روی ممبران ها از افزایش هیدروکسید سدیم به منظور افزایش پی اچ به ۱۲ استفاده می شود. محلولهای شستشوی قلیایی باید قبل از تخلیه با پساب تاسیسات اختلاط و خنثی شود. دترجنتها مانند سولفاتهای آلی و سولفانتها با خاصیت چربی گرایی و آب گرایی باعث حذف ذرات مولد جرم می‌شوند. با توجه به ماهیت این مواد در محیط زیست دریایی، سولفات های آلی مانند سدیم دو دی سیل سولفات[1] و سدیم دو دی سیل بنزن سولفانت[2] دارای خاصیت تجزیه پذیری بیولوژیکی هستند. به جز طبقه‌بندی متداول دترجنتها به عنوان مواد سمی هیچ اطلاعات دیگری روی سمیت ترکیب دوم وجود ندارد. مسمومیت این ترکیبها برای ماهی‌ها، جلبک‌ها و مواد ریز دیگر شناخته شده است.

1. sodium dodecylsulfate(SDS)
2. sodium dodecylbenzene sulfonate (Na-DBS)

ترکیبهای پیچیده‌ای مانند اسید اتیلن دی آمین تترا استیک[1] برای زدایش کلوییدهای معدنی و گرفتگی‌های میکروبی[2] به کار می‌روند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تاثیر مستقیم سمیت این ترکیب ناچیز است. در مقابل، باقی ماندگی طولانی آن در محیط زیست دریایی ممکن است در درازمدت آثار نامطلوب داشته باشد. همچنین در طی فرایندهای شستشوی دوره ای ممبران‌ها، گندزداهای دیگری مانند فرم آلدیید[3]، گلوتار آلدیید[4]، ایزوتیازول[5] و سدیم پربرات[6] به کار برده می شود. این مواد در محدوده سمی تا خیلی سمی قرار دارند و در صورت تخلیه بدون اختلاط، غلظت آن به حد خطرناک می‌رسد. بنابراین خنثی‌سازی الزامی است. چندین نوع ماده خنثی کننده در دسترس است که عبارتند از فرم آلدیید که می تواند با هیدروژن پرکسید و کلسیم هیدروکسید یا سدیم هیدروکسید و ایزوتیازول با بی سولفیت سدیم خنثی شود. در کاربرد سدیم پربرات باید دقت شود زیرا ممکن است به سدیم برات و هیدوکسید هیدروژن تجزیه شود. سدیم پربرات بیوسید قوی است و بنابراین نباید بیش از اندازه تزریق شود، زیرا ممکن است به ممبران‌ها آسیب بزند.

محصولات خوردگی در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا

در تاسیسات اسمز معکوس خوردگی مشکل عمده ای است و به این دلیل در هنگام طراحی و ساخت بیشتر تجهیزات فولاد ضدزنگ و یا غیرفلزی در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر کمی آهن، نیکل، کرم و مولیبدیوم در آب آزاد می‌شوند اما به سطح بحرانی نمی رسند. با این حال هر نوع فعالیت محیط زیستی نباید به هیچ عنوان فلزات سنگین ایجاد کند، بنابراین معمولا نیاز است تا گزینه‌های کاربرد مصالح بررسی شوند و از کاربرد مصالح مستعد به خوردگی باید خودداری شود.

خنثی سازی کلر[7] در تاسیسات فرایند اسمز معکوس آب دریا

خنثی سازی کلر با سدیم بی سولفیت انجام می گیرد که به طور مرتب در غلظتی ۳ تا ۴ برابر غلظت کلر اولیه به میزان ۱/۵-۴ میلی گرم بر لیتر اضافه می شود. مقادیر متناسب برای هر

1. Ethylendiamine Tetraacetic Acid (EDTA)
2. Biofouling
3. formaldehyde
4. glutaraldehyde
5. isothiazole
6. sodium perborate
7. Dechlorination

مترمکعب آب تولیدی ۴/۵-۱۲ میلی گرم بر لیتر است. از آنجا که سدیم بی سولفیت، بیوسید محسوب می‌شود و برای حیات موجودات دریا از طریق کاهش اکسیژن مضر است، لذا باید از تزریق غیرضروری آن اجتناب شود. گزینه دیگر که برای خنثی‌سازی کلر به کار می‌رود سدیم متا بی سولفیت است.

پایش و بازرسی‌های بهداشتی در مراحل مختلف نمک‌زدایی

برای اطمینان به عملکرد مطلوب تاسیسات و در نتیجه تولید آب طبق معیارها و استانداردهای طرح، لازم است برنامه جامع پیشبینی خطرات ناشی از آلودگی ها و مدیریت کنترل آنها تهیه و مورد اجرا قرار گیرد. لذا لازم است شاخص‌های بهداشتی آب در فرایندهای مختلف تعریف شده و با ارزیابی عملکرد بالقوه در مرحله قبل از اجرا و سپس پایش عملیات بهره‌برداری و نگهداری و مدیریت تاسیسات به اهداف طرح دست یافت.

پایش

پایش نقش اصلی در تولید آب مطلوب دارد و با اجرای برنامه پایش اطمینان حاصل می‌شود که عملیات بهره‌برداری از تاسیسات فرایندها دارای عملکرد پیشبینی شده می‌باشد. پایش شامل تایید فرایندهای منتخب با توجه به معیارهای مربوطه برای طراحی، نظارت بر عملیات بهره‌برداری و نگهداری و رسیدگی و یا کنترل می باشد.

تصویب[1]

هدف از تصویب کسب این اطمینان است که فرایندهای انتخاب شده و تاسیسات آن طبق توصیه مراجع معتبر دارای عملکرد مطلوب خواهد بود. اولین مرحله از عملیات تصویب عبارت است از توجه به گزارش‌های تحقیقاتی مدون در ادبیات موجود و گزارش‌های فنی موسسه‌های اجرایی و بهره برداران از فرایندها و تاسیسات مورد نظر و سازندگان آنها تا اطمینان حاصل شود که عملکرد فرایندها و تاسیسات مربوطه قابل پیشبینی و اطمینان است. پایش مربوط به مرحله

1. Validation

تصویب در فاز استفاده از پایلوت و یا بهره برداری آزمایشی قبل از تحویل و یا در مرحله تحویل کارخانه[1] انجام می گیرد. طبعا اگر فرایند و تاسیسات پیشنهادی قبلا مورد استفاده قرار نگرفته و کار جنبه پیلوت دارد پایش آن برای تصویب بسیار مفصلتر خواهد بود.

پایش بهره‌برداری

هدف از پایش بهره‌برداری عملیات مشاهده و اندازه گیری‌هایی است که عملکرد فرایندهای کنترل را برای پیشگیری و یا کاهش مخاطره‌ها ارزیابی می کند. طبعا باید عملیات با سرعت لازم انجام گیرد تا نتایج معلوم شود. پارامترهای مورد استفاده مانند رنگ، کدورت و کلر باقیمانده و غیره در پایش بهره‌برداری باید دارای ویژگی های زیر باشد:

- انجام اندازه گیری آسان باشد.
- نتیجه حاصل نشاندهنده وضعیت اثربخشی کار کنترل باشد.
- نشاندهنده سریع وضعیت عملکرد فرایند در رابطه با معیارهای طرح باشد.
- شرایطی را فراهم نماید که بتوان اصلاحات لازم را انجام داد.

به کمک پارامترهای پایش بهره برداری، عملکرد مطلوب و یا نامطلوب فرایندها تعیین می شود و در صورتی که نتایج رضایتبخش نیست لازم است با روش های از پیش تعیین و یا طراحی شده عملیات اصلاحی انجام گیرد. به هرحال هدف از پایش پیشگیری از تولید آب خارج از معیارها و استانداردهای مربوطه می‌باشد. در بعضی موارد معیارهای بهره‌برداری به نحوی تعریف می‌شود که بهره‌بردار به موقع و قبل از کاهش کیفیت آب تولیدی از وضعیت آگاه شده و قبل از آنکه ویژگی نامطلوب به سقف محدودیت برسد اصلاحات لازم انجام می گیرد.

تایید[2]

علاوه بر آنکه لازم است عملکرد هر یک از واحدهای فرایندی تصفیه آب برای مصرف‌های شرب مورد پایش مستمر قرار گیرد تا از عملکرد مطلوب آن اطمینان حاصل نمود، عملکرد کل تاسیسات هم باید به طور مستمر مورد پایش قرار گیرد.

1. Plant

2. Verification

بازرسی[1]

بازرسی عبارت است از عملیات مستمر و هوشیارانه برای جمع آوری اطلاعات در مورد کیفیت آب شرب عموم که انجام آن توسط دستگاه مستقل از واحد تولید باید انجام گیرد. طبعا دستگاه مستقل پیشگفته باید دارای قدرت قانونی باشد تا تصمیمگیری‌های حاصل از نتایج را به اجرا بگذارد.

پایش در مرحله بهره برداری از تاسیسات نمک زدایی

خطرات بروز آلودگی آب در تمام بخش های کار از منبع آب خام تا خروج آب تولیدی از شیر مصرف کننده وجود دارد. لذا اقدامات حفاظتی برای جلوگیری، حذف و یا کاهش آنها ضرورت دارد.

اقدامات بالا برای مراحل تولید آب متعارف از آب‌های شور و لب شور شامل بخش‌های زیر است:

- منشاء و یا منبع آب خام؛
- فرایندها و عملیات پیش تصفیه؛
- فرایندهای نمک زدایی؛
- عملیات اصلاح آب تولیدی و اختلاط با آب خروجی از تاسیسات پیش تصفیه؛
- ذخیره و توزیع آب تولیدی به خصوص توجه به خورندگی و تولید رسوب آب در شبکه توزیع.

برای اطمینان به استمرار تولید آب طبق استاندارد، نیاز به توجه روزانه به عملیات فرایندهای تصفیه می باشد لذا لازم است در برنامه مدیریت بهره برداری به جزییات توجه نشان داده شود و برای موفقیت به موازات آموزش مستمر متصدیان بهره برداری لازم است نتایج عملیات بصورت منظم ثبت و مستند گردد.

در جدول شماره ۵-۴ خلاصه عملیات پایش و پارامترهای لازم و تواتر انجام برای تاسیسات با ظرفیت های کم و زیاد نشان داده شده است که توجه به حفظ کیفیت آب خام طرح در مرکز پایش قرار دارد.

1. Surveylance

جدول شماره ۵-۴ : **عملیات پیشنهادی برای پایش در تاسیسات نمک‌زدایی**

بخشهای بنیادی	اقدامات کنترلی	شاخص بهره برداری	بسامد پایش[1]	
			تاسیسات بزرگ[2]	تاسیسات کوچک[3]
۱. منبع آب	کشف و جلوگیری از آلودگی توسط فاضلاب‌ها (عوامل بیماری زا، ویروسها)	آنتروککسی یا ای کلی	۱ یا ۲	۲
	کشف و جلوگیری از آسیب طوفان ها	کدورت	در خط (برای کنترل فرایندها)	در خط
	کشف و جلوگیری از اثرات ریزجلبک ها یا سیانوباکتریها	انواع جلبک، سیانو باکتری‌ها و دفنیوفلاجلاها	۲-۳	۳
	کشف و جلوگیری از اثرات فاضلاب های صنعتی با توجه به شرایط محلی	تی او سی	۲	۳
		نفت و روغن‌ها	۲	۵
		ترکیب‌های صنعتی	۲	۳
		مواد رادیواکتیو	۵	۵
	پایش در پایین دست تاسیسات شامل پیش تصفیه	شوری	۱	۱
		کلرید	۱	۱
		سدیم	۲	۲
		بر	۳	۵
		برومید	۳	۵
		سیلیس	۱	۱
		آهن	۱	۲
		منگنز	۳	۵
		کدورت	در خط	در خط
		قلیاییت	۱	۱
		پی اچ	در خط	در خط
		دما	در خط	در خط
		فلزات سنگین	۲	۳
	ترکیب های با حلالیت کم مانند کلسیم، فلوراید، باریوم، استرانسیوم، منگنز، سولفات		۲	۳

۱. به معنای روزانه، ۲ به معنای هفتگی، ۳ به معنای ماهانه، ۴ به معنای فصلی و ۵ به معنای سالانه است.

۲. تاسیسات بزرگ با ظرفیت بیش از ۳۸۰۰۰ متر مکعب آب تولیدی در روز در نظر گرفته شده است.

۳. تاسیسات کوچک با ظرفیت کمتر از ۳۸۰۰۰ متر مکعب آب تولیدی در روز در نظر گرفته شده است.

ادامه جدول شماره ۵-۴: **عملیات پیشنهادی برای پایش در تاسیسات نمک زدایی**

بخشهای بنیادی	اقدامات کنترلی	شاخص بهره برداری	بسامد پایش	
			تاسیسات بزرگ	تاسیسات کوچک
ادامه منبع آب		سولفید هیدروژن و سولفات فلزات	۲	۳
		آمونیوم	۲	۳
		کل جامدات محلول	۱	۱
۲. پیش تصفیه - اسمز معکوس	کشف و پیشگیری تشکیل بیوفیلم و ترسیب و تولید جرم چسبیده	اس دی آی	در خط	در خط
		میزان عبور آب	در خط	در خط
		هدایت الکتریکی	در خط	در خط
		کل جامدات محلول	۱	۱
		کدورت یا شماره ذرات در خروجی پیش تصفیه	در خط	۱
		پی اچ - اگر اسیدزنی و یا قلیازنی انجام گیرد	در خط	در خط
	کاربرد افزودنی ها (مانند بازدارنده ترسیب)	پایش میزان عبور آب و میزان تزریق	در خط	در خط
	کنترل کیفیت مواد افزودنی پیشگیری از گرفتگی	آنالیز و تست مواد و ثبت نتایج	۱	۱
	بیولوژیکی	باقیمانده گندزدا	در خط	در خط
۳. پیش تصفیه فرایندهای گرمایی	کاربرد افزودنی‌های بازدانده ترسیب، بازدارنده کف	پایش میزان آب و میزان تزریق	در خط	در خط
		پی اچ (اگر اسید به کار می رود)	در خط	در خط
	کنترل کیفیت مواد افزودنی پیشگیری از گرفتگی بیولوژیکی	آنالیز و تست و ثبت نتایج	۱	۱
		باقیمانده گندزدا	در خط	در خط
۴. مدیریت فرایندهای ممبرانی		تناسب بازیافت	۱	۱
		توازن شیمیایی با استفاده از هدایت الکتریکی و میزان جریان	۲	۳
		فشار هیدرولیکی روی ممبران ها	در خط	در خط

ادامه جدول شماره ۵-۴: **عملیات پیشنهادی برای پایش در تاسیسات نمک زدایی**

بخشهای بنیادی	اقدامات کنترلی	شاخص بهره برداری	بسامد پایش	
			تاسیسات بزرگ	تاسیسات کوچک
ادامه مدیریت فرایندهای ممبرانی		اندازه‌گیری جریان آب تولیدی و پساب	در خط	در خط
		هدایت الکتریکی آب تولیدی و پساب	در خط	در خط
		تی او سی - در صورت جمعیت زیاد میکروبی	در خط	در خط
۵. مدیریت فرایندهای گرمایی		فشار و دمای مجاز بخار ورودی	در خط	در خط
		آب تولیدی و آب جبرانی	در خط	در خط
		هدایت الکتریکی آب تولید و بخار تقطیر شده	در خط	در خط
		مس، آهن و نیکل	۲	۴
۶. اختلاط برای اصلاح آب تولیدی	جلوگیری از آلودگی آب تولیدی (استفاده از آب پیش تصفیه شده و یا آب زیرزمینی)	ای کلی	۱	۲
		کدورت	در خط	در خط
	تهیه آب پایدار از نظر شیمیایی با کمترین غلظت کلسیم و منیزیوم	اندکس لانگلیر در صورتی که پوشش سیمانی به کار رفته است	۱	۱
		اندکس ال آر[1] برای لوله های فولادی و کربن استیل	۱	۱
		قلیاییت آب	۱	۱
		سختی کل آب	۱	۱
		پی اچ	در خط	در خط
۷. گندزدایی	کنترل کیفیت آب برای افزودنی‌های قبلی و زدایش باکتری‌ها و آلاینده‌های میکروبی	هدایت الکتریکی	در خط	در خط
		تست افزودنی ها و کنترل سوابق	۱	۱
		کنترل باقیمانده گندزدا	در خط	در خط

۱. ال آر تناسب مجموع مولاریته کلرورها و سولفات ها به قلیاییت بی کربناتی است.

ادامه جدول شماره ۵-۴: **عملیات پیشنهادی برای پایش در تاسیسات نمک زدایی**

بخشهای بنیادی	اقدامات کنترلی	شاخص بهره برداری	بسامد پایش	
			تاسیسات بزرگ	تاسیسات کوچک
ادامه گندزدایی	کنترل کیفیت آب برای افزودنی‌های قبلی و زدایش باکتری‌ها و آلاینده‌های میکروبی	محاسبه غلظت - زمان (سی تی[1])	۱	۲
		شمارش بشقابی هتروترفیک ها	۳	۵
		محصولات جانبی کلر و برمات طبق گندزدای به کار رفته	۲	۳
۸. مبارزه با خوردگی	کاهش توان خوردگی آب در شبکه توزیع با استفاده از فسفات ها و سیلیکات ها	پایش میزان تزریق و میزان آب	در خط	در خط
	کنترل میزان افزودنی ها	انجام آزمایش تعیین غلظت و کنترل تست و ثبت نتایج	۱	۱
۹. ذخیره و توزیع	جلوگیری از آلودگی میکروبی و شیمیایی	ای کلی	۱	۲
		شمارش بشقابی هتروتروفها	۱	۳
		کدورت	۱	۱
		بازرسی و حوادث شبکه	۲	۳
		پایش فرار آب از شبکه	۲	۴
	کنترل خوردگی در مخزن ذخیره در لوله انتقال و در لوله‌کشی ساختمان‌ها	کنترل ارگانسیم های فعال	۱	۱
		پی اچ	۱	۱
		آهن	۳	۳
		روی	۳	۵
		نیکل	۳	۵
		مس	۳	۵
		سرب	۲	۲
		روی و فسفات در صورت مصرف بازدارنده	۲	۲

1. CT (Concentration - Time)

ادامه جدول شماره ۵-۴: **عملیات پیشنهادی برای پایش در تاسیسات نمک زدایی**

بخشهای بنیادی	اقدامات کنترلی	شاخص بهره برداری	بسامد پایش	
			تاسیسات بزرگ	تاسیسات کوچک
ادامه ذخیره و توزیع	حفظ پایداری آب پس از اختلاط آب های مختلف	پس از اختلاط و یا پس از گندزدایی نهایی با تعیین اندکس لانگلیر	۱	۱
	گندزدایی	محصولات جانبی گندزدا	۲	۳
۱۰. تخلیه پساب	به دریا و یا دریاچه آب‌شور با حفظ کمترین اثرات محیط زیستی در جایی که اختلاط خوب انجام بگیرد و لوله انتقال و یا خروجی‌های ایجاد اختلاط نماید.	دما و اکسیژن محلول (در صنعت حرارتی)	در خط	در خط
		پی اچ	در خط	در خط
		شوری	در خط	در خط
		فلزات سنگین	۳	۴
		افزودنی ها	۳	۴
		فسفاتها و نیتراتها	۳	۴
	در صورت تخلیه به منابع زیرزمینی با ملاحظه معیارهای سازمان محیط زیست	دما	در خط	در خط
		پی اچ	در خط	در خط
		شوری	در خط	در خط
		فلزات سنگین	۳	۴
		افزودنی ها	۳	۴
		فسفاتها و نیتراتها	۳	۴
۱۱. تخلیه آب گرم خنک کننده‌ها	به دریا و دریاچه آب شور با حفظ کمترین اثرات محیط زیستی و با حداکثر امکان اختلاط و به کمک خروجی‌های لوله تخلیه	دمای پساب	در خط	در خط
		اکسیژن محلول	در خط	در خط
		محصولات خوردگی (مس، آهن، نیکل)	۲	۴
		باقیمانده گندزدا	۱	۲
	در صورت تخلیه به منابع آب زیرزمینی با رعایت ملاحظات سازمان حفاظت محیط زیست	دما	در خط	در خط
		اکسیژن محلول	در خط	در خط
		محصولات خوردگی	۲	۴
		باقیمانده گندزدا	۱	۲

ادامه جدول شماره ۵-۴: **عملیات پیشنهادی برای پایش در تاسیسات نمک زدایی**

بخشهای بنیادی	اقدامات کنترلی	شاخص بهره برداری	بسامد پایش	
			تاسیسات بزرگ	تاسیسات کوچک
۱۳. فاضلاب‌های پیش تصفیه و شستشوی ممبران‌ها	جمع آوری و تصفیه و یا تخلیه طبق معیارهای سازمان حفاظت محیط زیست	پی اچ	در خط	در خط
		کدورت	در خط	در خط
		مواد معلق	۱	۱
		باقیمانده گندزدا	۱	۱
		آهن و آلومینیوم	۲	۳
		ترکیب‌های شیمیایی مورد استفاده شستشوی ممبران‌ها	روی لوله تخلیه	روی لوله تخلیه

با توجه به علل آلودگی آب دریا که منشاء اصلی آن تاسیسات نمک‌زدایی است پایش آن ضرورت دارد. اما علل آلودگی‌ها عبارتند از:

- فاضلاب‌های شهری خام و یا نیمه تصفیه شده؛
- تخلیه فاضلاب‌های صنعتی؛
- تخلیه نفت در عملیات اکتشاف و بهره‌برداری از چاههای نفت؛
- تخلیه پساب‌های تاسیسات نمک‌زدایی؛
- تخلیه آلاینده‌ها توسط انواع شناورها؛
- تخلیه نیروگاه‌ها؛
- عملیات نظامی و تولید آلاینده‌ها؛
- رشد جلبک‌ها در نتیجه افزایش ازت و فسفر آب.

قبل از تهیه طرح پایش لازم است کیفیت آب خام، منابع تخلیه و نوع آلاینده و محل آبگیری تعیین گردد. طبعا هر نوع پایش لازم است دارای هدف بوده و یافته بتواند مورد تفسیر و تصمیمگیری و اجرا باشد. شاخص‌ای کلی و تی او سی برای تفسیر آلودگی به علت فاضلاب‌های شهری می تواند انتخاب گردد. به هر حال ویژگی‌های زیر در مورد پایش آب دریا مورد استفاده قرار می گیرد.

- کدورت؛
- پی اچ؛

- فلزات سنگین؛
- ترکیب‌های شیمیایی با حلالیت کم مانند کربنات کلسیم، سولفات کلسیم، فلورید کلسیم، سولفات باریوم، هیدروکسید منیزیم؛
- قلیاییت؛
- سیلیس؛
- سولفید هیدروژن؛
- بر و برومید؛
- آهن و منگنز؛
- کل جامدات محلول؛
- بیوسایدها و ترکیب های شیمیایی دیگری که به آب تخلیه می شود.

مقررات

برای تولید آب قابل شرب و طبق استاندارد ملی آب آشامیدنی به شماره ۱۰۵۳ لازم است قوانین و آیین نامه و یا قراردادهای مناسبی در این زمینه تهیه شود. به کمک قوانین و آیین نامه ها، تولیدکنندگان آب نمک زدایی شده در هنگام طراحی، نصب و بهره برداری می توانند نسبت به تولید آب مطابق با استانداردهای مدون اقدام نمایند. به علاوه به کمک همین آیین نامه ها و ضوابط کیفیت آب تولیدی مورد ارزیابی باید قرار گیرد. حدود کار قوانین عبارت است از:

- مدیریت تاسیسات آب شرب؛
- استانداردها و پیشنهادات در مورد کیفیت آب شرب؛
- مسئولیت تهیه کننده آب شرب در مورد بروز آلودگی و اطلاع رسانی؛
- مراقبت و نظارت بر آب شرب عموم شامل:
- شخصیت حقوقی، وظایف و مسئولیت های بخش نظارت؛
- توانایی قبول و انجام نظارت؛
- قدرت قانونی برای اجرای قانون و استاندارد و اقدامات اصلاحی.

در جدول شماره ۵-۵ خلاصه مشخصات ترکیبهای شیمیایی مورد استفاده در صنایع نمک‌زدایی ارائه شده است.

جدول شماره ۵-۵: انواع ترکیب‌های شیمیایی مورد استفاده در صنایع نمک زدایی

الف: در فرایندهای گرمایی نمک‌زدایی			
نوع ترکیب	هدف از کاربرد	میزان مصرف و محل تزریق	نوع صنعت
بازدارنده ترسیب مانند- فسفاتها، پلی فسفات، پلی مالیک، اسیدها و ترکیب آنها	بازدارنده تشکیل بلور رسوب مانند کربنات کلسیم	۱-۸ میلی گرم در لیتر با آب جبرانی	در تمام فرایندهای گرمایی
اسید، معمولا اسید سولفوریک	یک گزینه در جلوگیری از ترسیب کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم و برای کاهش پی اچ	حدود ۱۰۰ میلی گرم در لیتر با آب جبرانی	فقط در فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای
بازدارنده کف: مانند پلی پروپیلن و یا اکسید پلی اتیلن و یا انواع سورفکتنت‌ها[1]	مانع ایجاد کف در فرایند تولید آب می شود	حدود ۰/۱ میلی گرم در لیتر با اب جبرانی	معمولا به صورت دوره‌ای به کار می‌رود اما در فرایند تبخیر ناگهانی در درجه اول
ترکیب‌های اکسیدکننده- در بیشترین شرایط کلر، انواع بیوسایدهای دیگر در طرح‌های کوچکتر	برای جلوگیری از تشکیل بیوفیلم در تاسیسات آبگیری، انتقال و تاسیسات نمک زدایی با میزان مستمر ۲-۰/۵ میلی گرم در لیتر و گهگاه در حدود ۴ میلی گرم در لیتر در ۱۲۰-۳۰ دقیقه	حدود ۱ میلی گرم در لیتر به آب خنک کننده	در تاسیسات بزرگ آبگیری از دریا و آب‌های سطحی دیگر
بی‌سولفیت سدیم برای احیاء نمودن کلر	مصرف کننده اکسیژن برای زدایش بقایای اکسیژن و کلر	حدود ۰/۵ میلی گرم در لیتر با آب جبرانی	در تاسیسات تبخیر ناگهانی و بصورت متناوب
بازدارنده تشکیل جرم مانند پلی الکترولیت و مخلوط پلیمرها	افزایش درجه حلالیت نمک‌ها مانند کربنات کلسیم و منیزیم ترکیب دیگری هم برای نمک خاص مانند سیلیس. کاهش پی اچ برای جلوگیری از رسوب	۲-۵ میلی گرم در لیتر	در درجه اول برای آب‌های لب شور و اصلاح آب برای درصد بازیافت بسیار زیاد

1. Surfactant

ادامه جدول شماره ۵-۵: انواع ترکیب‌های شیمیایی مورد استفاده در صنایع نمک‌زدایی

ب: در فرایندهای ممبرانی نمک‌زدایی			
نوع ترکیب	هدف از کاربرد	میزان مصرف و محل تزریق	نوع صنعت
اسیدها و معمولا اسید سولفوریک و یا اسید کلریدریک	برای کاهش پی اچ برای ممانعت از تشکیل رسوب و بهبود فرایند انعقاد	حدود ۴۰-۵۰ میلی گرم در لیتر تا کاهش پی اچ به حدود ۶-۷	در درجه اول برای اسمزمعکوس استفاده از آب دریا- گرچه در همه شرایط بکار نمی‌رود.
منعقدکننده- کلرید و یا سولفات فریک	بهبود زدایش مواد معلق	حدود ۵-۱۵ میلی گرم در لیتر	معمولا در صورتی که آبگیری سطحی باشد.
کمک منعقدکننده و معمولا نوع کاتیونیک	بهبود عملیات زدایش مواد معلق	حدود ۱-۵ میلی گرم در لیتر	معمولا برای شرایط آبگیری سطحی
ترکیب های اکسیدکننده- در بیشترین شرایط کلر و یا انواع بیوسایدهای دیگر در طرح‌های کوچکتر	برای جلوگیری از تشکیل بیوفیلم در تاسیسات آبگیری، انتقال و تاسیسات نمک‌زدایی	بسته به شرایط محلی ولی معمولا حدود ۰/۵ میلی گرم در لیتر و گهگاه در حدود ۴ میلی گرم در لیتر برای مدت ۳۰-۱۲۰ دقیقه و در مدت ۱-۵ روز	در تمام تاسیسات اسمز معکوس با ممبران‌های پلی آمید- ممبران‌های استات سلولز مقاومتی در مقابل کلر دارند.
محافظت ممبران و سترون نمودن ممبران	برای ممبرانی که از خط تولید خارج می شود سترون نمودن آن ضرورت دارد. پرکسید هیدروژن و در شرایطی اسید استیک و محافظت توسط بی‌سولفیت سدیم		
اسید و معمولا سیتریک، فسفریک و یا اسید کلریدریک	پاک کردن جرم و رسوبات بیوفیلم از روی ممبران‌ها	با توجه به شرایط و دستورالعمل سازنده	برای ممبران‌های میکروفیلتر و اولترافیلترها
هیپوکلریت سدیم	برای تمیز کردن بیوفیلم روی ممبران‌ها	با توجه به شرایط و دستورالعمل سازنده	برای ممبران‌های میکروفیلتر و اولترافیلترها
فسفاتها- تری پلی فسفات و یا ترکیب مشابه	نظافت ممبران	با توجه به شرایط و دستورالعمل سازنده	نظافت دوره‌ای ممبران‌های میکرو و اولترافیلتر
ای دی تی آ[1]	نظافت ممبران	با توجه به شرایط و دستورالعمل سازنده	نظافت دوره‌ای ممبران‌های میکرو و اولترافیلتر
ترکیب های خاص تجارتی	با توصیه سازنده ترکیب و تایید سازنده ممبران و تجارب متصدی	با توجه به شرایط و دستورالعمل سازنده	نظافت دوره‌ای ممبران‌های میکرو و اولترافیلتر

1. Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid (EDTA)

نتیجه گیری

در پایان این فصل و به طور اجمالی باید توجه داشت که در انتخاب ترکیبهای شیمیایی مورد نیاز در فرایندهای پیش تصفیه، نمک زدایی و تصفیه نهایی تنها معیار انتخاب، توجیه اقتصادی نیست، بلکه آثار حضور میزان های کم آن در آب تولیدی از نظر بهداشتی و آثار کوتاه مدت و درازمدت آن در اکوسیستم آب دریا و یا هر محیط تخلیه دیگر باید ارزیابی شود و با شاخص‌های مناسب، تغییرات تحت پایش و مراقبت قرار گیرد. همکاری متخصصان محیط زیست بویژه متخصصان اکوسیستم ها مورد نیاز است و باید توجه داشت که تمام روش های نمک زدایی آب دریا دارای اثرهای مخرب محیط زیستی مانند گرمایش زمین و آلودگی هوا و آب هستند و باید در راه کاهش و کنترل آنها برنامه‌ریزی شود. در تمام انواع صنایع نمک زدایی آب نیاز به انرژی حرارتی و الکتریکی است و تولید و مصرف آنها همراه است با تولید آلاینده هایی که یکی از نتایج آن گرمایش کره زمین و پیامدهای نامطلوب آن است. البته وجود انرژی حرارتی درخور ملاحظه و بی‌پایان انوار حیات بخش خورشید که صنعت استفاده از آن راه زیادی از توسعه را پشت سر گذاشته است، از امیدهای آینده به شمار می آید.

در یک مطالعه موردی نشان داده شده است که با استفاده از انرژی خورشیدی برای نمک زدایی آب دریا با روش‌های تبخیر ناگهانی، تقطیر چندمرحله‌ای و اسمز معکوس اثرهای مخرب محیط زیستی مانند اثرهای گلخانه ای، تولید ذرات معلق آلاینده هوا، تولید باران های اسیدی و بسیاری دیگر در حد زیادی کاهش پیدا می کند.

اگر اثرهای منفی آنها به صورت مقایسه ای بیان شود، بدترین صنعت، تبخیر ناگهانی و بهترین صنعت، اسمز معکوس خواهد بود. به طور کلی مطالعات نشان داده است که استفاده از تاسیسات تمرکز و ذخیره انرژی خورشیدی و تولید آب و برق برای انواع روش‌های نمک‌زدایی دارای توجیه اقتصادی است و در مناطق با کمبود آب می توان طرح پایدار تامین آب را مورد بهره‌برداری قرار داد. از مشکلات اصلی این طرح‌ها همان‌طور که گفته شد مسئله دفع پساب آنهاست که علاوه بر غلظت بالای املاح، دربرگیرندهٔ انواع ترکیبهای شیمیایی مورد مصرف در تاسیسات است که مورد بحث قرار گرفت. با توجه به روند رو به افزایش نصب تاسیسات نمک‌زدایی از آب دریا در خلیج فارس مشکلات محیط زیستی خلیج فارس رو به افزایش است و لازم است برای کنترل و کاهش اثرهای تخریبی محیط زیستی این صنعت اقداماتی جمعی جهانی در

سطح منطقه انجام گیرد. اولین گام، توقف آرام استفاده از انرژی فسیلی برای تولید آب از طریق نمک‌زدایی است و لذا باید از انرژی‌های تجدید شونده و دوست‌دار محیط‌زیست بهره‌گیری کرد و منافع اقتصادی را در درازمدت مدنظر قرار داد.

استفاده از صنعت تمرکز انرژی خورشیدی در این راه باید در منطقه بسیار جدی گرفته شده و برای حفظ کیفیت آب خلیج فارس و دریای عمان و انجام طرح های تحقیقاتی، کشورهای منطقه، همکاریهای لازم را اولویت دهند.

تمام اثرهای مخرب محیط زیستی این طرح ها باید به وسیله کشورهای منطقه و به صورت یک مرکز هماهنگی مطالعات تحت نام مدیریت کیفیت آب خلیج فارس بررسی شود و نسبت به کاهش و کنترل آنها برنامه ریزی شود و به همین دلیل فصل نهم به نام استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی در مجلد در نظر گرفته شده است. در صورتی که مجموع و انواع ترکیب‌های شیمیایی بخصوص بیوسیدها که از طریق پساب تاسیسات نمک‌زدایی کشورهای حاشیه به خلیج‌فارس تخلیه می‌شود مورد ارزیابی قرار گیرد و با نگاهی دقیق به تغییرات تنوع زیستی و اکولوژی مشاهده خواهد شد که به‌هم خوردن اکوسیستم خلیج‌فارس و در نتیجه نابودی محیط‌زیست دریا بخصوص کف‌زیان، قابل تشخیص بوده و لازم است با توجه به قدرت خودپالایی مصوباتی تدوین گردد که تخلیه‌های پیشگفته با پتانسیل خودپالایی خلیج‌فارس هماهنگ گردد.

نباید فراموش نمود که آب‌های خلیج‌فارس به علت رفت و آمد نفتکش‌ها، شناورها و فعالیت‌های استخراج نفت و گاز هم در خطر دریافت آلاینده‌های نفتی است که مشکل تغییر اکوسیستم را بیشتر می‌نماید و با توجه به اهمیت اکولوژی محیط دریا در زمینه تجارت صیادی آبزیان که به شدت تحت‌تاثیر آلاینده‌های پیشگفته قرار دارد ضرورت توجه به تغییرات اکولوژی را دو چندان می‌نماید.

فصل ششم روند انجام مطالعات

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- حدود مطالعات
- منابع آب
- آبگیر و انتقال
- پیش تصفیه آب
- انتخاب فرایند نمک زدایی از آب
- انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی
- محدودیت های محیط زیستی برای انتخاب محل
- طراحی و انجام محاسبه‌های تاسیسات اسمز معکوس
- مدیریت پساب
- برآورد مقادیر
- آنالیز اقتصادی
- مراحل مطالعات

حدود مطالعات

برای بیان روند انجام مطالعات مربوط به یک طرح جامع نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب شور به منظور تأمین آب شرب عمومی از دیاگرام شماره ۶-۱ با نام "بخش‌های بنیادی یک پروژه تأمین آب شرب" یاری گرفته می‌شود.

همان‌طور که دیاگرام نشان می‌دهد اولین بخش مستقل پروژه، انجام مطالعات منابع آب و تعیین پتانسیل‌های موجود با توجه به معیارهای توسعه پایدار است. انجام مطالعات مربوط به جمعیت حوزه و نیازهای آن و ارزیابی نتایج احتمالی طرح‌های مدیریت و صرفه‌جویی در مصرف آب در این نوع طرح‌ها باید رعایت شود. استفاده از فاضلاب‌های جمع‌آوری و تصفیه شده با توجه به مطالب فصل دوم مانند جایگزینی آن به جای کاربرد آب متعارف نیز باید در این مطالعه در نظر گرفته شود. در صورتی که هنوز کمبود آب برای توسعه همه جانبه وجود دارد باید به دنبال منابع آب شور و لب شور رفت. انتخاب از میان دو منبع آب شور دریا و لب شور منابع داخل کشور علاوه بر توجهات اقتصادی، باید در هدف‌های برنامه‌ریزی کلان و یا طرح جامع آب کشور، مورد توجه قرار گیرد.

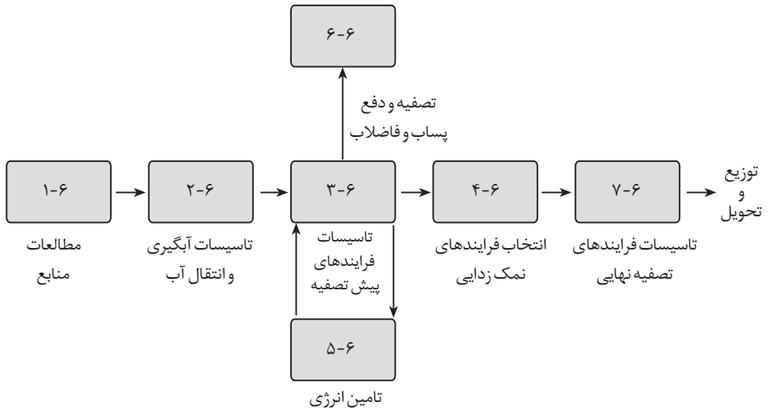
پس از انتخاب منابع مختلف آب و جمع‌آوری اطلاعات در مورد کیفیت آب، با توجه به جدول‌های شماره ۶-۱، ۶-۲ و ۶-۳ باید فرایند و صنعت مناسب نمک‌زدایی را انتخاب کرد. توجه شود که هزینه‌های بخش‌های بنیادی شماره ۲، ۵ و ۶ (دیاگرام شماره ۶-۱)روی این تصمیمگیری دخالت دارد. فرایندهای لازم برای عملیات پیش تصفیه آب نه فقط بستگی به کیفیت آب خام دارد، بلکه نوع تأسیسات آبگیری نیز در انتخاب فرآیندها اثر می‌گذارد، لذا آبگیری مستقیم و غیرمستقیم بررسی می‌شود. از طرف دیگر هر فرایندی از نمک زدایی، آبی با شرایط خاص نیاز دارد. لذا فرایندهای پیش تصفیه تحت تأثیر این نیازمندی‌ها نیز قرار دارد و بالاخره کیفیت آب تولیدی فرایندهای مختلف نمک‌زدایی یکسان نیست و لذا فرایندهای تصفیه نهایی آب تولیدی هم یکسان نخواهد بود. حتی کیفیت و کمیت پساب فرایندها نیز متفاوت است و لذا دفع آنها از نظر مقررات محیط زیستی و هزینه‌های مربوط یکسان نخواهد بود و در مواردی نقش اصلی را در انتخاب منبع آب دارد.

انجام مطالعات بخش‌های بنیادی دیاگرام شماره ۶-۱ نیاز به خدمات تخصص‌های مختلف دارد که در عین حال باید به صورت گروهی همکاری کنند.

در این فصل روند انجام مطالعات و کلیات موضوع، آن‌هم به صورت چکیده مطرح می‌شود، چنانکه در مورد انواع آبگیرها تنها به معرفی آنها بسنده می‌شود و یا در مورد فرایندهای نمک‌زدایی با ارائه چند نمونه انجام محاسبه‌های لازم به معرفی جدول شماره ۶ -۱ قناعت می‌شود، زیرا در فصل چهارم مطالب مورد گفتگو قرار گرفته است.

در مورد فرآیندهای مورد استفاده برای پیش تصفیه آب تنها به ذکر آنها پرداخته می‌شود زیرا تصفیه آب خود مقوله تخصصی دیگری است و کارشناس مربوطه باید از مراجع معتبر دیگر برای طراحی استفاده نماید. هدف از بیان مطالب این فصل معرفی روند انجام مطالعات و کلیات نحوه انجام آنها است.

دیاگرام شماره ۶-۱:
بخش‌های بنیادی یک پروژه تأمین آب شرب به کمک صنایع نمک زدایی و ارتباطات مطالعاتی آنها



منابع آب

اولین گام برای انجام مطالعات و انتخاب منبع و یا منابع آب مورد نیاز طرح، تعریف کامل محدوده طرح و حدود مطالعات و هدف‌های آن است. بخش‌های اساسی این مطالعه عبارتند از:

تعیین محدوده طرح و حوزه‌های آبگیر آن و انجام مطالعه در زمینه هیدرولوژی، زمین شناسی، هیدروژئولژی، توپوگرافی، اکولوژی و دموگرافی حوزه است و بدین ترتیب منابع آب در حال بهره‌برداری و منابع آب بالقوه و نیازهای بخش‌های مختلف در زمان حال و آینده حوزه باید تعریف شود.

در این نوع طرح‌ها منابع آب شور و لب شور، حتی زهکش های کشاورزی حوزه نیز باید از نظر کمی و کیفی مورد مطالعه قرار گیرند و طرح‌های توسعه هر یک از منابع به طور مستقل تهیه شود. حاصل این مرحله از مطالعات باید نیازهای بخش جمعیتی، بخش صنعتی و بخش کشاورزی و محیط زیستی را تعریف کند و گزینه‌های توسعه منابع آب برای نیازهای فوق با توجه به معیارهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و محیط زیستی در چارچوب طرح جامع آب، با عنایت به مطالب فصل اول، تدوین شود.

برای روشنتر شدن هدفهای طرح، ابهامات زیر پس از مطالعه و تهیه گزارش باید برطرف شود. آیا برای صرفه‌جویی در مصرف آب طرح‌هایی تهیه شده و یا در دست تهیه است و نتایج احتمالی آن چیست و تا چه میزان روی کاهش کمبودها و یا ظرفیت‌های جدید اثر می‌گذارد. توجه شود که برای صرفه‌جویی و کاهش مصرف آب راهکارهایی وجود دارد که در نقاط دیگر جهان دستاوردهای درخور ملاحظه‌ای داشته است. مهمترین این راهکارها عبارتنداز: آموزش مصرف‌کنندگان حقیقی و حقوقی آب و تشویق آن‌ها برای کاربرد ابزار کنترل مصرف به خصوص در بخش کشاورزی که بیشترین مصرف کننده است؛

- حذف یارانه‌های مربوط به تأمین، تصفیه و انتقال و توزیع آب و تدوین تعرفه‌هایی که مصرف‌کنندگان را تشویق به صرفه‌جویی کند؛
- تغییر تخصیص‌های مصرف آب و استفاده از پساب تصفیه شده در بخش‌هایی از کشاورزی طبق معیارهای آمده در فصل دوم؛

تعریف هدف از توسعه یک منبع آب شور و یا لب شور که آیا برای مصرف‌های شرب و یا مصرف‌های شرب و بهداشتی تهیه می‌شود و در صورتی که برای مصرف‌های شرب است نحوه توزیع آن چگونه است. براورد هزینه تمام شده آب، در حد شناخت، از منابع آب متعارف، شامل توسعه، انتقال و تصفیه و مقایسه آن با استفاده از صنعت نمک زدایی و استفاده از منابع آب دریا و آب لب شور داخلی در صورت وجود.

در بخش‌های مرکزی و جنوب کشور هزینه های توسعه منابع آب مانند آبخیزداری و سدسازی و انتقال آب از راه دور همراه با هزینه‌های تصفیه آب در حد تولید آب شرب به احتمال، کمتر از توسعه منابع آب لب شور و شور نخواهد بود.

در بسیاری از موارد هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای توسعه منابع آب متعارف بیشتر از

هزینه‌های سرمایه‌گذاری تولید آب شرب از منابع آب لب شور و شور است. لیکن هزینه‌های بهره‌برداری نمک‌زدایی به دلیل نیاز بیشتر به انرژی و ترکیبهای شیمیایی، زیادتر است. حال اگر طرح‌های تولید توامان برق و آب در نظر گرفته شوند و به صورت ترکیبی انجام گیرند، این اختلاف چندان چشمگیر نخواهد بود.

به هر حال بر اساس مباحث فصل اول کتاب، با افزایش جمعیت و نیازهای زندگی این جمعیت، هم آب بیشتری مورد نیاز است و هم میزان فاضلاب‌های تولیدی افزایش می‌یابد که منابع آب را به آلودگی تهدید می‌کند.

از طرف دیگر با توجه به تغییرات آب و هوایی کره زمین و تغییر کاربری اراضی، احتمال کاهش بارشها و تغییر تغذیه منابع آب را نباید نادیده گرفت لذا معادله‌های عرضه و تقاضای آب و قیمت آن دستخوش تغییرات زیادی شده و استفاده از صنایع نمک‌زدایی امکان حفظ تعادل منطقی بین عرضه و تقاضای آب را فراهم می‌کند.

این روند در طی ۴۰ سال گذشته در نقطه‌هایی از جهان تجربه شده و آب مورد نیاز اجتماعات، صنایع و حتی کشاورزی از این طریق تأمین شده است و با روند رو به توسعه این صنعت هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری آن هم رو به کاهش خواهد گذاشت به طوری که بسیاری از جوامع که از کمبود آب در رنجند می‌توانند این مانع توسعه را از سر راه بردارند.

از مبانی تصمیمگیری در راه توسعه صنایع نمک‌زدایی توجهات اقتصادی، سیاسی و محیط زیستی است. از نظر معیارهای محیط زیستی باید توجه داشت که توسعه منابع آب متعارف مانند سد سازی دارای اثرهای نامطلوب محیط زیستی بی‌شماری است.

از نظر سیاسی نیز باید توجه کرد که استفاده از منابع آب شور خلیج فارس و دریای مازندران و عمان که محدودیتی از نظر کمی برای آن نمی‌توان قائل شد در راه توسعه همه جانبه مناطق با محدودیت منابع آب می‌تواند مفید ومؤثر قرار گیرد. اما احتمال خطر بزرگنمایی نیز وجود دارد زیرا روند مصرف‌های آب در گذشته نمی‌تواند به سادگی مورد استفاده برای پیشبینی نیازهای آینده قرار گیرد زیرا با اجرای طرح‌های مدیریت مصرف رفتار مصرف‌کنندگان نسبت به مصرف آب تغییر خواهد کرد، چنان که در نقاط دیگر جهان این تغییر رخ داده است که در فصل اول به اشاره گفته شد. چنانکه حداقل سرانه آب خام ۲۰۰۰ مترمکعب در سال‌های گذشته برای توسعه همه‌جانبه به ارقام حدود ۱،۵۰۰ مترمکعب هم رسیده است.

حال با فرض این که مطالعات به این نتیجه رسیده است که باید از منابع آب شور و لب شور برای تولید آب شرب استفاده شود به دو گزینه می توان اندیشید:

- استفاده از منابع آب لب شور داخل کشور؛
- استفاده از منابع آب شور دریا؛

منابع آب لب شور داخل کشور

در صورتی که مطالعات به این نتیجه برسد که باید از منابع آب لب شور داخل کشور بهره گرفت به سه نکته اساسی باید توجه داشت:

الف: این منابع هم تحت تأثیر تغییرات هیدرولوژیکی است و باید مانند منابع آب تجدیدشونده مورد مطالعه قرار گیرد و از میزان آورد سالانه آن بیشتر آبگیری نکرد.

ب: اگر از میزان مجاز بیشتر آبگیری شود هم کیفیت آب از نظر غلظت املاح دچار تغییرات نامطلوب خواهد شد و هم خطر نشست لایه‌های زمین حوزه ممکن است رخ دهد.

ج: و در این صورت طرح را نمی توان در کلاس طرح‌های توسعه پایدار جای داد.

لذا انجام مطالعات مفصل هیدرولوژی و هیدروژلولوژی و ژئوشیمیایی لازم است تا خصوصیات آب تعریف شود. چنانکه خصوصیات شکاف های لایه های زمین آب شوردار از نظر عمق، جهت و ابعاد آن همراه با ظرفیت ذخیره و ظرفیت آبدهی و خصوصیات دیگر باید تعریف شود تا بتوان طرح ایجاد چاه‌های لازم را تدوین کرد. به علاوه اثرهای تخریب محیط زیستی آن نیز باید مورد توجه قرار گیرد. مسئله اساسی این نوع طرح‌ها مشکلات دفع پساب‌های حاصل از نمک‌زدایی است که حدود ۱۵-۳۰ درصد آب تولیدی است. در مواردی هزینه‌های دفع نهایی آن، با توجه به معیارهای محیط زیست، باعث افزایش قیمت تمام شده آب تولیدی می شود.

دفع پساب‌های تأسیسات نمک‌زدایی در پایان این فصل به اختصار و در فصل پنجم هم به تفصیل مورد گفتگو قرار گرفته است.

منابع آب دریا

در صورتی که مطالعات به این نتیجه برسد که باید از آب خلیج فارس، یا دریای عمان و یا دریای مازندران استفاده شود، باید به این نکته‌ها توجه شود:

- ایجاد تأسیسات دو گانه تولید توامان آب و برق به منظور کاهش هزینه تولید آب مورد مطالعه قرار گیرد؛
- ایجاد تأسیسات غیرمتمرکز و یا متمرکز نمک زدایی با توجه به برنامه توسعه محدوده تحت پوشش تامین آب نیز باید مورد مقایسه اقتصادی قرار گیرد؛
- چون احتمال بروز تغییرات در کیفیت آب دریا وجود دارد پیشبینی تأسیسات پیش تصفیه بیشتر آب خام ضرورت می یابد؛
- استفاده همزمان از دو فرایند نمک زدایی اسمز معکوس و تبخیری برای تولید آب و مقابله با ریسک‌های آینده در طرح‌های با ظرفیت زیاد با توجه به رابطه بین تاسیسات تولید توامان برق و آب مورد توجه قرار گیرد؛

لذا اولین گام، انجام مطالعات مفصل توسعه منابع آب متعارف و آب‌های غیر متعارف مانند پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و آب‌های شور و لب شور و زهکش های منطقه است.

گزینه‌های ممکن باید تعریف شود و از نظر سیاسی، محیط زیستی و اقتصادی مورد مطالعه و مقایسه قرار گیرند. ادامه مطالعات تحت نام مطالعات مرحله اول و یا توجیهی مشروط بر نهایی شدن گزینه‌های استفاده از منابع آب و تعیین گزینه‌برتر است. طبیعی است که مقایسه اقتصادی تنها جنبه مقایسه نسبی دارد و لذا قیمت‌های به دست آمده فقط برای مقایسه است.

در مواردی ممکن است موضوع مطالعه و شرح خدمات قرارداد شامل مطالعات منابع آب و تعریف گزینه برتر نشود و به مشاور استفاده از منبع آبی دیکته شود که در این صورت این بخش از مطالعه توسط سازمان‌های دولتی و یا بخش خصوصی قبلا انجام گرفته است.

آبگیر و انتقال

آبگیرها تأسیسات سازه مکانیکی هستند که در کنار و یا داخل منبع آب خام ساخته و نصب می‌شوند تا آب مورد نیاز را به لوله انتقال و در نهایت به حوضچه مکش آب پمپ‌های کم فشار و تأسیسات پیش تصفیه برسانند. منشاء آب می تواند دریا، دریاچه، رودخانه و یا منبع آب زیرزمینی باشد و لذا نوع آبگیر بستگی به نوع منبع آب خام دارد. ظرفیت آبگیر و یا میزان آبگیری نیز بر انتخاب نوع آبگیر دخالت مستقیم دارد. در ظرفیت‌های زیاد، تأسیسات مفصل و پیچیده است و در ظرفیت‌های کم گاه تنها یک چاه دهان گشاد و کم عمق است.

تأسیسات آبگیر همیشه در خطر آب شستگی، رسوبگیری، تغییرات رقوم سطح آب، طوفان، اثرهای مخرب امواج دریا، نیروی ارشمیدس، آلودگی آب و غیره است و لذا در انتخاب محل و طرح سازه و هیدرولیک و مکانیک آن نیاز به همکاری چندین متخصص است. ابتدا کلیات طرح آبگیر به شرح زیر مطرح می‌شود.

- حفاظت آبگیر از اثرهای مخرب امواج آب، شناورها، فرسایش و رسوب و ورود ماسه به داخل تأسیسات؛
- پیشبینی تأسیسات لازم برای جلوگیری از ورود آبزیان درشت و ریز به داخل واحدهای انتقال و تصفیه؛
- پیشبینی تجهیزات آبگیری از عمق‌های مختلف و تزریق گندزدا در صورت ضرورت برای جلوگیری از رشد آبزیان در روی سطح داخلی لوله انتقال آب به حوضچه پمپ‌ها و یا تجهیزات پیش تصفیه؛
- سهولت دسترسی به سایت آبگیر برای تعمیرات و انتقال نیرو؛
- توجه به اثرهای نامطلوب محیط‌زیستی و طرح معماری آبگیر از نظر فرهنگی و زیبایی محیط؛

تدوین مبانی طراحی شامل ظرفیت، تأسیسات توری و غربال‌کردن آب خام، شیرهای کنترل آبگیری، لوله و یا لوله‌های انتقال آب خام، مصالح مورد استفاده و خورندگی آب دریا از مهمترین عنصرهای آبگیر است که برای هر کدام تدوین مبانی و شرح فرایندی لازم است تا طراحی انجام گیرد. در صورتی که تأسیسات نمک‌زدایی از نوع ممبرانی است، این تأسیسات باید نسبت به خورده شدن بسیار مقاومتر باشند زیرا ممبران‌ها نسبت به باقیمانده فرایند خوردگی حساسیت بیشتری دارند و احتمال گرفتگی فیزیکی ممبران‌ها افزایش می یابد.

آبگیری از دریا

پمپ‌های آبگیری از دریا که حجم زیادی آب را به تأسیسات نمک‌زدایی منتقل می‌کنند ممکن است موجب برخورد آبزیان درشت اندام مانند ماهی‌ها به توری‌ها و تأسیسات دیگر شود و یا موجودات ریزتر مانند تخم‌ماهی ها، کرم‌ها و مانند آن وارد تأسیسات نمک‌زدایی شوند. لذا کاهش سرعت آب و کاهش برخورد و عبور از توری‌های اولیه باید یکی از مبانی طراحی باشد. لذا پیشبینی یک پرده و یا توری مناسب در اطراف آبگیر مانند دیاگرام ۶ - ۲ توصیه می‌شود.

جاندارانی که به داخل تأسیسات پیش تصفیه می رسند یا به علت ترکیبهای شیمیایی از بین می روند و یا در روی فیلترها گرفتار شده و می‌میرند و یا در واحد هوازدایی خفه می‌شوند. لذا باید به مقررات موجود در این بخش از کار، مانند مقررات مربوط به آبگیری تأسیسات نیروگاه‌ها توجه کافی شود.

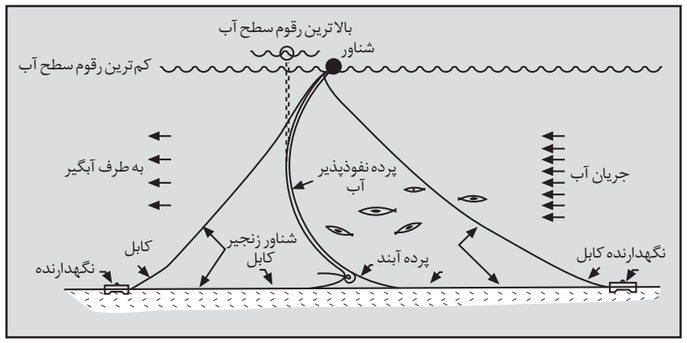
برای کاهش میزان ورود این موجودات ریز به داخل تأسیسات، در ایامی که مقدار آنها در آب بیشتر است، هم باید میزان آبگیری را کم کرد و هم رقوم آبگیری را تغییر داد. زیرا در لایه‌های پایینتر نسبت به سطح آب، میزان این جانداران کمتر است، البته در این صورت احتمال ورود ماسه به داخل تأسیسات افزایش می‌یابد. با ریزتر کردن روزنه‌های توری ها می توان میزان ورود این موجودات به تأسیسات را کاهش داد. امروزه از توری‌های گردان استفاده می‌شود که احتمال برخورد آبزیان را کمتر می‌کند و به طور پیوسته شستشو می‌شود.

در صورتی که تأسیسات نمک‌زدایی، آب مورد نیاز خود را از لوله و یا کانال تخلیه آب گرم نیروگاه‌ها بگیرد بسیاری از محدودیت‌های فوق از بین می‌رود و دارای امتیازات محیط زیستی فراوانی است و این غیر از امتیازات بهره‌برداری است. به طور کلی آبگیری از دریا برای تأسیسات نمک‌زدایی در دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

گروه اول آبگیری مستقیم و از رقوم بالای کف دریا و گروه دوم آبگیری غیرمستقیم و از رقوم زیر بستر دریا که در دیاگرام‌های شماره ۶-۳ تا ۶-۷ نشان داده است که ظرفیت آبگیری

دیاگرام شماره ۶-۲

پرده کاهش برخورد و ورود آبزیان به داخل تأسیسات



نقش اصلی در انتخاب نوع آن دارد. انتخاب هر یک از ۵ نوع آبگیر نیاز به مطالعات دریاشناسی و زمین‌شناسی و اقتصادی و اجرایی دارد که اولویت اول آبگیری غیر مستقیم و استفاده از گالری نشت، چاه فلمن و شبکه زهکشی زیر بستر دریاست. زیرا آبی با کیفیت مناسبتر برای تأسیسات نمک‌زدایی فراهم می‌کند و تأسیسات پیش تصفیه ساده تر و ارزانتر ضرورت می‌یابد.

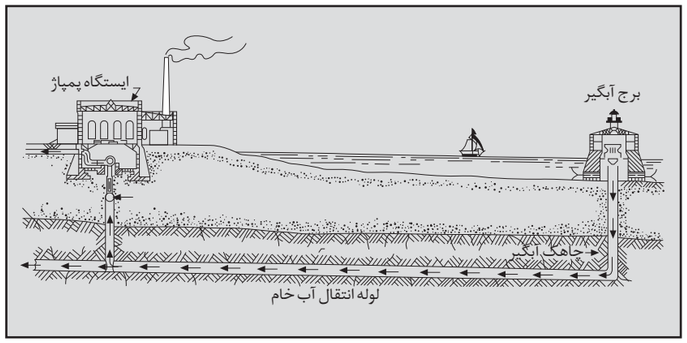
در مورد تأسیسات نمک‌زدایی حرارتی این ملاحظات دارای اهمیت زیادی نیست، مگر ورود ماسه و وجود گازهای دی اکسید کربن و اکسیژن. لذا پس از مطالعات منابع آب، مطالعات بنیادی بخش دوم یعنی آبگیر و انتقال آب خام باید مورد توجه قرار گیرد.

آبگیرهای مستقیم

در تاسیسات نمک‌زدایی گرمایی و ممبرانی با ظرفیت‌های زیاد و بیشتر از ۰/۵ متر مکعب در ثانیه، به طور کلی آبگیری مستقیم مورد استفاده است، زیرا روش‌های آبگیری غیر مستقیم معمولا میزان آب مورد نیاز را تأمین نمی‌کند. در دیاگرام شماره ۶- ۳ یک نوع آبگیری از دریاچه و دریا را نشان می‌دهد. برای جلوگیری از ورود آبزیان نصب نوعی توری مانند دیاگرام شماره ۶- ۲ توصیه می‌شود. توری‌های گردان مورب و انواع دیگر آن هم در تاسیسات آبگیری مستقیم به کار می‌رود. صنعت ساخت این نوع تاسیسات رشد زیادی کرده است. در آبگیری مستقیم از دریا تاسیسات جدا کردن ماسه از آب قبل از ورود آن به تاسیسات پیش تصفیه ضرورت دارد.

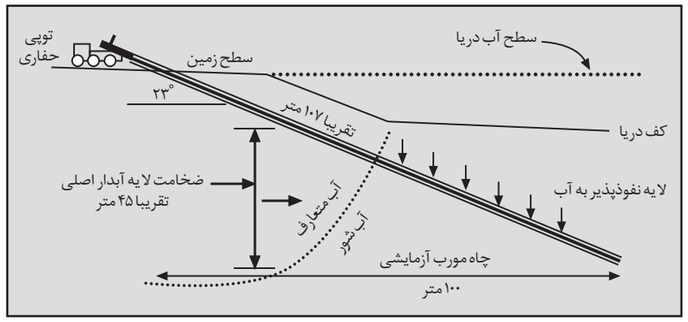
دیاگرام شماره ۶-۳

آبگیری از دریا برای ظرفیت های زیاد



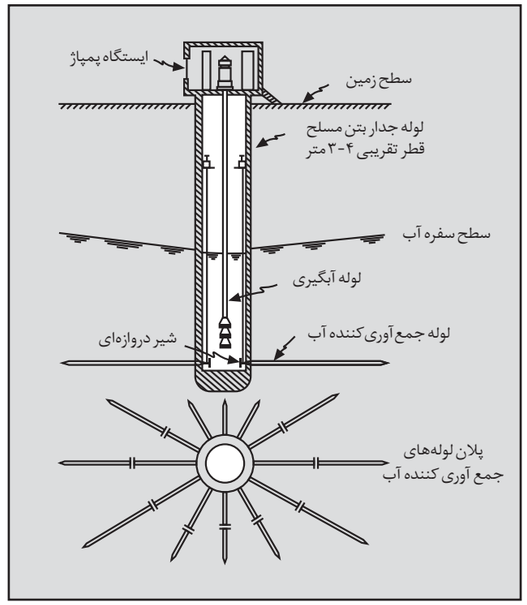
دیاگرام شماره ۶-۴

حفر چاه مورب آبگیری



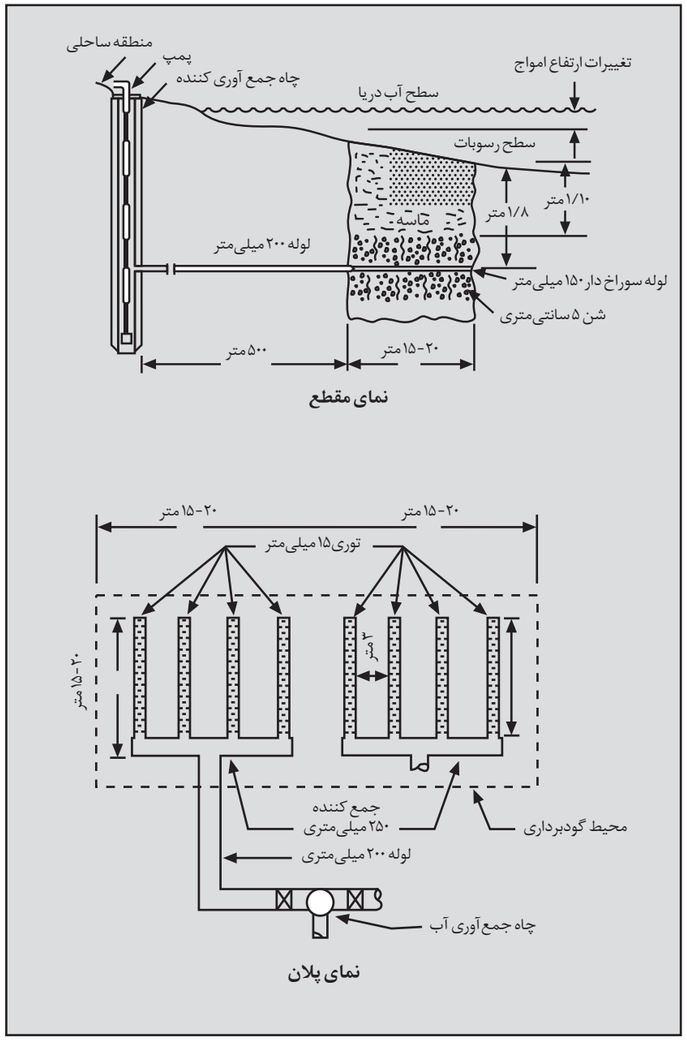
دیاگرام شماره ۶-۵

حفر چاه دمان گشاد شعاعی



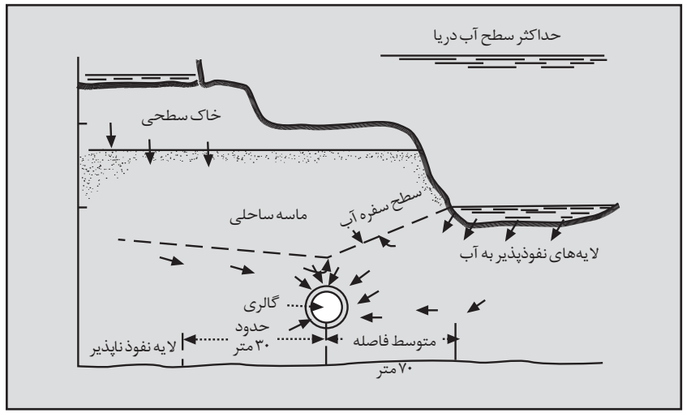
دیاگرام شماره ۶-۶

آبگیری از زیر بستر دریا با استفاده از فرایند فیلتراسیون (تمام ارقام جنبه تقریب دارد)



دیاگرام شماره ۶-۷

آبگیری به کمک نقب نشت از منبع آب با توجه به دانه‌بندی و نفوذپذیری لایه های زمین، شیب هیدرولیکی و عمق گالری نشت و طول نقب تعیین کننده میزان آبگیری است.



آبگیرهای غیرمستقیم

آبگیرهای غیر مستقیم شامل نقب نشت، چاه ساحلی و چاه فلمن، چاه افقی و شبکه نشت مانند دیاگرام‌های شماره ۶-۶ می‌شود که در همه آنها آب پس از عبور از یک فیلتر طبیعی و یا دست ساخت وارد تأسیسات آبگیر و انتقال می‌شود. این آب از نظر مواد معلق ممکن است آن قدر تمیز باشد که کاربرد فیلترهای پیش تصفیه را غیرضروری بنماید و در نتیجه تهیه، ساخت و بهره‌برداری تأسیسات پیش تصفیه آب را بسیار ارزانتر و ساده‌تر سازد. در شرایطی آبگیری از زیر بستر ساحل می‌تواند آبی با مجموع املاح محلول کمتری نسبت به آب دریا تأمین کند و در نتیجه هزینه‌های بهره‌برداری مانند مصرف انرژی را کاهش‌دهد.

از چاه‌های حفاری عمودی تا چاه فلمن می‌توان مقادیر کم و زیاد آب تهیه کرد و لذا مطالعات مفصل هیدروژئولوژی ساحل و دریا ضرورت دارد. در شرایط آبگیری غیرمستقیم نگرانی‌های محیط زیستی به حداقل می‌رسد و آبزیان دریا دچار صدمه نمی‌شوند. از معایب استفاده از چاه ساحلی این است که ممکن است دمای آب تولید شده پایینتر از آب دریا باشد و لذا به علت افزایش ویسکوزیته آب، مصرف انرژی در اسمزمعکوس افزایش می‌یابد، در حالیکه کاهش دما برای نمک‌زدایی حرارتی مطلوبتر است.

آبگیری از آب زیرزمین ساحل دریا باید با احتیاط انجام گیرد و باید مطمئن شد که به کیفیت آب متعارف زیرزمینی منطقه آسیبی نمی رساند.

استفاده از چاه مورب، دیاگرام شماره۶-۴، در طرح‌های بزرگ نمک‌زدایی باید مورد توجه قرار گیرد. گرچه هزینه اجرای آن بیشتر از ایجاد چاه ساحلی است اما در کشورهایی مانند اسپانیا و آمریکا مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته است.

در ژاپن گزینه استفاده از نقب نشت و یا فیلتراسیون بستر دریا و چاه مورب با موفقیت انجام گرفته است. برای استفاده از فیلتراسیون بستر دریا لازم است بخشی از دریا به کمک یک سد موقت خاکی از بدنه دریا جدا شده و پس از برداشتن ریزدانه بستر و قرار دادن مصالح درشت‌تر و با دانه‌بندی مناسب که در زیر آن لوله‌های مناسب و سوراخ دار قرار گرفته آب را به ساحل هدایت کرد. طبق دیاگرام شماره۶-۶ توجه شود که در لایه‌های رویی نزدیک به رقوم بستر و در تماس با آب باید از همان مصالح اولیه قرار داد.

ایجاد چاه دهان گشاد نشت در ساحل و تغییر بافت نفوذناپذیر و یا کم نفوذپذیر زمین بین چاه و دریا برای افزایش میزان نشت آب یکی از روش‌های آبگیری غیرمستقیم از دریا می‌باشد که در واقع گزینه‌ای از استفاده از نقب نشت است. این روش آبگیری از امتیازات زیادی برخوردار است و مسئله اساسی توجه به محل نصب لوله‌های آبگیری و ظرفیت حداکثر آب مورد نیاز و ارتفاع حداقل آب دریا روی لوله‌هاست گزینه‌های مختلف فوق باید مورد مطالعه و مقایسه فنی اقتصادی قرار گیرد و لذا مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک منطقه از پیش نیازهای انجام مطالعه است.

در مورد آبگیری از منابع آب شور زیرزمینی نیاز به حفر چاه عمیق و چاه دهان گشاد فلمن است که یک نمونه آن در دیاگرام شماره ۶-۵ نشان داده شده است.

پیش تصفیه آب

در فصل چهارم ملاحظه شد که آب خام مناسب فرایندهای مختلف نمک‌زدایی باید از نظر فیزیکی و شیمیایی دارای شرایط خاصی باشد. در غیر این صورت تولید آب با مشکلات زیادی روبه‌رو می‌شود لیکن برای شروع مطلب از دیدگاه این فصل، یادآوری می‌شود که نگرانی در مورد روش‌های نمک‌زدایی گرمایی، ایجاد رسوب ترکیبهای شیمیایی، بروز خوردگی ناشی از

گازها و سایش ناشی از ماسه ورودی به تاسیسات است و برای نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس، عبارت است از ترسیب شیمیایی، ترسیب فیزیکی، رشد بیوفیلم و تخریب ممبران. لذا در روند انجام مطالعات نمک زدایی لازم است فرایندهای پیش تصفیه لازم در رابطه با کیفیت آب خام استحصالی و کیفیت آب خام مناسب صنعت نمک زدایی انتخابی تعیین گردد و این مطالعه با نوعی آزمون و خطا هم همراه است.

در جدول شماره ۶- ۶ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب خام موردنیاز برای طراحی فرایندهای پیش تصفیه در سه ستون کاتیوتها، آنیونها و غیره ارائه شده است و درجدول‌های مختلف فصل چهارم نیز حدود کیفیت آب از جهات فوق ارائه گردیده است. حال با دانستن کیفیت آب خام حاصل از نحوه آبگیری و کیفیت مناسب آب برای فرایند نمک زدایی منتخب باید فرایندهای لازم پیش تصفیه به منظور زدایش مزاحم‌های نمک‌زدا کننده تدوین و طراحی گردد.

هر فرایندی خود دارای گزینه‌ها و عملکردهایی است که نیاز به توجه دارد. مهمترین فرایندهای لازم پیش تصفیه در دو دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول فرایندهای کاهش ذرات معلق که نام کلی آن تصفیه متعارف است که معیار اندازه گیری کدورت و شاخص سیلت است دسته دوم فرایندهای پیشرفته و یا تخصصی فرایندهای نمک زدایی است. که هدف جلوگیری از ترسیب ترکیبهای شیمیایی و رشد بیوفیلم در روی ممبران‌ها و جلوگیری از ترسیب شیمیایی و بروز خوردگی و سایش در تاسیسات گرمایی است. فرایندهای پیش تصفیه را صرف‌نظر از نوع نمک‌زدا به شرح زیر می‌توان بیان نمود:

۱. زدایش گازها به کمک روش‌های هوادهی[1]، هواشویی[2] و هوازدایی[3]؛

۲. زدایش آبزیان ریز و درشت به کمک انواع توری‌ها، کلرزنی و شناورسازی با هوا[4]؛

۳. حذف کدورت و جامدات معلق به کمک زلال‌سازی و فیلتراسیون؛

۴. حذف مواد آلی به کمک اکسید کننده‌ها و کربن فعال و تصفیه متعارف؛

۵. حذف میکروب‌ها به کمک گندزداها؛

1. Aeration
2. Air Scrubbing or air Stripping
3. Deaeration
4. Dissolved Air Floatation (DAF)

۶. حذف کلسیم و منیزیم و آهن با روش‌های سختیگیری؛

۷. جلوگیری از ترسیب کلسیم و منیزیم و عنصرهای دیگر توسط اصلاح پی اچ و یا افزودن بازدارنده‌های ترسیب؛

۸. حذف فلزات سنگین به کمک فرایندهای متعارف تصفیه آب و تله‌های مناسب.

لذا با توجه به نوع و غلظت آلاینده در آب خام و درصد حذف لازم و عملکرد متعارف فرایندهای فوق با توجه به معیارهای طراحی و با توجه به ظرفیت تولید آب و تعداد استریم‌ها و مدولها باید ابعاد، اندازه‌ها و حجم‌های واحدهای پیش تصفیه محاسبه و تعیین شود.

لازم به یادآوری است که باید به کمک آزمایشها و عملیات پیلوت به نتیجه کاربرد فرایند اطمینان حاصل یافت تا در مطالعات مرحله دوم نقشه‌های اجرایی آنها تهیه شده و به اجرا گذاشته شود. توجه شود که رفتار آبها در شرایط مختلف یکسان نیست حتی تغییر دمای آب روی عملکردهای فرایندها اثرهای مثبت و منفی دارد. در مورد بعضی از فرایندها به اختصار شرحی ارائه می‌شود.

هوازدایی

یکی از عملیات پیش تصفیه برای نمک زداهای تبخیری زدایش اکسیژن و دی اکسید کربن از آب خام است زیرا هر دو گاز در فرایند خوردگی سطوح فلزی تأسیسات نقش تسریع کننده دارند گرچه تخلیه کامل آب از اکسیژن و دی‌اکسید کربن نیاز به توجهات زیادتری دارد اما به اجمال ۳ روش در دسترس است.

- **هوازدایی آبشاری با حرارت**[1] این روش بیشتر برای تأمین آب بدون هوای دیگهای بخار با فشار کم کاربرد دارد.
- **هوازدایی با بخار گرم**[2] که در این روش از پخش آب و تزریق بخار آب استفاده شده و بخار همراه با دو گاز از سیستم تخلیه می‌شود.

1. Spray - type open heater
2. Deaerating heater
3. Vacuum Deaertion or cold water

- **هوازدایی سرد با خلاء**[1] در این روش با ایجاد خلاء در روی فضای بالای آب گازهای محلول در آب تخلیه می‌شوند. میزان اکسیژن باقی مانده حدود ۰/۱-۰/۲ میلی‌گرم در لیتر است، اما دی‌اکسید کربن تقریبا ۱۰۰ درصد تخلیه شده و باعث افزایش پی اچ آب می‌شود که خورندگی را از بین می‌برد.

هوادهی

در صورت استفاده از الکترودیالیز، آب خام باید عاری از سولفید هیدروژن باشد و آب خروجی از استوانه‌های فشار اسمز مکعوس هم دارای دی کسید کربن است و لذا باید هوادهی شوند. برج‌های هوادهی[2] با طرح مناسب قادر به حذف تا ۹۵ درصد سولفید هیدروژن است. تعداد ۸ روش در هوادهی وجود دارد که هر کدام برای شرایط خاص مناسب است و برای هر روش مبانی طراحی خاصی تدوین شده است. در اینجا نیز بدون عملیات پیلوت نباید تصمیم به اجرا گرفت. روش‌های هوادهی عبارتند از:

افشانه‌ای[3]، آبشاری[4]، برج هوادهی[5]، بشقابی[6]، مکانیکی[7] و تزریقی[8] و مدل های بین آنها، هر کدام برای حذف دی‌اکسید کربن و یا سولفیدهیدروژن و یا گازهای دیگر آلی با شرایط خاص مانند بار هیدرولیکی و زمان تماس و پی اچ آب عملکرد خاصی دارند . از مهمترین شاخص‌های لازم برای انتخاب، مصرف انرژی، فضای لازم و توپوگرافی محل است. عملکرد حذف گازهای فوق تحت تأثیر مبانی طراحی است و لذا عملیات پیلوت برای تصمیمگیری ضرورت دارد.

زلال‌سازی

منظور از زلال سازی ایجاد شرایطی است که ذرات معلق سنگینتر از آب به طرف کف حوضچه ته‌نشینی رسوب کنند. و درصورت ضرورت ذرات ریز کلوئیدی را باید به کمک ترکیبهای منعقدکننده درشتر کرد تا ته‌نشین شوند.

1. Vacuum Deaertion or cold water
2. Packed Tower
3. Spray Aerator
4. Cascade Aerator
5. Pack Tower
6. Multiple Tray
7. Mechanical Aerator
8. Diffused Aerator

زلال سازها تحت نام پولساتور، اکسیلاتور، کلاریفایر و غیره شناخته می‌شوند و هر کدام برای شرایط خاص با بهره‌برداری صحیح می‌توانند مؤثر واقع شوند. معیارهای طراحی عبارتند از بار سطحی، زمان ماند، روش جمع‌آوری و تخلیه لجن و تاسیسات مصرف برق آنها است. بار سطحی زلال سازها از حدود ۲ متر در ساعت تا حدود ۶ متر در ساعت متغیر است و امروزه با تغییراتی که در فرایند اختلاط و انعقاد داده شده است تا ۴۰ متر در ساعت هم می‌رسد.

در فرایندهای پیش تصفیه آب دریا و آب لب شور زیرزمینی به طور متعارف نیازی به زلال‌سازی نیست اما یکی از مزاحم‌های نمک‌زدایی ممبرانی مواد آلی است که اگر مجموع مواد آلی کربن دار[1] ملاک گفتگو قرار گیرد، زدایش آنها در فرایندهای تصفیه متعارف ۰- ۶۰ درصد، در اولترا فیلترها ۶۰ - ۹۰، در الکترودیالیزها ۲۰ - ۹۰، در اکسیداسیون ۶۰ -۱۰۰ و در جذب توسط کربن فعال ۲۰-۹۰ است. لذا هیچ کدام دارای عملکرد حذف ۱۰۰ درصد نیستند و تنها به کمک عملیات پیلوت می توان حدود حذف را تعریف کرد. توجه شود که باید برای حذف مواد آلی و تری هالومتان‌ها از فرایندهای پیش تصفیه بهره گرفت زیرا بار زیاد آنها به ممبران باعث بروز گرفتگی ممبران می شود.

دلیل مطرح کردن این بحث یاداوری این مطلب است که در اسمز معکوس حذف حشره‌کش‌ها که یکی از مصرفهای کاربرد آن است طیفی در حدود ۲۰-۱۰۰ درصد دارد، لذا باید سعی کرد مواد آلی محلول کمتری در آب خام نمک‌زدایی وجود داشته باشد و لذا در صورت وجود مواد آلی فرایندهای مفصل پیش تصفیه لازم دارد. مواد آلی همراه با باکتریها باعث رشد بیوفیلم روی ممبران ها خواهد شد و زدایش هر کدام و یا هر دو مورد توصیه است.

فیلتراسیون

در بیشتر شرایط برای پیش تصفیه آب‌های شور و لب شور می توان از زلال‌سازی اجتناب کرد، اما استفاده از فیلتراسیون ضروری است زیرا ضریب سیلت آب باید کمتر از ۲ باشد تا گرفتگی در ممبرانها ایجاد نشود. در حالی که ضریب سیلت آب خروجی از فیلترهای با بستر دانه‌ای با عملکرد عالی در حدود ۳ است.

1. Total Organic Carbon (TOC)

لذا انتخاب دانه‌بندی مصالح و حفظ بار هیدرولیکی کمتر از ۱۰ متر در ساعت، آن هم برای فیلترهای دو لایه از الزامات تولید آب مناسب اسمز معکوس است، به‌کار نبردن منعقدکننده قبل از فیلتر که در بعضی از تاسیسات اسمز معکوس مشاهده می‌شود باید با احتیاط کامل و پس از اثبات نتایج فیلتراسیون مورد اجرا قرار گیرد. زیرا ذرات کلوئیدی موجود در آب دریا به سادگی از بسترفیلتر عبور می‌کند، مگر آن که توسط منعقدکننده تبدیل به ذرات درشت شده باشد. ذرات کلوئیدی که دارای بار منفی هستند و اندازه آنها کمتر از ۱ میکرومتر است به سادگی در فیلترهای تند از آب زدایش نمی شوند و لازم است پس از دانستن بار الکتریکی این کلوئیدها پلیمر مناسب آن به کار برده شود. زیرا پلیمرها کاتیونی و آنیونی و خنثی در بازار وجود دارد. استفاده از میکروفیلترها باید مورد مطالعه قرار گیرد. چنانچه در طرح هایی ۳ فرایند مورد استفاده عبارتند از: میکرواسکرین، اولترافیلتر و اسمز معکوس.

جذب سطحی

برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها در روی ممبرانها و اسپیسرها باید آب، عاری از مواد غذایی باکتری‌ها باشد. لذا در مواردی استفاده از پودر کربن و یا گرانول کربن فعال برای زدایش مواد آلی ضرورت پیدا می کند.

عملکرد پودر کربن به مراتب بهتر و بی دردسرتر از گرانول آن است، اما شرایط خاصی را می‌طلبد: اگر گرانول کربن فعال واقع در صافی کربن به موقع احیا نشود خود مولد مواد آلی و باکتری‌ها می‌شود و برای ممبران مشکل آفرین خواهد شد.

اصلاح آب

در فرایند اسمز معکوس با افزایش میزان بازیافت، غلظت املاح کلسیم و کاتیونهای دیگر در پساب افزایش پیدا می‌کند و خطر ترسیب آنها وجود دارد که در فصل چهارم به تفصیل مورد گفتگو قرار گرفت. فرایندهای سختیگیری، افزایش اسید و کاهش پی اچ، کاهش درصد بازیافت، افزایش ترکیبات بازدارنده ترسیب، انواع گزینه‌های جلوگیری از ترسیب هستند که با آنالیز مفصل آب و مشورت با سازنده ممبران و آنالیزهای اقتصادی گزینه مطلوب تعیین می‌شود. استفاده از نرم‌افزارهای مناسب و با دانستن اطلاعات صحیح در مورد آب می توان گزینه مناسب

را تعیین کرد. به طور چکیده می توان گفت: چون جریان آب ورودی ممبران ها آرام است پدیده قطبی شدن و یا افزایش غلظت املاح آب به بیشتر از غلظت آن در پساب خروجی رخ می‌دهد و در محاسبات باید در نظر گرفته شود. احتمال افزایش ۱۰-۱۵ درصد محتمل است. هر چه فشار هیدرولیکی کمتر باشد، در حالی که میزان فلاکس کاهش می یابد اما نرخ عبور نمک تغییر نمی‌کند، لذا کیفیت آب تولیدی نامطلوبتر می‌شود. این پدیده باید در محاسبات در نظر گرفته شود.

با افزایش درصد بازیافت به دلیل افزایش غلظت املاح در پساب و در لایه قطبی شده میزان عبور نمک افزایش می‌یابد به علاوه افزایش نمک همراه است با افزایش فشار اسمزی و کاهش فشار خالص موثر و لذا باز هم فلاکس کاسته می‌شود.

کلرزنی

حذف میکروب‌ها و اکسیداسیون مواد آلی توسط کلر امکان دارد و در فصل چهارم مورد گفتگو قرار گرفته است. اکثر ممبرانها نسبت به کلر و اکسید کننده‌های دیگر حساسیت دارند و تخریب می‌شوند لذا خنثی کردن آنها در آب قبل از رسیدن به ممبرانها ضرورت دارد.

بعضی از ممبران ها میزان کم کلر را تحمل می‌کنند که باید با سازنده ممبران مشورت شود. در اینجا تذکر این نکته ضرورت دارد که با توجه به خطرات تولید تری هالومتانها، در صورتی که مواد آلی طبیعی آب زیاد است و با توجه به عملکرد ضعیف پیش تصفیه در حذف آنها، به منظور حذف بیشتر مواد آلی می توان از پرمنگنات به عنوان گندزدا و اکسید کننده قبل از تاسیسات اختلاط و تولید ذره استفاده کرد و ضرورت زلال سازی و فیلتراسیون مستقیم را نیز با وضعیت کدورت آب باید انتخاب کرد. و یا در طرح‌های با ظرفیت زیاد تولید آب می توان از تاسیسات تولید دی اکسید کلر در سایت و مصرف آن بهره گرفت.

بالاخره همان طور که اشاره شد در ادامه مطالعات نیاز به افزایش پلیمر منعقدکننده، اسید، بی‌سولفیت سدیم خنثی کننده / اکسیدکننده و غیره باید به کمک آنالیزهای دقیق و با نرم‌افزار درخور اعتماد تعیین شود.

پس از همه مراحل فوق، وقتی اطمینان حاصل شود که آب مناسب ممبرانها تولید شده است، باید در سر راه آن و قبل از پمپ فشار قوی، فیلتر کارتریج نصب شود. لذا کیفیت آب

خام، کیفیت آب خروجی از آبگیر و یا ورودی به اولین واحد پیش‌تصفیه، کیفیت آب مناسب ورودی به استوانه‌های فشار و دیاگرام‌های فرایندهای پیش تصفیه باید تعریف و تدوین شود.

حال با توجه به مراحل اجرایی، تعداد استریم‌ها و درصد بازیافت نمکزداها حجم آب خام محاسبه و تعیین شده و به کمک معیارهای طراحی، ابعاد، اندازه‌ها و احجام واحدهای فرایندی تعیین می‌شود. مرحله بعد استقرار و یا چیدمان واحدهای تصفیه باعنایت به توپوگرافی سایت انجام و سپس هیدرولیک تأسیسات و ارتباطات هیدرولیکی واحدها تعیین می‌شود.

پس از اتمام استقرار و هیدرولیک سیستم و در نتیجه تعیین تمام واحدهای هیدرولیکی، مقادیر کار اعم از سازه، مکانیک، برق و ابزار دقیق تأسیسات پیش تصفیه تعیین می‌شود و حال زمان نوشتن گزارش شرح فرایندها و مشخصات فنی دستگاه‌هاست.

انتخاب فرایند نمک‌زدایی از آب

کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی آب خام نقش اصلی در انتخاب فرایند نمک‌زدایی دارد. اما هزینه تامین انرژی و درجه اعتماد به منبع آب خام نیز نباید نادیده گرفته شود. با توجه به جدول شماره ۶-۱ که وضعیت استفاده از فرایندهاو ظرفیت تولید و کیفیت آب خام و آب تولیدی تا سال ۲۰۰۲ را نشان می‌دهد سخن این بخش آغاز می‌شود.

محصول فرایندهای گرمایی آبی با غلظت املاح محلول حدود ۰/۵-۲۵ میلی‌گرم در لیتر است و لذا می‌تواند برای رسیدن به کیفیت مطلوب با آب دیگری اختلاط یابد. در فرایندهای الکترودیالیزو الکترودیالیز ریورسال آب تولیدی دارای املاح محلول حدود ۲۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. البته با این روش می‌توان آبی با مجموع املاح بیشتر نیز تولید کرد. اما به دلیل اینکه با کاهش املاح محلول آب، مقاومت الکتریکی آن افزایش می‌یابد لذا طراحی الکترودیالیز طوری انجام می‌گیرد که آب تولیدی دارای حداکثر املاح مجاز دلخواه باشند تا نیازی به اختلاط نباشد. زیرا در غیر این صورت مراحل[1] دیگری ضرورت پیدا می‌کند و به طبع نیاز به مصرف الکتریسیته بیشتری خواهد بود.

اما در فرایند نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس از آب‌های لب شور، مجموع غلظت

1. Stages

املاح آب تولیدی حدود ۲۵-۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است که این حدود غلظت بستگی دارد به املاح محلول آب خام و نوع ممبران انتخابی دارد. ممبران‌های امروزی در شرایط عملکرد عالی ۹۹ درصد املاح آب خام را دفع[1] می‌کنند. لذا هرچه املاح آب خام بیشتر باشد، املاح در آب تولیدی هم بیشتر خواهد بود.

برای مثال، از آب دریا با غلظت املاح محلول ۳۵،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، با بازیافت ۵۰ درصد غلظت املاح محلول آب تولیدی در حدود ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. لذا با افزایش املاح آب دریا لازم است درصد بازیافت کاهش یابد تا آب تولیدی دارای همان حدود ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر باقی بماند.

با انتخاب فرایندهای مناسب پیش تصفیه و تصفیه نهایی، روش‌های نمک‌زدایی مانند اسمز معکوس، الکترودیالیز و نوع ریورسال آن در تصفیه پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، آب‌های اسیدی معادن و پساب صنعتی برای کاهش مجموع املاح محلول، مواد آلی، ترکیبهای سمی و اسیدی به کار رفته و آب‌هایی در حد آب شرب و آب‌هایی با کیفیت مورد نیاز صنایع تولید کرده است.

در فرایندهای تبخیری به تقریب، همه مواد معلق و محلول در پساب تاسیسات باقیمانده و تنها بعضی از ترکیبهای تصعیدشدنی و گازهایی مانند دی‌اکسید کربن در آب تولیدی وجود خواهد داشت.

همان‌طور که گفته شد در استفاده از فرایند الکترودیالیز آب خام دریا نیز آب مطلوب تولید می‌نماید و آب تولیدی از فرایندهای ممبرانی و تبخیری دارای املاح محلول کمتر از حداقل است و لذا نیاز به اختلاط دارد و اختلاط هم با آب خام پس از فرایندهای پیش‌تصفیه باید انجام گیرد. این اختلاط می‌تواند هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های بهره‌برداری را کاهش دهد که در فصل چهارم مورد بحث قرار گرفته است.

آب تولیدی نانوفیلترها نیازمند اختلاط نیستند و از بسیاری جهت‌ها تصفیه نهایی لازم ندارند زیرا آبی عاری از مواد آلی و از نظر شیمیایی هم آبی پایدار است.

1. Reject

◄ جدول شمارهٔ ۶–۱: چکیدهٔ راهنمای انتخاب فرایند نمک‌زدایی

منبع آبی و ویژگی‌ها												حداکثر ظرفیت توقیف واحد، مترمکعب در روز	کیفیت آب خام		کیفیت آب تولیدی		حداکثر غلظت توقیف واحد، مترمکعب در روز	کیفیت آب خام		کیفیت آب تولیدی	
زمان ماند هیدرولیکی	برق	تقریبی‌ترین استراتژی	ساعت	در آب خام	در آب تولیدی																
۱۲ – ۲	NA	NA	A	۹ – ۱۶	کمتر از ۰/۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA	A	A	۹ – کمتر از ۹/۹	کمتر از ۲	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA	A	A	۴۹۸ – ۶۲۲	۹ – ۱۹	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA	A	A	۹ – ۱۶	۲۵ – ۰/۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA		A	۹ – کمتر از ۹/۹	۲۵ – ۰/۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA		A	۴۹۸ – ۶۲۲	۲۵ – ۱/۷	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA		A	۹ – ۱۶	۲۵ – ۱/۷	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA		A	۹ – کمتر از ۹/۹	۲۵ – ۱/۷	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱۲ – ۲	NA		A	۴۹۸ – ۶۲۲	۲۵ – ۱/۷	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵	۱۰ – ۱۵
۱	NA		NA	۹ – ۱۶	<۵۰۰	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
۱	NA		NA	۹ – کمتر از ۹/۹	<۵۰۰	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
۱	NA		NA	۲۰ – کمتر از ۲۲/۵	<۵۰۰	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
۱	NA	A	A	۴۹۸ – ۶۲۲	۲۵ – ۰/۵	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
۱۰۶	A		A	۴۹۸ – ۶۲۲	۲۵ – ۰/۵	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
۱۰۶	A		NA	۹ – ۱۶	۲۵ – ۰/۵	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی

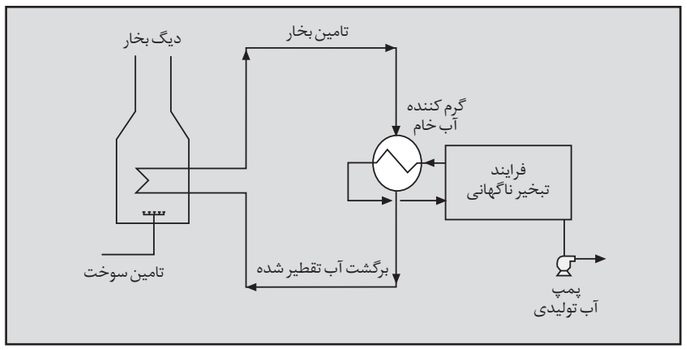
همه فرایندهای نمک‌زدایی آب، نیاز به مصرف انرژی دارند. و بیشتر فرایندهای تبخیری، انرژی حرارتی لازم دارند که در این فصل مورد گفتگو و توجه قرار خواهد گرفت. به هر حال بخش اصلی هزینه تمام شده آب تولیدی در نمک‌زدایی، مربوط به هزینه انرژی است. چنانکه برای انتخاب تقطیر و تبخیر ناگهانی، قیمت انرژی حرارتی حرف اصلی را می‌زند. دیاگرام شماره ۶-۸ تبخیر ناگهانی چندمرحله ای را نشان می دهد.

در صورت طرح و اجرای تاسیسات تولید توامان برق و آب در یک سایت، این تاسیسات به نام تاسیسات دو منظوره شناخته می‌شوند. دیاگرام شماره ۶-۹ چنین شرایطی را نشان می‌دهد که آبی ارزانتر تولید می‌کند. در تاسیسات دو منظوره یعنی تولید توامان آب و برق ارتباط بین عنصرهای تولید برق و آب در سه گزینه و به قرار زیر ممکن است.

- بخار پس از راه‌اندازی توربین متصل به ژنراتور و در مرحله تخلیه و دفع آن مورد استفاده تاسیسات تقطیری قرار می‌گیرد.
- بخار از خروجی توربین گازی گرفته می‌شود و در تاسیسات نمک زدایی تبخیری به‌کار می‌رود.
- حرارت بازیافتی در دیگ بخار، تولید بخار می‌کند که برای استفاده در نمک‌زدایی به‌کار می‌رود.

دیاگرام شماره ۶-۸

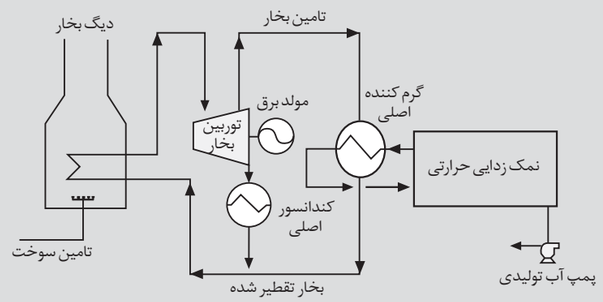
ترتیب نمک زدایی تبخیر ناگهانی تک منظوره



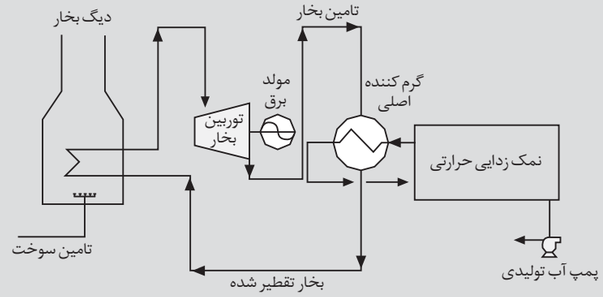
دیاگرام شماره ۶-۹

ترتیب تاسیسات با هدف دو منظوره تولید آب و برق - با روش‌های تقطیری

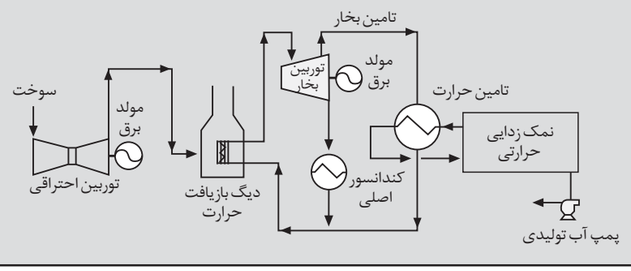
الف): دیاگرام گردش بخار تقطیر شده در دیگ بخار



ب): دیاگرام گردش بخار در واحد تبادل حرارت و تقطیر آن و هدایت به دیگ بخار



ج): دیاگرام تولید گردش بخار در نیروگاه سیکل ترکیبی



اقتصادی‌ترین گزینه فوق بستگی به شرایط محلی، هزینه سوخت، ظرفیت‌های تولید آب و برق و هزینه‌های تجهیزات دارد. لذا هر سه نوع ترکیب باید مورد مطالعه قرار گیرد تا بهترین آن‌ها تعیین شود.

طبیعی است که هزینه تامین بخار لازم در واحدهای گرمایی که از تاسیسات دو منظوره تامین می‌شود ارزانتر است زیرا این بخار قبلا برای تولید انرژی الکتریکی به‌کار می‌رفته است. در تاسیسات دو منظوره صرفه‌جویی در مصرف سوخت ۶۰ تا ۷۰ درصد نسبت به دو طرح مستقل تولید آب و برق است که بسیار درخور توجه است.

تولید آب از طریق تراکم بخار، انرژی کمتری نسبت به دو روش گرمایی دیگر نیاز دارد، بیشتر انرژی لازم در این فرایند، صرف تراکم بخار می‌شود. برای این منظور از موتورهای الکتریکی، توربین‌های گازی و با بهره گیری از بازیافت بخار توربین‌های برق و یا دیزل ژنراتور استفاده می‌شود. گرچه اندیشه چنین بود که تاسیسات اسمز معکوس و نانوفیلتر نمی‌توانند در ترکیب تاسیسات دو منظوره قرار گیرند اما طبق دیاگرام شماره ۶-۱۰ ترتیب قرار گرفتن تاسیسات ممبرانی در تاسیسات دو منظوره را می توان مشاهده کرد.

گرچه امکانات زیر را نباید نادیده گرفت:

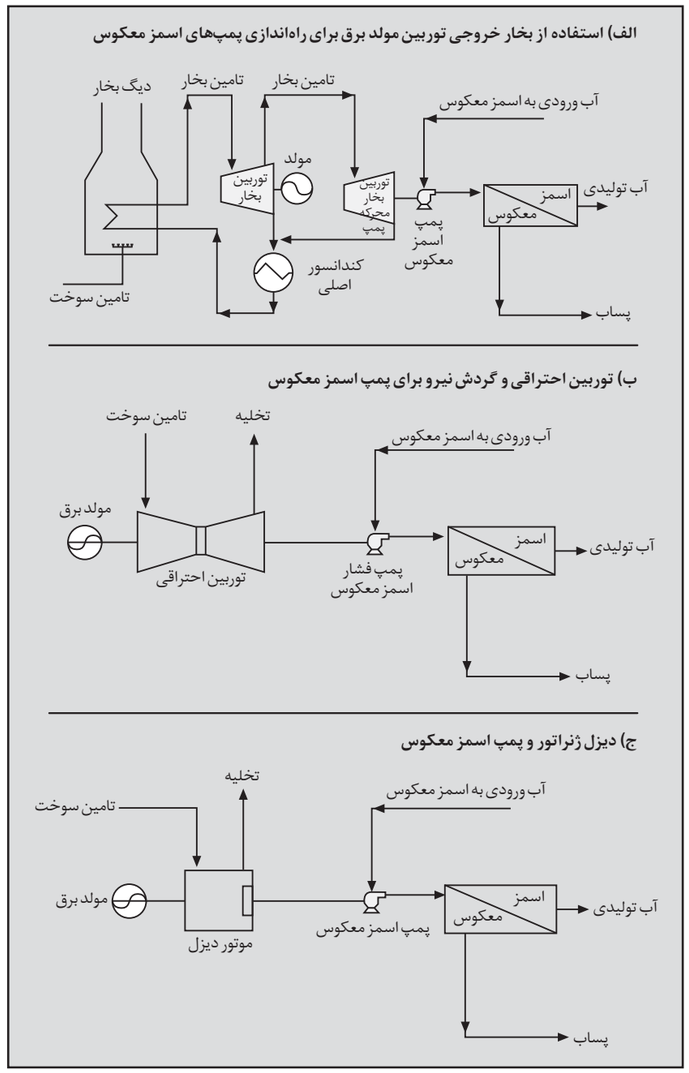
- بخار خروجی از توربین بخار گرداننده مولد برق می تواند، مورد استفاده توربین دومی قرار گیرد که پمپ فشار هیدرولیکی استوانه‌های فشار را به کار می‌اندازد.
- دیزل ژنراتور مولد برق می تواند موتور الکتریکی پمپ فشار اسمز معکوس را تغذیه کند.
- توربین گازی مولد الکتریسیته می تواند پمپ‌های پیشگفته را به کار اندازد. این ترتیبات در دیاگرام شماره ۶-۱۰ نشان داده شده است. گرچه این پیشنهادها برای نمک‌زدایی از آب‌های لب شور، اقتصادی نیست اما برای نمک‌زدایی آب دریا و یا آب‌های لب شور با غلظت بسیار بالای املاح باید مورد توجه قرار گیرد که می تواند هزینه تمام شده آب را کاهش دهد.

فشار بخار مورد نیاز برای راه اندازی توربین بخار و برای راه اندازی پمپ‌های اسمزمعکوس به مراتب بیشتر از فشار لازم برای فرایندهای گرمایی است. بدین معنی که بخار خروجی از تاسیسات تولید الکتریسیته هنوز دارای انرژی مورد استفاده است.

به علاوه صرف نظر از سیستم‌های دو منظوره فوق، قرار گرفتن نیروگاه و تاسیسات نمک‌زدایی به روش اسمزمعکوس در کنار هم و یا در کنار تاسیسات صنعتی مشابه دیگر از دو

دیاگرام شماره ۶-۱۰

ترتیب تولید دو منظوره آب و برق با روش ممبران



امتیاز مهم برخوردار است، اول استفاده از آب گرم پساب نیروگاه و دوم استفاده از امکانات مشترک دفع پساب ها. به علاوه چون هر دو از تاسیسات صنعتی به شمار می‌روند استقرار آن‌ها با محدودیت‌های کمتر محیط زیستی نیز رو به رو خواهد بود.

محدودیت های محیط زیستی برای انتخاب محل

پس از بررسی‌های اولیه محل‌های مختلف استقرار تاسیسات، عوامل زیر برای مقایسه اقتصادی انتخاب محل باید در نظر گرفته شوند.

- قیمت خرید و یا استملاک زمین؛
- نزدیکی به خطوط انتقال نیرو؛
- نزدیکی به محل و یا محل‌های مصرف آب و نزدیکی به راه‌های اصلی آسفالته و یا آهن؛
- هزینه‌های پیش‌تصفیه آب در رابطه با فشار آب و نمک‌زدایی در رابطه با کیفیت آب خام؛
- دفع نهایی پساب و فاضلاب تاسیسات.

لذا انتخاب محل استقرار تاسیسات نمک‌زدایی تنها تحت تاثیر محل تامین آب خام قرار ندارند بلکه عوامل فوق نیز باید مورد توجه قرار گیرند.

- **زمین لازم:** زمین لازم برای تاسیسات نمک‌زدایی بستگی به فرایند انتخابی، فرایندهای پیش‌تصفیه، کیفیت آب خام، تصفیه نهایی و تاسیسات پمپاژ آب تولیدی دارد. زمین لازم برای ظرفیت ۲۰،۰۰۰متر مکعب آب تولیدی در روز به شرح جدول شماره ۶-۳ برای آمریکای شمالی مورد نظر بوده است.

جدول شماره ۶-۳ : **زمین لازم برای تولید ۲۰،۰۰۰ متر مکعب در روز (به مترمربع*)**

فرایند	برای فرایند	برای تجهیزات کمکی	مجموع
اسمز معکوس: • آب دریا • آب لب شور	 ۱۸۰۰ ۱۲۰۰	 ۷۸۰۰ ۶۸۰۰	 ۹۶۰۰ ۸۰۰۰
الکترودیالیز	۱۵۰۰	۶۸۰۰	۸۳۰۰
تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	۴۸۰۰	۷۸۰۰	۱۲،۶۰۰
تقطیر چند مرحله‌ای	۶۰۰۰	۷۸۰۰	۱۳،۸۰۰

* با فرض معادل یک روز ذخیره آب در محل به علاوه تاسیسات پمپ و تاسیسات برقی مربوطه

در جدول شماره ۶-۴ لیست اطلاعات لازم برای انتخاب منبع آب خام و محل استقرار تاسیسات نمک‌زدایی ارائه شده است.

جدول شماره ۶-۴ : **لیست اطلاعات**

تاریخ: جمع‌آوری کننده اطلاعات محل هدف تاسیسات نمک‌زدایی موضوع	
کلیات: پروفیل متوسط دمای سالانه پروفیل متوسط رطوبت نسبی سالانه برق موجود فشار، مقدار و دمای بخار آب موجود کیفیت آب مورد نیاز شبکه توزیع	
فاصله تاسیسات از محل انتخابی: شبکه توزیع آب تامین نیروی الکتریسیته راه اصلی محل تامین آب خام محل تصفیه خانه فاضلاب محل تخلیه نهایی پساب نزدیک‌ترین منطقه مسکونی	
کیفیت آب: کیفیت آب منبع با توجه به ضرورت دفعات نمونه برداری و آزمایش نوع منبع آب : متعارف ـ لب شور ـ شور کیفیت آب محل دفع پساب شرایط آب در منشاء و در محل دفع نهایی ـ مانند رنگ ـ کدورت ـ شاخص سیلت دما و پی‌اچ آب منبع، پساب و آب دریافت کننده پساب	
مشخصات محل استقرار تاسیسات ـ از نظر توپوگرافی ـ فضای سبز ـ مسیل بودن وجود فضای لازم توپوگرافی محل شرح کلی محل امکانات استملاک	
قیمت‌های محلی نیروی انسانی محلی برای عملیات اجرایی مالیات‌ها و عوارض‌ها هزینه‌های بهره‌برداری هزینه‌های مواد شیمیایی	
سایر یافته‌های دارای اهمیت	

طراحی و انجام محاسبه‌های تاسیسات اسمز معکوس

در فصل چهارم ملاحظه شد که برای طراحی و داشتن عملکرد مطلوب تاسیسات باید به عوامل زیر توجه داشت:

- ترکیب شیمیایی و دمای آب و عوامل گرفتگی احتمالی؛
- ظرفیت تولید و درصد بازیافت.

و ملاحظه شد که درصد بازیافت هر المان در حدود ۸-۱۲ درصد است، به طوری که اگر ۴ المان به طور سری قرار گیرند درصد بازیافت در حدود ۴۰ درصد خواهد بود و اگر تعداد آن‌ها ۵، ۶ و ۷ باشد حداکثر بازیافت به ترتیب ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد در مرحله اول خواهد بود اما باید به کیفیت پساب تولیدی با توجه به درصد بازیافت نگاهی دقیق داشت تا فرایند ترسیب، المان‌ها را تخریب نکند و باز ملاحظه شد که در آب‌های با غلظت زیاد املاح، مانند آب دریا، برای اجتناب از ترسیب ترکیبهای شیمیایی، درصد بازیافت حدود ۳۵-۴۵ حفظ می شود در حالی که برای آب‌های لب شور این درصد به ۶۵-۸۵ می‌رسد و برای آب‌های معمولی با املاح محلول حدود ۵۰۰ گرم در مترمکعب می‌توان به بازیافت ۹۰ درصد رسید.

در جدول شماره ۶-۵ حداکثر درصد بازیافت ممکن در مرحله‌های اول و دوم و رابطه‌آن با تعداد المان‌ها در استوانه فشار نشان داده شده است. حال با توجه به رابطه بین المان‌ها و درصد بازیافت، دیاگرام شماره ۴-۱۵ مورد مطالعه قرار می‌گیرد و می‌توان مشاهده کرد که برای بازیافت کمتر از ۵۰ درصد یک مرحله نمک زدایی باید مورد استفاده قرار گیرد.

در انتخاب درصد بازیافت جدول شماره ۶-۵ فقط یک راهنماست و لازم است با داشتن اطلاعات کامل آنالیزهای شیمیایی آب خام به کمک محاسبه‌های شیمی کمی و با

جدول شماره ۶-۵: **فرایندهای نمک زدایی و درصد بازیافت**

فرایند	اسمز معکوس	اسمز معکوس	تبخیر ناگهانی	تقطیر چند مرحله‌ای
نوع آب	لب شور	شور - آب دریا	شور - آب دریا	شور - آب دریا
درصد بازیافت	۸۵-۶۰	۶۰-۳۰	۳۰	۲۰
ضریب تغلیظ املاح در پساب	۶/۷-۲/۵	۲/۵-۱/۴	کمتر از ۱/۴۰	کمتر از ۱/۲۵

استفاده از ضریب‌های انحلال[1] و غلظت یونی[2]، خطر ترسیب ترکیب‌های شیمیایی را برای بازیافت های مختلف محاسبه کرد. انجام این عملیات با آزمون و خطا همراه است و لذا استفاده از نرم افزارهای موجود در موسسه‌های معروف تولید ممبران توصیه می‌شود. به خصوص باید بررسی کرد که در چه پی اچی خطر رسوب شروع می شود و برای جلوگیری از آن چه میزان اسید لازم است و در صورت استفاده نکردن از اسید، استفاده از بازدارنده های تجارتی چه بار مالی برای طرح در بر خواهد داشت. برای مثال اگر سطح مفید هر المان مورد استفاده ۳۲ متر مربع و میزان فلاکس ۲۵ لیتر در متر مربع در ساعت و میزان آب تولیدی از دریا ۱۰۰۰ متر مکعب در روز باشد و ضریب بازیافت ۳۵ درصد فرض شود و در هر استوانه فشار ۶ المان نصب شود، می توان توجه کرد که:

مقدار آب خام ورودی به المان‌های فشار عبارت است از:

$$\frac{۱۰۰۰}{۰/۳۵} = ۲۸۵۷\ m^۳/d$$

۱. تعداد المان‌های لازم برای تولید ۱۰۰۰ متر مکعب در یک مرحله

$$\frac{۱۰۰۰}{۳۲ \times ۰/۰۲۵ \times ۲۴} = ۵۲$$

۲. با فرض ۶ المان در هر استوانه فشار، تعداد استوانه‌های فشار عبارت است از:

$$\frac{۵۲}{۶} = ۸/۶ \sim ۹$$

۳. میزان آب ورودی به هر استوانه فشار عبارت است از:

$$\frac{۲۸۵۷}{۹} = ۳۱۷ m^۳$$

۴. متوسط درصد بازیافت هر استوانه فشار عبارت است از:

$$\frac{۱۰۰۰}{۹ \times ۳۱۷} = ۰/۳۵$$

از نظر تئوری در صورتی که لازم باشد که درصد بازیافت بیشتر از ۳۵ تا ۴۰ درصد شود، آن وقت باید طبق دیاگرام شماره ۴-۱۶ و یا دیاگرام شماره ۴-۲۰ فصل چهارم عمل کرد. یعنی از قانون ترتیب پساب باید بهره گرفت و پساب استوانه‌های فشار مرحله اول را که هنوز دارای فشار هیدرولیکی بالایی است به استوانه‌های فشار مرحله دوم فرستاد و در این مرحله نیز حدود

1. Solubility Product
2. Ionic Strenth

۲۰-۲۵ درصد بازیافت به دست می آید و حال اگر لازم باشد کیفیت آب تولیدی را بهبود بخشید، باید از ترتیب آب تولیدی، طبق دیاگرام شماره ۴-۱۸ بهره گرفته شود. ولی با توجه به خطر ترسیب روی المان ها معمولا در فرایندهای نمک زدایی آب دریا تنها از یک مرحله با درصد بازیافت کمتر از ۵۰ درصد استفاده می شود. به هرحال در مرحله طراحی با توجه به کیفیت آب خام و درصد بازیافت درخور اعتماد و مشخصات عمومی ممبران ها، می توان تعداد المان ها، تعداد استوانه‌های فشار، تعداد آرایش[1] و میزان تولید آب را تعیین کرد. چون کیفیت آب خام نقش اساسی در تصمیمگیری در مورد درصد بازیافت دارد لذا ابتدا باید در مورد آب خام اطلاعات آمده در جدول شماره ۶-۶ را به دست آورد و با توجه به اصول نمونه برداری و قوانین مربوط به آمار و احتمالات برای تصمیمگیری مشخصه‌های کف و سقف را تعریف کرد.

جدول شماره ۶-۶: **اطلاعات کیفی لازم آب منبع مورد مطالعه**

کاتیون‌ها	آنیون‌ها	ویژگی‌های دیگر
کلسیم	کربنات‌ها	مجموع املاح محلول
منیزیم	بی‌کربنات‌ها	پی اچ
سدیم	سولفات‌ها	سیلیس
پتاسیم	کلرورها	شاخص سیلت
آمونیوم	فلور	قلیائیت
باریوم	فسفات کل	رنگ
استرانسیوم	ارتوفسفات	مجموع کربن آلی
منگنز	برم	هدایت الکتریکی
آلومینیوم	ید	کدورت
مس	-	دما
سرب	-	شمارش کلی باکتری‌ها
روی	-	قارچ‌ها و کپک ها
کروم	-	کلیفرم‌ها
-	-	باکتری‌ها مولد سولفات

1. Array

بر مبنای ارقام نشان داده شده در جدول که برای هر یک از منابع بالقوه آب باید تهیه شود فرایندهای پیش‌تصفیه و نمک‌زدایی به صورت گزینه‌ها تعریف شود و مورد مقایسه فنی-اقتصادی باید قرار گیرد. طبیعی است که فاصله منبع آب تا محل مصرف، امکانات دفع پساب و نکته‌های بسیاری که در ابتدای این فصل آمده است در این تصمیمگیری دخالت دارند.

در طراحی المان‌ها و تعداد آنها در استوانه های فشار و تعداد آرایش ها و مراحل آنها و موازی و یا سری بودن آنها باید توجه کرد که:

۱. میزان حداکثر و حداقل آب عبوری از روی المان باید به وسیله سازنده ممبران داده شود و در طراحی‌ها رعایت شود.

۲. در شرایطی که محاسبه‌های انجام شده یا رعایت درصد بازیافت، حداقل جریان را به خصوص روی المان‌های آخر نمی‌توان حفظ کرد، کاهش تعداد المان‌ها در هر استوانه فشار و یا گردش مجدد آب باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

۳. بر مبنای محاسبه‌های بازیافت هر المان و جمع آن در استوانه فشار، غلظت متوسط املاح در پساب باید محاسبه شود که از آن فشار اسمزی تعیین می‌شود.

۴. حال پس از تعیین افت فشار هیدرولیکی در عبور آب از هر استوانه حاوی المان ها، فشار موثر محاسبه شدنی است که در بخش‌های دیگر این فصل خواهد آمد.

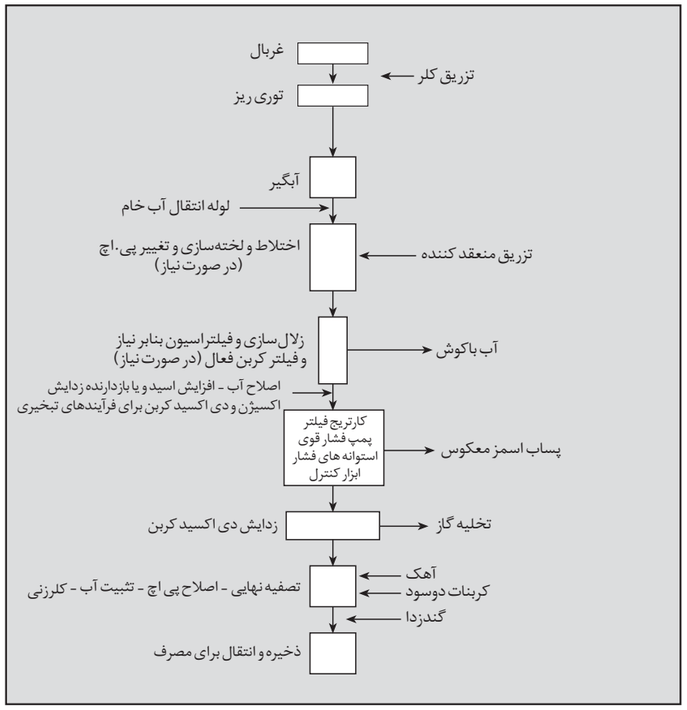
حال با دانستن کیفیت آب خام و انتخاب فرایند نمک‌زدایی و انتخاب فرایندهای تصفیه نهایی لازم است دیاگرام فرایندهای مورد نیاز طرح تهیه شود. و مرحله بعد تدوین معیارهای طراحی هر یک از فرایندها، با توجه به ظرفیت‌ها، ابعاد و حجم‌های تاسیسات فرایندها باید تعیین شود و بر مبنای آن مقادیر کار و ویژگی‌های فنی آن‌ها باید تهیه شود.

در بخش‌های بعدی این فصل دو نمونه محاسبه برای درصد بازیافت کمتر از ۵۰ درصد و بیشتر از ۵۰ درصد و یک نمونه نانوفیلتر ارائه می‌شود و از انجام محاسبه‌های عملیات پیش‌تصفیه وتصفیه نهایی اجتناب می‌شود زیرا دو بخش فوق در مراجع تصفیه متعارف آب آورده شده است.

دیاگرام شماره ۶-۱۱ به عنوان نمونه ارائه می‌شود که استفاده از هر یک از فرایندها بستگی به کیفیت آب خام با مقایسه با خصوصیات جدول شماره ۶-۶ بر مبنای اطلاعات مربوط به کیفیت آب دارد.

دیاگرام شماره ۶-۱۱

فرایندهای نمک‌زدایی از آب دریا با روش اسمز معکوس - آبگیری مستقیم از دریا



بر مبنای اطلاعات مربوط به کیفیت آب خام، جدول شماره ۶-۶ نوع ممبران انتخاب می‌شود و در این انتخاب مشورت با سازنده‌های ممبران‌ها ضرورت دارد. به هر حال ممبران باید دارای مشخصات زیر باشند:

- مقاومت مکانیکی در مقابل فشار هیدرولیکی آب که با توجه به فشار اسمزی محاسبه می‌شود و حداکثر مجاز آن را سازنده ممبران تعریف می‌کند.
- مقاومت در شرایط حداکثر دمای آب خام، لذا این حداکثر باید تعیین شود و به اطلاع سازنده ممبران برسد.
- مقاومت در مقابل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب خام.

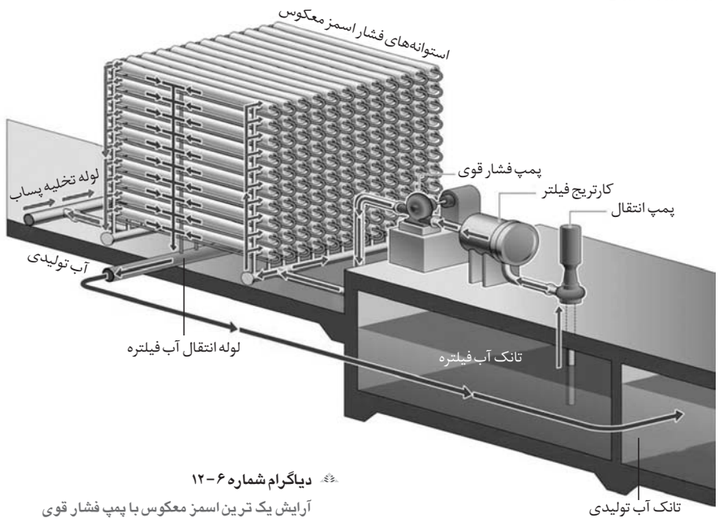
- ضریب تراوایی بالا و دامنه وسیع حداقل و حداکثر میزان جریان آب از روی ممبران و ضریب بالای دفع املاح.

در دیاگرام شماره ۶-۱۲ آرایشی سه بعدی از تاسیسات اسمز معکوس نشان داده شده است. برای شفافتر شدن مطالب مثالی آورده می‌شود.

مثال شماره ۶- ۱: اطلاعات زیر در دست است.

- مجموع املاح محلول آب خام مورد نظر عبارت است از: ۳۴۳۸۰ گرم در مترمکعب؛
- درصد بازیافت حدود ۳۵؛
- میزان آب مورد نیاز که باید تولید شود ۱۰۸۰ مترمکعب در روز؛
- دمای حداکثر آب ۲۵ درجه سانتیگراد؛
- درصد دفع املاح ممبران مورد استفاده ۹۹/۷؛
- متوسط فلاکس آب ۰/۰۱۳ مترمکعب در مترمربع در ساعت؛
- سطح مفید هر المان ۳۴/۴ مترمربع؛

لذا تولید آب در یک مرحله نمک‌زدایی انجام پذیر است که در دیاگرام شماره ۴ - ۲۱ فصل ۴ نشان داده شده است.



دیاگرام شماره ۶-۱۲

آرایش یک ترین اسمز معکوس با پمپ فشار قوی

حل: تولید آب توسط هر المان عبارت است از

$$۰/۰۱۳ \times ۳۴/۴ = ۰/۴۴۷ \ m^3/hr$$

و تعداد المان‌های لازم عبارت است از:

$$\frac{۱۰۸۰}{۲۴ \times ۰/۴۴۷} = ۱۰۱$$

با فرض قرار دادن ۶ المان در یک استوانه فشار

لذا تعداد استوانه‌های فشار عبارت است از:

$$\frac{۱۰۱}{۶} = ۱۶/۸ \sim ۱۷$$

هر چه تعداد المان‌ها در استوانه فشار افزایش یابد، که در مواردی تا ۸ المان هم انجام می‌گیرد، المان‌های آخر درخطر ترسیب ترکیبهای شیمیایی بوده و در مواردی میزان حداقل عبور آب از آن‌ها رعایت نمی‌شود که به ممبران آسیب می‌رساند. قبلا یادآوری شد که سازنده ممبران آن را تعریف می‌کند.

تولید آب هر استوانه فشار

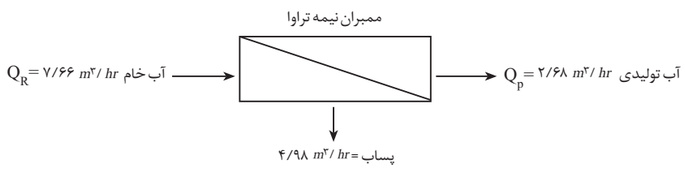
$$Q_{PV} = ۰/۰۱۳ \times ۳۴/۴ \times ۶ = ۲/۶۸ \ m^3/hr = ۶۴/۴ \ m^3/d$$

و مقدار آب خام ورودی به آن

$$Q_R = \frac{۲/۶۸}{۰/۳۵} = ۷/۶۶ \ m^3/hr = ۱۸۳/۷ \ m^3/d$$

توجه شود که چون محاسبه‌ها با ماشین حساب انجام گرفته و ارقام اعشاری سرراست شده‌اند، جواب‌ها در اعشار با هم اختلاف پیدا می‌کنند. در انجام محاسبه‌ها لازم است از نرم افزارهای مناسب بهره گرفته می‌شود.

و مقدار آب خام ورودی به هر استوانه فشار عبارت است از:



لذا میزان آب تولیدی توسط ۱۷ استوانه فشار عبارت است از:

$$۲/۶۸ \times ۱۷ = ۴۵/۵۶ \ m^3/hr \sim ۴۵ \longrightarrow ۱۰۸۰ \ m^3/d$$

و میزان آب خام ورودی به تأسیسات:

$$\frac{۴۵}{۰/۳۵} = ۱۲۸/۵ \ m^3/hr \quad = ۳۰۸۵ \ m^3/d$$

میزان پساب خروجی از تاسیسات:

$$۳۰۸۵ - ۱۰۸۰ = ۲۰۰۵ \ m^3/d$$

که اگر به ۱۷ استوانه فشار تقسیم شود همان رقم ۴/۹ به دست می آید.

$$\frac{۲۰۰۵}{۱۷ \times ۲۴} = ۴/۹$$

غلظت املاح در پساب دستگاه، با فرض دفع ۱۰۰درصد املاح

$$C_c = \frac{C_f}{۱ - R} = \frac{۳۴۳۸۰}{۱ - ۰/۳۵} = ۵۲،۸۹۲ \ gr/m^3$$

چون غلظت املاح آب خام ورودی و پساب خروجی به ترتیب عبارتند از: ۳۴،۳۸۰ و ۵۲،۸۹۲

لذا متوسط املاح آب در استوانه فشار عبارت است از:

$$C_{fc} = \frac{C_f + C_c}{۲} = \frac{۳۴،۳۸۰ + ۵۲،۸۹۲}{۲} = ۴۳،۶۳۶ \ gr/m^3$$

و غلظت املاح در آب تولیدی با توجه به فرض مسئله که از مشخصات ممبران‌هاست:

$$C_p = C_{fc} \times (۱ - SR) = ۴۳،۶۳۶ \times (۱ - ۰/۹۹۷) = ۱۳۱ \ gr/lit$$

حال تعادل جرمی محاسبه می‌شود که آیا محاسبه ها صحیح است یا خیر

نمک ورودی

$$۳۰۸۵ \times \frac{۳۴،۳۸۰}{۱۰۰۰ \times m^3} = ۱۰۶،۰۶۲ \ kg$$

نمک پساب

$$\frac{۲۰۰۵ \times ۵۲،۸۹۲}{۱۰۰۰ \times m^3} = ۱۰۶،۰۴۴ \ kg$$

نمک در آب تولیدی

$$\frac{۱۰۸۰ \times ۱۳۱}{۱۰۰۰} = ۱۴۱/۵$$

نمک کل در خروجی از دستگاه:

$$۱۰۶،۰۴۴ + ۱۴۱/۵ = ۱۰۶،۱۸۵ \ kg$$

که با رقم ۱۰۶،۰۶۲ اختلاف معنیداری ندارد.

حال با فرض ۱۰۰ المان تولید آب هر المان عبارت است از:

$$۴۵ \div ۱۰۰ = ۰/۴۵ \ m^3/hr$$

غلظت املاح آب خام ۳۴،۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر و فشار اسمزی آن عبارت است از ۲۷/۵ اتمسفر

و غلظت املاح در پساب ۵۲،۸۹۲ میلی‌گرم در لیتر و با فشار اسمزی ۴۲/۳ اتمسفر و متوسط فشار اسمزی عبارت است از ۳۴/۹۱ که از حاصل ضرب زیر به دست می‌آید.

$$۴۳.۶۳۶ \times \frac{۰/۸}{۱۰۰۰} = ۳۵$$

افت فشار در عبور آب از هر المان حدود ۲ متر و در هر استوانه فشار ۱/۲ = ۶ × ۰/۲ اتمسفر و فشار هیدرولیکی مورد توصیه سازنده ۵۰ اتمسفر است، حال با فرض بازیافت هر المان حدود ۶ درصد و در کل به وسیله هر استوانه فشار ۳۶=۶×۶ و یا ۳۵ درصد، آبدهی المان ها محاسبه می‌شود. ملاحظه شد که میزان آب خام ورودی به استوانه فشار و در نتیجه روی المان اول ۷/۶۶ مترمکعب در ساعت است.

محاسبه ضریب تراوایی ممبران یا المان در شرایط استاندارد:

$$Q = NDP \times Kw \times A$$

$$NDP = P_f - (\frac{\Delta H}{۲}) - \Delta\pi - P_p$$

که در آن:

A عبارت است از سطح هر المان، P_f فشار هیدرولیکی، $\Delta\pi$ متوسط فشار اسمزی؛

ΔH عبارت است افت فشار هیدرولیکی آب در عبور از هر المان؛

P_p فشار اسمزی آب تولیدی که به علت کوچکی در محاسبه‌ها منظور نمی شود؛

C_{fc} عبارت است از غلظت املاح آب خام معادل ۳۲،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛

C_{cs} عبارت است از غلظت املاح در پساب المان اول.

$$C_{cs} = \frac{۳۲،۰۰۰}{۱ - ۰/۱} = ۳۵،۵۵۶$$

فشار اسمزی آب خام - اتمسفر

$$\frac{۳۲،۰۰۰}{۱۰۰۰} \times ۰/۸ = ۲۵/۶$$

فشار اسمزی پساب - اتمسفر

$$\frac{۳۵،۵۰۰}{۱۰۰۰} \times ۰/۸ = ۲۸/۴۴$$

فشار متوسط اسمزی - اتمسفر

$$\frac{۲۵/۶ + ۲۸/۴۴}{۲} = ۲۷/۰۲$$

ظرفیت اسمی ممبران طبق کاتالوگ یک سازنده ۰/۹۳ مترمکعب در ساعت و یا

$$۹۳۰ \div ۳۴/۴ = ۲۷ \; lit/m^۲ / hr$$

فشار مورد توصیه سازنده ۵۰ اتمسفر و ضریب تراوایی ممبران طبق کاتالوگ برای فشار ۱ اتمسفر عبارت است از:

$$۹/۷ \times ۱۰^{-۴} = ۰/۰۰۰۹۷ \; m^۲ / m^۲ / bar = ۰/۹۷ \; lit/m^۲ / bar$$

و تولید آب یک المان با سطح ۳۴/۴ متر مربع و در فشار ۱ اتمسفر

$$./۹۷ \times ۳۴/۴ = ۳۳/۳۷ \; lit/m^۲ / bar$$

تولید آب به وسیله هر استوانه فشار که قبلا تعیین شد عبارت است از ۰/۴۵ مترمکعب در ساعت

فشار اسمزی آب خام یا املاح ۳۴۳۸۰ عبارت است از ۲۷/۵ اتمسفر

فشار اسمزی پساب با املاح ۵۲۸۹۲ عبارت است از ۴۲/۳۱ اتمسفر

فشار متوسط عبارت است از ۳۴/۹۱

افت در ۶ المان هر استوانه فشار عبارت است از

$$H = ۰/۲ \times ۶ = ۱/۲$$

و فشار موثر عبارت است از:

$$NDP = P_f - \frac{۱/۲}{۲} - ۳۴/۹۱$$

$$NDP = ۵۰ - ۳۴/۹۱ - ۰/۶ = ۱۴/۵$$

محاسبه برای المان اول استوانه فشار، فرضیات:

- آب خام ورودی ۷/۶۶ مترمکعب در ساعت؛
- افت فشار ۰/۲؛
- فشار هیدرولیکی ۵۰ بار؛
- بازیافت ۶ درصد؛
- املاح آب خام ۳۴،۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر با فشار اسمزی ۲۷/۵ اتمسفر؛
- املاح پساب $\frac{۳۴،۳۸۰}{۱ - ۰/۰۶}$ معادل ۳۶،۵۷۶ با فشار اسمزی ۲۹/۲۶؛
- متوسط فشار اسمزی آن ۲۸/۳۸؛
- فشار هیدرولیکی خالص عبارت است از:

$$NDP = ۵۰ - ۲۸/۳۸ = ۲۱/۶۲$$

میزان آبدهی المان برای این فشار موثر هیدرولیکی:

$$Q = NDP \times K_w \times A$$

$$Q = ۲۱/۶۲ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۷۲ \; m^۳ / hr$$

لذا ضریب بازیافت المان اول عبارت است از:

$\frac{۰/۷۲}{۷/۵۶} = ۰/۰۹۵ \sim ۹/۵٪$

حال تکرار محاسبه‌ها برای درصد بازیافت ۹/۵

غلظت املاح پساب $\frac{۳۴،۳۸۰}{۱ - ۰/۰۹۵} = ۳۷،۹۸۸$ و با فشار اسمزی ۳۰/۳۹ اتمسفر

فشار اسمزی آب خام ۲۷/۵

متوسط فشار ۲۸/۹۴

$$NDP = P_f - (\frac{\Delta H}{۲}) - \Delta\pi - P_p$$

که فشار اسمزی و فشار هیدرولیکی آب تولیدی نادیده گرفته می‌شود.

$NDP = ۵۰ - ۲۸/۹۴ - ۰/۱ = ۲۰/۹۶$

$Q = ۲۰/۹۶ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۷\ m^۳ / hr$

$R = \frac{۰/۷}{۷/۵۶} = ۰/۰۹۲۵$

حال عملیات برای بازیافت ۹/۲۵ درصد تکرار می‌شود.

$\frac{۳۴،۳۸۰}{۱ - ۰/۰۹۲۵} = ۳۷،۸۸۴\ mg/lit$

لذا غلظت املاح در پساب و فشار اسمزی آن عبارت است از ۳۰/۳۲ اتمسفر

و فشار اسمزی آب ورودی ۲۷/۵ اتمسفر

و متوسط فشار اسمزی ۲۸/۹۰

$NDP = ۵۰ - ۲۸/۹ - ۰/۱ = ۲۱$

لذا تولید آب المان اول استوانه فشار عبارت است از:

$Q = ۲۱ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۷$

که درصد بازیافت آن ۹/۲۵ خواهد بود.

محاسبات مربوط به المان دوم در استوانه‌های فشار

فشار هیدرولیکی آب عبارت است از ۴۹/۸ = ۰/۲ - ۵۰ اتمسفر

میزان آب ورودی به آن $hr / ۳m$ ۶/۹۶ = ۰/۷ - ۷/۶۶

و غلظت آب ورودی عبارت است از ۳۷،۸۸۴ میلی‌گرم در لیتر

حال با فرض درصد بازیافت ۹ $\frac{۳۷،۸۸۴}{۱ - ۰/۰۹} = ۴۱،۶۳۰$

با فشار اسمزی آن ۳۳/۳ اتمسفر

فشار اسمزی آب ورودی ۳۰/۳۰ اتمسفر

متوسط فشار اسمزی ۳۱/۸

پس:

$NDP = ۵۰ - ۰/۲ - ۳۱/۸ = ۱۸$

$Q_{P2} = ۱۸ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۶\ m^۳ / hr$

$R = \frac{۰/۶}{۶/۹۶} = ۰/۰۸۶$

پس با فرضیات فوق بازیافت ۸/۶ درصد است.

تکرار عملیات برای بازیافت ۸/۶ به جای ۹ درصد

غلظت املاح آب ورودی به المان دوم عبارت است از ۳۷،۸۸۴

غلظت املاح پساب آن عبارت است از:

$\frac{۳۷،۸۸۴}{۱ - ۰/۰۸۶} = ۴۱،۴۴۸$

فشار اسمزی ورودی عبارت است از ۳۰/۳ اتمسفر

فشار اسمزی آب خروجی عبارت است از ۳۳/۱۵ اتمسفر

متوسط فشار اسمزی عبارت است از ۳۱/۷۳ اتمسفر

$NDP = ۵۰ - ۰/۲ - ۳۱/۷۳ \approx ۱۸$

$Q = ۱۸ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۶$

$R = \frac{۰/۶}{۶/۹۶} = ۰/۰۸۶$

که با فرض اولیه یکسانی دارد

محاسبه‌ها برای المان سوم:

فشار هیدرولیکی آب خام بر حسب اتمسفر که عبارت است از فشار هیدرولیکی منهای افت فشار در عبور از دو المان

$P = ۵۰ - (۰/۲ \times ۲) = ۴۹/۶$

غلظت املاح آب ورودی عبارت است از ۴۱،۴۴۸ میلی‌گرم بر لیتر

و با فرض درصد بازیافت ۸/۲ غلظت املاح پساب آن عبارت است از:

$\frac{۴۱،۴۴۸}{۱ - ۰/۰۸۲} = ۴۵،۱۵۰\ mg/lit$

و با فشار اسمزی ۳۶/۱۲ اتمسفر که همان فشار اسمزی آب خروجی از المان سوم است

فشار اسمزی آب ورودی عبارت است از ۳۳/۱۵ اتمسفر

و فشار متوسط اسمزی عبارت است از ۳۴/۶۳ اتمسفر

و فشار مؤثر عبارت است از:

$$NDP = ۴۹/۶ - ۳۴/۶۳ - ۰/۲ = ۱۴/۷۷$$

و میزان آبدهی المان سوم عبارت است از

$$Q_{P3} = ۱۴/۷۷ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۴۹\ m^۳ / hr$$

و درصد بازیافت عبارت است از ۷/۷

$$\frac{۰/۴۹}{۶/۳۶} = ۰/۰۷۷$$

عملیات در مورد المان شماره ۳ برای درصد بازیافت ۷/۷ تکرار می‌شود.

غلظت املاح آب خروجی ۴۵،۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر با فشار اسمزی ۳۶/۱۲ اتمسفر

غلظت املاح آب ورودی ۴۱،۴۴۸ میلی‌گرم در لیتر با فشار اسمزی ۳۳/۱۵ اتمسفر

متوسط فشار عبارت است از:

$$\frac{۳۶/۱۲ + ۳۳/۱۵}{۲} = ۳۴/۶۳\ \text{atm}$$

و فشار موثر:

$$\text{NDP} = ۴۹/۶ - ۳۴/۶۳ - ۰/۲ = ۱۴/۷۷\ \text{atm}$$

میزان تولید آب عبارت است از:

$$Q = ۱۴/۷۷ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۴۹\ m^۳ / hr$$

که با فرض اول همسانی دارد.

محاسبه‌های لازم برای المان چهارم:

فشار هیدرولیکی باقی‌مانده بر حسب اتمسفر:

$$۵۰ - (۰/۲ \times ۳) = ۴۶/۴$$

مقدار آب ورودی به این المان:

$$۷/۹۹ - (۰/۷۲ + ۰/۶ + ۰/۴۹) = ۵/۸۵۹\ m^۳ / hr$$

و غلظت املاح آن که عبارت است از غلظت آب خروجی المان سوم ۴۵،۱۵۰

فشار اسمزی آن عبارت است از ۳۶/۱۲

پس غلظت املاح آب خروجی از این المان عبارت است از:

$$\frac{۴۵،۱۵۰}{۱ - ۰/۰۷۵} = ۴۸،۸۱۰\ mg / lit$$

و فشار اسمزی آن عبارت است از ۳۹ اتمسفر

متوسط فشار اسمزی عبارت است از ۳۷/۵۶ اتمسفر

فشار خالص مؤثر عبارت است از:

$$\text{NDP} = ۴۹/۶ - ۳۷/۵۶ - ۰/۲ = ۱۱/۶۴\ \text{atm}$$

میزان آب تولیدی در این المان:

$$Q = ۱۱/۶۴ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۳۹$$

غلظت املاح آب خروجی با فرض ۶/۶ درصد بازیافت

$$\frac{۰/۳۹}{۵/۸۵} = ۰/۰۶۶ \quad \text{بازیافت}$$

تکرار عملیات با درصد بازیافت ۶/۶:

$$\frac{۴۵،۱۵۰}{۱ - ۰/۰۶۶} = ۴۸،۳۴۰\ mg / lit$$

فشار اسمزی آن عبارت است از ۳۸/۶ اتمسفر

فشار اسمزی آب ورودی ۳۶/۱۲ اتمسفر

متوسط آن بر حسب اتمسفر ۳۷/۳۶

فشار مؤثر خالص در المان چهارم:

$$\text{NDP} = ۴۹/۴ - ۳۷/۳۶ - ۰/۲ = ۱۱/۸۴\ \text{atm}$$

میزان آب تولیدی این المان:

$$Q = ۱۱/۸۴ \times ۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۴/۴ = ۰/۳۹۵ \sim ۰/۴\ m^۳ / hr$$

درصد بازیافت عبارت است از:

$$R = \frac{۰/۴}{۵/۸۵} = ۰/۰۶۸$$

لذا غلظت آب خروجی عبارت است از:

$$\frac{۴۵،۱۵۰}{۱ - ۰/۰۶۸} = ۴۸،۴۴۴$$

فشار اسمزی آن عبارت است از ۳۸/۷۵ اتمسفر

فشار اسمزی ورودی عبارت است از ۳۶/۱۲ اتمسفر

متوسط آن عبارت است از ۳۷/۴۳ اتمسفر

فشار خالص مؤثر عبارت است از:

$$\text{NDP} = ۴۹/۴ - ۳۷/۴۳ - ۰/۲ = ۱۱/۷۷\ \text{atm}$$

و تولید آن عبارت است از:

$$Q_{P4} = ۱۱/۷۷ \times ۰/۰۰۰۹۷ \times ۳۴/۴ = ۰/۴\ m^۳ / hr$$

محاسبه‌های لازم برای المان پنجم:

فشار هیدرولیکی آب ورودی عبارت است از

$$۵۰ - (۰/۲ \times ۴) = ۴۹/۲ \text{ atm}$$

میزان آب ورودی به این المان عبارت است از:

$$Q_w = ۷/۶۶ - (۰/۴ \times ۰/۴۹ + ۰/۶ + ۰/۷) = ۵/۴۷$$

با فرض درصد بازیافت ۶/۵ غلظت املاح آب خروجی آن:

$$\frac{۴۸،۴۴۴}{۱ - ۰/۰۶۵} = ۵۱،۸۱۱ \; mg/\,lit$$

و فشار اسمزی آن عبارت است از ۴۱/۴۵ اتسمفر

فشار اسمزی آب ورودی عبارت است از ۳۸/۷۵ اتسمفر

متوسط فشار اسمزی عبارت است از ۴۰/۰۹ اتسمفر

فشار مؤثر خالص عبارت است از:

$$NDP = ۴۹/۲ - ۴۰/۰۹ - ۰/۲ = ۸/۹ \text{ atm}$$

آبدهی این المان عبارت است از:

$$Q_{w5} = ۸/۹ \times ۰/۰۰۰۹۷ \times ۳۴/۴ = ۰/۲۹۶ \sim ۰/۳ \; m^۳ / hr, \quad R = \frac{۰/۳}{۵/۴۷} = ۰/۰۵۴$$

تکرار عملیات برای المان پنجم با درصد بازیافت ۵/۴:

غلظت املاح آب خام ورودی که همان غلظت پساب المان چهارم است معادل ۴۸،۴۴۴ میلی‌گرم بر لیتر است و فشار اسمزی آن عبارت است از ۳۸/۷۵ اتسمفر

غلظت املاح آب خروجی با توجه به درصد بازیافت ۵/۴ از المان پنجم عبارت است از ۵۱،۲۱۰ میلی گرم در لیتر

$$\frac{۴۸،۴۴۴}{۱ - ۰/۰۵۴} = ۵۱،۲۱۰ \text{ mg/lit}$$

فشار متوسط اسمزی عبارت است از:

$$\frac{۳۸/۷۵ + ۴۱}{۲} = ۴۰ \text{ atm}$$

فشار خالص مؤثر

$$NDP = ۴۹/۲ - ۴۰/۱ - ۰/۲ = ۸/۹ \text{ atm}$$

میزان آبدهی عبارت است از:

$$Q_w = ۸/۹ \times ۰/۰۰۰۶۷ \times ۳۴/۴ = ۰/۳ \; m^۳ / hr$$

که با محاسبه‌های اول یکسان است.

محاسبه‌های مربوط به المان ششم:

فشار هیدرولیکی باقیمانده عبارت است از:

$$۵۰ - (۰/۲ \times ۵) = ۴۹ \text{ atm}$$

میزان آب ورودی به المان ششم عبارت است از:

$$Q_w = ۷/۶۶ - (۰/۴ + ۰/۴۹ + ۰/۶ + ۰/۷ + ۰/۳) = ۵/۱۷ \; m^۳ / hr$$

غلظت املاح آب خام ورودی به این المان ۵۱۸۱۱ میلی‌گرم بر لیتر

فشار اسمزی آن عبارت است از ۴۱/۴۵ اتسمفر

با فرض بازیافت ۵/۳ درصد غلظت املاح در پساب آب آن عبارت است از:

$$\frac{۵۱،۸۱۱}{۱ - ۰/۰۵۳} = ۵۴،۷۱۰ \; mg/\,lit$$

فشار اسمزی آن عبارت است از ۴۳/۷۶ اتسمفر

متوسط فشار اسمزی عبارت است از:

$$\frac{۴۳/۷۶ + ۴۱/۴۵}{۲} = ۴۲/۶ \text{ atm}$$

فشار مؤثر خالص روی المان ششم عبارت است از:

$$NDP = ۴۹ - ۴۲/۶ - ۰/۲ = ۶/۲ \text{ atm}$$

میزان آبدهی این المان عبارت است از:

$$Q_{w6} = ۶/۲ \times ۰/۰۰۰۹۷ \times ۳۴/۴ = ۰/۲ \; m^۳ / hr \qquad \frac{۰/۲}{۵/۱۷} = ۰/۰۳۸ \longrightarrow ۴٪$$

تکرار عملیات برای درصد بازیافت ۴ درصد

غلظت املاح آب خروجی عبارت است از:

$$\frac{۵۱،۸۱۱}{۱ - ۰/۰۴} = ۵۳،۹۶۹ \; mg/\,lit$$

فشار اسمزی آن عبارت است از ۴۳/۱۷

فشار متوسط اسمزی عبارت است از:

$$\frac{۴۳/۱۷ + ۴۱/۴۵}{۲} = ۴۲/۳$$

فشار مؤثر خالص عبارت است از:

$$NDP = ۴۹/۲ - ۴۲/۳ - ۰/۲ = ۶/۷ \text{ atm}$$

آبدهی این المان عبارت است از :

$$Q = ۶/۷ \times ۰/۰۰۰۰۹۷ \times ۳۴/۴ = ۰/۲۲ \; m^۳ / hr$$

پس وضعیت ورودی و خروجی ۶ المان و در کل یک استوانه فشار طبق جدول شماره ۶-۷ است. همان طور که جدول محاسبه‌ها نشان می دهد جمع تولید ۶ المان نصب شده در یک استوانه فشار حدود ۲/۷۱ متر مکعب در ساعت است که با توجه به میزان آب خام ورودی درصد بازیافت عبارت است از ۳۵ درصد که با ارقام درصد بازیافت جدول شماره ۶-۷ معادل ۴۱ اختلاف دارد که ناشی از خطای محاسبه‌های اولیه است زیرا اثر دو قطبی شدن آب در استوانه های فشار و افزایش فشار اسمزی و در نتیجه کاهش فشار موثر در محاسبه‌ها منظور نشده است که خود باعث اختلاف حدود ۵ درصد خواهد شد. به علاوه افت فشار هیدرولیکی ورودی به استوانه فشار و نیز درصد عبور نمک از ممبران هم منظور نشده است.

اما مشاهده می شود که فشار خالص مؤثر از ۲۱/۶۲ در المان اول به ۶/۷ اتمسفر در المان ششم می‌رسد در حالی که فشار هیدرولیکی همان ۵۰ اتمسفر است و در نتیجه میزان آبدهی هم از ۰/۷۲ به ۰/۲ مترمکعب در ساعت کاهش پیدا می‌کند و مجموع املاح محلول که در آب خام ۳۴۳۸۰ میلی‌گرم در لیتر فرض شده است در خروجی استوانه فشار به ۵۳۹۶۹ رسیده است. به هر حال با پیشبینی شیر کنترل همان طور که در فصل چهارم ارائه شده است، کار کنترل بازیافت انجام‌پذیر است و تولید آب هر استوانه فشار ۲/۶۸ مترمکعب در ساعت است که در جدول

جدول شماره ۶-۷: **خلاصه محاسبات تعادل جرمی مسئله ۶-۱**

شماره المان	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	جمع
میزان آب خام ورودی (متر مکعب در ساعت)	۷/۶۶	۶/۹۴	۶/۳۶	۵/۸۵	۵/۴۷	۵/۱۷	
میزان پساب (متر مکعب در ساعت)	۶/۹۴	۶/۳۶	۵/۸۵	۵/۴۵	۵/۱۷	۴/۹۷	۴/۹۵
میزان تولید (متر مکعب در ساعت)	۰/۷۲	۰/۶	۰/۴۹	۰/۴۵	۰/۳	۰/۲	۲/۷۱
املاح خروجی	۳۶۵۷۴	۴۱۴۴۴	۴۵۱۵۰	۴۸۳۴۰	۵۱۸۱۱	۵۳۹۶۹	
فشار خالص مؤثر	۲۱/۶۲	۱۸	۱۴/۷۹	۱۱/۶۴	۸/۹	۶/۷	
متوسط فشار اسمزی	۳۸/۳۸	۳۱/۷۳	۳۴/۶۱	۳۷/۳۶	۴۰/۰۹	۴۲/۶	
درصد بازیافت	۹/۲	۸/۶	۷/۷	۶/۸	۵/۳	۳/۸	۴۱

۲/۷۱ نشان داده شده است. در صورتی که به روابط غلظت املاح در معادله $\frac{۳۴،۲۸۰}{۱-r} = ۵۳،۹۶۹$ مراجعه شود درصد بازیافت ۳۶ خواهد بود.

برای انجام این محاسبه‌ها نرم‌افزارهایی تهیه شده که محاسبه‌ها را با دقت انجام می‌دهد چون این محاسبه‌ها با آزمون و خطا انجام می‌شود لذا نرم‌افزار با سرعت و یا صحت بیشتری آن را انجام می‌دهد.

مثال شماره ۶-۲: حال با فرض درصد بازیافت حدود ۸۵ درصد، طراحی دیگری انجام می‌گیرد. در این صورت سه مرحله نمک‌زدایی لازم است تا بتوان به درصد بازیافت مطلوب دست یافت. طبق دیاگرام شماره ۴ - ۱۷ فصل چهارم و با فرض مقدار آب مورد نیاز از طریق هر ۴ ترین هر یک ۹۴۵ مترمکعب در روز و در کل ۳،۸۰۰ متر مکعب در روز است.

مفروضات طرح:

- مراحل نمک زدایی عبارت خواهد بود از سه مرحله تحت نام ترین شناخته می شود.
- تعداد استوانه های فشار مرحله اول ۴، مرحله دوم ۲ و مرحله سوم ۱ و یا ۴:۲:۱
- ترتیب استوانه ها برمبنای پساب یعنی تولید بیشتر از طریق درصد بازیافت بیشتر
- تعداد المان ها در هر استوانه فشار، ۷ گرفته می شود.
- سطح مفید هر المان عبارت است از ۳۲/۵ متر مربع و فلاکس مورد توصیه ۰/۷ متر مکعب در متر مربع در روز

حل: مقدار آب تولیدی هر المان عبارت است از:

$$Q = ۰/۷ \times ۳۲/۵ = ۲۲/۷۵ \; m^۳ / d$$

تعداد المان ها در هر ترین:

۷ استوانه فشار (۴:۲:۱)

۷ المان در هر استوانه فشار

۷×۷=۴۹

همان‌طور که در فرض مسئله آمده است، مقدار آب تولیدی استوانه‌های فشار یک ترین عبارت است از:

$$۴۹ \times ۲۲/۷۵ = ۱۱۱۴/۷۵ \; m^۳ / d$$

پس تعداد ترین های لازم عبارت است از:

$$۳۸۰۰ \div ۱۱۱۴/۷۵ = ۳/۴ \approx ۴$$

در نتیجه تعداد کل المان ها عبارت است از:

۴×۴۹=۱۹۶

مقدار آب خام مورد نیاز:

$$\frac{۳،۸۰۰}{۰/۸۵} = ۴،۴۷۰\ m^۳ / d$$

و مقدار آبی که باید به هر ترین پمپاژ شود عبارت است از:

$$۴۴۷۰ \div ۴ = ۱۱۱۷/۵ m^۳ / d$$

و مقدار آب تولیدی هر ترین:

$$\frac{۳،۸۰۰}{۴} = ۹۵۰\ m^۳ / d$$

و مقدار پساب آن عبارت است از:

۱۱۱۷-۹۵۰=۱۶۷

و حال با دانستن مقدار آب خام ورودی به هر ترین استوانه فشار و مقدار آب خروجی از آنها و با فرض ۵۰ درصد بازیافت مرحله اول، ۲۰ درصد مرحله دوم و ۱۵ درصد مرحله سوم مانند مسئله شماره ۶-۱ برای رسیدن به جدول مشابه شماره ۶-۷ محاسبه‌ها را می‌توان انجام داد.

مثال شماره ۶-۳: در این جا مثالی از کاربرد نانوفیلتر آورده می شود که صرف‌نظر از توجهات غلظت املاح محاسبه‌ها مانند طراحی ممبران های اسمز معکوس است.

- تعداد مراحل ۳ و ترتیب استوانه های فشار ۴:۲:۱، تعداد المان ها در هر استوانه فشار ۷ و
- درصد بازیافت ۸۵ درصد و فلاکس ممبران ۲۵ لیتر در متر مربع در ساعت
- سطح مفید هر المان ۳۲/۴ متر مربع
- حداقل و حداکثر میزان جریان آب در روی هر المان مورد توصیه عبارت است از ۰/۳ و ۰/۱ مترمکعب در دقیقه
- افت فشار آب در عبور از هر المان عبارت است از ۲ متر و از هر استوانه فشار ۳/۴ متر
- غلظت املاح آب خام ۳۰۰ میلی گرم در لیتر ـ درصد دفع نمک ۷۰

حل: درصد بازیافت مرحله اول عبارت است از:

$$\frac{۰/۸۵}{Vpv} \times \frac{۴pv}{stage} = ۰/۴۸۶ \approx ۴۸/۶٪$$

مقدار آب مورد نیاز هر ترین عبارت است از ۹۵۰ متر مکعب در روز و یا ۰/۶۶ متر مکعب در دقیقه

تولید آب هر استوانه فشار

$$\frac{۰/۶۶}{۴+۲+۱} = ۰/۰۹۴\ m^۳ / \min / \ pv = ۹۴ l/min/pv$$

و تولید آب هر المان معادل ۱۹ متر مکعب در روز است

$$\frac{۰/۰۹۴}{۷} = ۰/۰۱۳۴\ m^۳ / \ min / \ ele = ۱۳ l / min / ele = ۱۹\ m^۳ / d$$

مقدار آب خام ورودی به هر استوانه فشار مرحله اول:

$$\frac{۹۴}{۰/۴۸۶} = ۱۹۳ l / \min / pv$$

برای تعیین میزان جریان آب روی آخرین المان استوانه‌های فشار

$$qe = ۱۹۳ - ۶ \times ۱۳ = ۱۱۵\ l/min$$

استوانه‌های فشار مرحله دوم

$$(۱۹۳ - ۹۴) \times ۴ = ۳۹۶\ lpm = ۵۷۰\ m^۳ / d$$

میزان آب خام ورودی معادل $۵۷۰\ m^۳ / d$

که پساب مرحله اول است

ورودی به هر استوانه فشار مرحله دوم

$$\frac{۳۹۶}{۲} = ۱۹۸\ lpm$$

ورودی به المان آخر که از حداقل بیشتر است

$$۱۹۸ - (۶ \times ۱۳) = ۱۲۰\ lpm$$

$$۳۹۶ - (۲ \times ۹۴) = ۲۰۸\ lpm$$

پساب مرحله دوم که ورودی مرحله سوم است

پساب مرحله سوم که از حداقل بیشتر است و رقم ۲۰۸ هم از حداکثر کمتر است.

$$۲۰۸ - ۹۴ = ۱۱۴\ lpm = ۱۶۴/۲\ m^۳ / d$$

$$۲۰۸ - (۶ \times ۱۳) = ۱۳۰\ l/min$$

لذا میزان های آب خام و آب تولیدی و پساب به شرح زیر است:

مرحله اول:

میزان آب خام ورودی برحسب متر مکعب در روز	۱۱۱۷
میزان آب تولید برحسب متر مکعب در روز	۵۴۳
میزان پساب برحسب مترمکعب در روز	۵۷۴
درصد بازیافت	۴۸/۶

مرحله دوم:

میزان آب خام ورودی برحسب متر مکعب در روز	۵۷۴
میزان تولید آب برحسب متر مکعب در روز	۲۷۰
میزان پساب برحسب متر مکعب در روز	۳۰۴

درصد بازیافت عبارت است از ۴۷ درصد از ۵۱/۴ درصد باقی‌مانده که معادل ۲۴ درصد کل است.

مرحله سوم:

میزان آب خام ورودی برحسب متر مکعب در روز	۳۰۴
میزان آب تولید برحسب متر مکعب در روز	۱۳۶
میزان پساب برحسب متر مکعب در روز	۱۶۸ (در محاسبات ۱۶۴ آمده)

درصد بازیافت این مرحله عبارت است از ۴۵ از (۲۴+۴۸/۶)-۱۰۰ معادل ۱۲

جمع درصد بازیافت‌ها ۸۵ = ۸۴/۶ = ۱۲ + ۲۴ + ۴۸/۵

در خروجی استوانه های فشار حاوی المان ها، همان طور که در فصل چهارم و در بخش ابزار دقیق یاداوری شد، شیرهای کنترل میزان جریان و دستگاه اندازه گیری باید پیشبینی شود تا درصدهای بازیافت تنظیم گردد. زیرا محاسبه‌های هیدرولیکی می‌تواند جواب‌های مطلوبی به دست ندهد. اکنون با توجه به درصدهای بازیافت غلظت املاح در آب تولیدی و پساب و فشار اسمزی پساب ها محاسبه می شود.

غلظت املاح در آب تولیدی

$$C_{p_1} = ۳۰۰\ mg/l\ (۱ - ۰/۷) = ۹۰\ mg/l$$

غلظت املاح در پساب مرحله اول عبارت است از:

$$\frac{۳۰۰ - ۰/۴۸۶ \times ۹۰}{۰/۵۱۴} = ۴۹۹\ mg/l$$

در این محاسبه عبور ۹۰ میلی گرم در لیتر نمک از المان درنظر گرفته شده است.

با فشار اسمزی

$$\Delta\pi_1 = (\frac{۳۰۰ + ۴۹۹}{۲} - ۹۰) \times \frac{۰/۸}{۱۰۰۰} = ۰/۲۵\ atm$$

غلظت املاح در آب تولیدی مرحله دوم

$$C_{p_2} = ۴۹۹\ (۱ - ۰/۷) = ۱۵۰\ mg/l$$

و غلظت املاح در پساب مرحله دوم عبارت است از:

$$C_{c_2} = \frac{(۰/۵۱۴)(۴۹۹) - (۰/۲۴۳ \times ۰/۳ \times ۴۹۹)}{۰/۵۱۴ - ۰/۲۴۳} = ۸۱۲\ mg/l$$

که ۰/۲۴۳ همان ۲۴/۳ درصد بازیافت مرحله دوم است.

و با فشار اسمزی

$$\Delta\pi_2 = (\frac{۴۹۹ + ۸۱۲}{۲} - ۱۵۰) \times \frac{۰/۸}{۱۰۰۰} = ۰/۴\ atm$$

غلظت املاح در آب تولید مرحله سوم

$$C_{p_3} = ۸۱۲ \times (۱ - ۰/۷) = ۲۴۴\ mg/l$$

و غلظت در پساب مرحله سوم

$$\Delta\pi_3 = (\frac{۸۱۲ + ۱۲۶۶}{۲} - ۲۴۴) \times \frac{۰/۸}{۱۰۰۰} = ۰/۶۴\ atm$$

حال فشار لازم هیدرولیکی محاسبه می شود:

۱. افت در ۲۱ المان که به طور سری در استوانه های فشار قرار دارند

۲۱×۲=۴۲m

۲. افت در سه ورودی و سه خروجی استوانه های فشار در صف

۳×۳/۴ = ۱۰/۲m

۳. فشار اسمزی حداکثر در پساب استوانه فشار مرحله سوم

۰/۶۵ = ۶/۵m

جمع کل افت فشار و فشار اسمزی

۴۲+۱۰/۲+۶/۵ = ۵۸ ≃ ۶۰m

و فشار خالص که از رابطه ضریب تراوایی ممبران در شرایط استاندارد طبق نتایج آزمایش سازنده به دست می آید. و حال اگر طبق کاتالوگ کارخانه این رقم ۱۲ لیتر در متر مربع برای یک اتمسفر باشد و لذا برای به دست آوردن ۲۵ لیتر حدود ۲۰ متر فشار لازم خواهد بود که همان فشار خالص موثر است. لذا مقدار فشار هیدرولیکی عبارت است از:

۶۰+۲۰ = ۸۰m

که در مثال شماره ۶-۱ مورد توجه قرار گرفته است.

لازم به یاداوری است که در مثال ۶-۳ کاربرد ممبران نانو مدنظر بوده است و هدف حذف گروهی از املاح است نه همه املاح به طوری که متوسط املاح محلول تولیدی ۳ مرحله عبارت است از ۱۴۵ میلی گرم در لیتر نسبت به ۳۰۰ آب خام.

با توجه به محاسبه‌های انجام شده می‌توان مشاهده کرد که فشار تحمل‌پذیر ممبران باید تعریف بشود و در اولین المان استوانه فشار پس از خنثی کردن فشار اسمزی باید بتواند با فشار خالص موثر باعث عبور آب از ممبران گردد و در ممبران یا المان دوم فشار اسمزی افزایش یافته و فشار مؤثر کاهش و تولید آب هم کمتر می‌شود و باید توجه داشت که در المان ششم و یا هفتم هنوز فشار باقیمانده در حدی باشد که باعث ایجاد فلاکس گردد و در عین حال حداقل میزان گذر آب هم در آخرین المان حفظ گردد. لذا بخشی از اطلاعات را سازنده باید تأمین کند و بخشی هم باید محاسبه بشود.

برای انجام محاسبه‌های هیدرولیکی و معادله‌های جرمی باید درصد بازیافت که یکی از مفروضات محاسبه‌های است انتخاب و حفظ شود و برای کنترل آن همان‌طور که دیاگرام‌های ۴ - ۲۰ تا ۴ - ۲۲ نشان می‌دهد پیشبینی شیر کنترل جریان روی پساب هر مرحله ضرورت دارد. بدین ترتیب، تعداد المان‌ها، تعداد استوانه‌های فشار و تعداد ترین و یا ردیف‌ها محاسبه و معلوم می‌شود و البته تاسیسات لازم برای شستشوی المان‌ها که تابع خصوصیات ممبران‌هاست در اینجا مورد گفتگو قرار نمی‌گیرد. اما یاداوری می‌شود انتخاب منبع آب خام و یا عملکرد فرایندهای پیش تصفیه باید در حدی باشد که مدت زمان بین دو شستشوی ممبران ها کمتر از ۶ ماه نشود. برای کاهش تعداد المان ها و در نتیجه تعداد استوانه های فشار و اتصالات مربوط سعی در تولید المان‌های با سطح موثر بزرگتر به نتیجه رسیده است و امروزه المان های ۶۱×۱۸ اینچ می‌تواند جایگزین المان‌های ۴۰×۸ اینچ مورد محاسبه ۳ مثال قبل شود.

سطح موثر این المان‌های بزرگ ۶-۸ برابر المان‌های متعارف است و با حفظ فلاکس یکسان می‌تواند ۶-۸ برابر بیشتر آب تولید کند.

برای تولید میزان زیاد آب برای شهرها و صنایع، استفاده از المان های بزرگتر طبعا ارزانتر خواهد بود. چنانچه برای مثال شماره ۶-۱ تعداد استوانه‌های فشار و المان‌ها به ترتیب ۳ و ۱۵ به جای ۱۷ و ۱۰۱ خواهد بود. المان‌های بزرگ برای اسمز معکوس و نانوفیلتر طبق مشخصات کاربرد دارد.

توجه شود که بخش های اساسی تاسیسات عبارت است از :

۱. تاسیسات پیش تصفیه تا فیلتر کارتریج؛

۲. استوانه های فشار حاوی المان‌های اسمز معکوس؛

۳. پمپ های فشار قوی و در صورت ضرورت تاسیسات بازیافت انرژی و تاسیسات تنظیم فشار هیدرولیکی؛

۴. شیرهای اندازه گیری میزان عبور آب تولیدی و پساب؛

۵. کنتورهای ثبت میزان تولید آب و پساب؛

۶. کلیدهای کنترل فشار بالاتر از حد و کمتر از حد و شیرهای تخلیه فشار و ضربه گیر؛

۷. قفسه مناسب نصب استوانه های فشار و لوله کشی های مربوط به آب تولیدی و پساب که از نظر جنس و تحمل فشار همسان نیستند؛

۸. تاسیسات افزایش مواد شیمیایی مانند اسید و بازدارنده رسوب و خنثی سازی کلر و شستشوی المان‌ها،

۹. تاسیسات کنترل کمی و کیفی آب تولیدی مانند اندازه گیری هدایت الکتریکی و در طرح‌های بزرگ استفاده از نرم افزار مناسب اس کادا[1] ؛

۱۰. تاسیسات تصفیه نهایی آب و بالاخره مخزن جمع آوری آب تولیدی و تاسیسات اختلاط و اصلاح آب؛

۱۱. تاسیسات تخلیه نهایی پساب و فاضلاب‌ها.

مدیریت پساب

در همه فرایندهای نمک‌زدایی تولیدآب، بخشی از آب خام به صورت پساب باید دفع شود که علاوه بر غلظت بالای املاح آن که در فصل چهارم و پنجم مورد گفتگو قرار گرفت حاوی ترکیب‌هایی است که برای اصلاح آب خام به کار رفته است. دفع نهایی این پساب باید با توجه به ضوابط محیط زیست انجام گیرد و درنتیجه بخشی از هر سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری را به خود اختصاص می‌دهند.

گزینه‌های دفع پساب تاسیسات نمک‌زدایی به قرار زیر است:

- تخلیه به منابع آب سطحی مانند دریا؛
- تخلیه به شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری در صورت امکان؛

1. SCADA

- تخلیه به منابع آب زیرزمینی در شرایط خاص؛
- تخلیه به حوضچه‌های تبخیر؛
- تخلیه به روی اراضی؛
- فراوری و کاهش حجم تا تولید محصول جامد؛

هر یک از گزینه‌های فوق دارای محدودیت و مزایایی است که باید مورد ارزیابی قرار گیرد. در جدول شماره ۶ - ۸ معیارهای مورد استفاده برای مقایسه روش‌های مدیریت پساب به صورت نسبی آورده شده است که با در نظر گرفتن امتیازات نسبی عددی برای هر طرحی گزینه مناسب تعریف می‌شود.

توجه شود که در تاسیسات پیش تصفیه و تصفیه نهایی فاضلابهایی تولید می شود که نیاز به توجه دارد و امکان اختلاط آنها و دفع نهایی هم یکی از گزینه‌هاست.

بدین ترتیب پس از انجام مطالعه‌ها و محاسبه‌های عنصرهای اصلی بخش‌های بنیادی دیاگرام‌ها ی شماره ۶-۱ و ۶-۱۱ و تعیین ظرفیت و مشخصات سازه و تاسیسات برقی، مکانیکی و ابزار دقیق آنها لازم است نقشه های مربوط برای گزارش مرحله اول و یا توجیهی تهیه شود. در فصل چهارم فرایندهای پیش تصفیه و تصفیه نهایی به اجمال ارائه شده است زیرا این مجلد مربوط به نمک زدایی است.

این نقشه‌ها عبارتند از :

۱. دیاگرام فرایندهای تصفیه آب از دریا تا مخزن تحویل آب تولیدی شامل بخشهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶؛

جدول شماره ۶-۸: **گزینه‌های دفع پساب تاسیسات نمک زدایی**

روش دفع	هزینه سرمایه گذاری	هزینه بهره‌برداری	زمین لازم	مشکلات دریافت مجوز	خطرات بالقوه	مقدار زیاد پساب
تخلیه به منابع آب سطحی	کم	کم	-	دشوار	متوسط	آری
تخلیه به شبکه جمع آوری فاضلاب	کم	کم	-	متوسط	متوسط	خیر
تزریق به لایه‌های زیرزمین	متوسط تا زیاد	متوسط	کم	متوسط	کم	ممکن
برکه تبخیر	زیاد	کم	زیاد	متوسط	متوسط	خیر
تخلیه روی زمین	زیاد	زیاد	کم	آسان	کم	خیر
تبخیر و فراوری	زیاد	زیاد	کم	آسان	کم	خیر

۲. دیاگرام واحدهای هیدرولیکی از آبگیر تا مخزن ذخیره آب تولیدی شامل تمام واحدهایی که آب از آنها عبور می کند مانند حوضچه ها، فیلترها، پمپ‌ها و غیره؛

۳. نقشه استقرار تمام واحدهای فرایندی و هیدرولیکی با توجه به توپوگرافی زمین اختصاص داده شده شامل نقشه های اولیه ساختمانهای جنبی که برای آنها معماری اولیه نیز تهیه شده است؛

۴. نقشه تاسیسات و عناصر تولید و مصرف انرژی؛

۵. جمع آوری تمام پساب ها و فاضلابها و دیاگرام های تصفیه و دفع آنها؛

۶. نقشه محوطه سازی شامل آب، فاضلاب، آبهای سطحی، روشنایی و غیره؛

۷. نقشه کنترل و ابزار دقیق فرایندها؛

و تهیه گزارشی که نشان می دهد برای هر پیشنهادی پس از بررسی گزینه ها، گزینه برتر انتخاب شده است. مطالعه‌های مرحله اول یا مطالعه‌های مرحله توجیهی در واقع شامل تعریف همه گزینه‌های کلی و جزئی و مقایسه آنها و تعیین گزینه برتر است.

براورد مقادیر

پس از تهیه آلبوم نقشه‌های مرحله اول بخش‌های بنیادی طبق دیاگرام شماره ۶-۱ و ۶-۱۱ لازم است مقدارهای کارهای سازه‌ای، تاسیسات اصلی برق و مکانیک و ابزار دقیق عنصرهای مختلف هر بخش همراه با مشخصات فنی مطلوب تهیه و تدوین گردد.

در دفترچه مقادیر سعی شود که هر جدول مقدارهای اصلی هر عنصر از بخش بنیادی ومشخصات فنی مربوط و گزارش عملکرد آن تدوین شود. لذا تعداد جدول‌های اصلی عبارت است از ۶ جدول و تعداد جدول‌های فرعی بستگی به عنصرهای هر یک از بخش های بنیادی دارد. در تعریف مشخصات فنی تاسیسات، طراح می تواند با مشورت دیگر تخصص‌ها مشخصات فنی سازنده مطلوب خود را حتی با ذکر نام بیاورد و در کنار آن کلمه "یا مشابه" را بنویسد. به طوری که در هنگام ارزیابی فنی معیار و یا محک مقایسه وجود داشته باشد.

آنالیز اقتصادی

با توجه به کمبود اطلاعات در مورد کیفیت آب خام در هنگام انجام مطالعات و مشکلات احتمالی

بهره برداری در عملیات پیش تصفیه آب خام و به طبع، میزان مصرف ترکیبهای شیمیایی و انرژی، براورد قیمت تمام شده آب برای مرحله بهره برداری ونگهداری در ابتدای کار از صحت کافی برخوردار نخواهد بود و قیمت واقعی آب پس از گذشت ۳ تا ۵ سال از بهره‌برداری از تاسیسات محاسبه شدنی است زیرا کفایت و کیفیت عملیات بهره برداری چه از تاسیسات پیش تصفیه و چه از تاسیسات اصلی نمک زدایی چند سال بعد از شروع بهره برداری آشکار می‌شود.

چنانکه عمر مفید و تغییرات فلاکس ممبرانها و بروز خوردگی و عملکرد تاسیسات تبادل حرارت در تاسیسات تبخیری پس از گذشت زمانی از بهره برداری آشکار می‌شود. و همچنین هر گونه تغییر در قیمت انرژی و سوخت روی قیمت آب تولیدی دخالت مستقیم دارد. به هر حال لازم است بر مبنای قیمت‌هایی که برای براورد مقادیر کار استفاده شده است با توجه به نرخ سود بانکی و عمر مفید تاسیسات قیمت تمام شده آب تولیدی بر مبنای هزینه‌های سرمایه گذاری و همچنین بر مبنای هزینه های بهره برداری و بالاخره بر مبنای هزینه برق تعیین و در جدول‌های گزارش کار منعکس شود. با توجه به احتمال تغییر نرخ سود بانکی توصیه می شود که محاسبه‌ها حداقل در ۳ نرخ انجام گیرد.

مراحل مطالعات

آنچه که در فصل ششم مورد بحث قرار گرفت کلیات مطالعات مرحله اول و یا توجیهی است که در آن گزینه‌های انتخاب منبع آب خام، گزینه‌های صنعت نمک‌زدایی، گزینه‌های آبگیری مستقیم و غیرمستقیم و گزینه‌های کاربرد ترکیب‌های شیمیایی و بالاخره گزینه‌های دفع نهایی پساب به اجمال مورد بحث قرار گرفت.

صرفنظر از روش انجام مطالعات مرحله دوم و روش اجرا که به تفصیل در فصل هفتم مطرح گردیده است، دستاورد مطالعات مرحله اول باید بهترین گزینه را با توجه به مبانی، مفروضات و محدودیت‌های مدیریتی و استراتژیکی طرح تعریف نموده و به تصویب درخواست کننده انجام مطالعات برساند.

در گزارش مرحله اول مشاور، باید با توجه به نظرات سفارش دهنده[1] انجام مطالعات

۱. در کشور ما سفارش‌دهنده انجام مطالعات و یا خریدار خدمات فنی با نام "کارفرما" معرفی می‌شود که تجدیدنظر روی آن ضرورت دارد.

روشهای اجرای طرح را مورد بحث قرار داده و با توجه به شرایط موجود مزایا و محدودیت های آنها را تدوین نموده و پس از مقایسه گزینه مناسبتر را توصیه نماید. معیارهای لازم برای مقایسه عبارت است از:

۱. امکانات تامین اعتبار برای اجرای طرح - در صورتی که قرار است از بخش خصوصی برای سرمایه گذاری استفاده شود و یا بخش دولتی، باید قبل از شروع مطالعات مرحله دوم تعریف شود؛

۲. برنامه زمان‌بندی در رابطه با تعهدات سفارش‌دهنده انجام مطالعات برای تحویل آب به مصرف کنندگان دولتی، خصوصی و یا مردم همراه با کیفیت و کمیت آب؛

۳. پتانسیل‌های ساخت، نصب و راه‌اندازی توسط سازندگان داخلی و یا خارجی؛

۴. محدودیت‌های پیش رو مانند استملاک زمین، انجام آزمایشهای کیفی آب، محدودیت‌های تامین اعتبار، مشکلات محیط زیستی و تاثیر عنصرهای خارج از طرح؛

چون روش اجرای طرح تعیین کننده انجام مطالعات مرحله دوم و تهیه اسناد مناقصه و اسناد پیمان است در فصل هفتم مورد بحث قرار می گیرد.

فصل هفتم

روش‌های اجرایی پروژه‌های نمک زدایی در ایران

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- روش‌های اجرایی طرح
- مشارکت بخش خصوصی
- مزایا و محدودیت‌های گزینه بی او تی
- تامین منابع و مدیریت مالی
- مدیریت ریسک پروژه
- اصول طرح‌های راهگشا مانند بی او تی و بی او او

مقدمه

در فصل‌های گذشته اهمیت و ضرورت استفاده از منابع آب های شور و لب شور به کمک دانش و تکنولوژی‌های روز برای تولید آب مناسب جهت استمرار توسعه پایدار و همه جانبه در جهان و ایران مطرح شد. آنچه در فصل‌های گذشته ارائه گردید ابعاد مختلف انجام مطالعات در محدوده مرحله شناخت و اول است که در نهایت به تهیه مدارکی به نام گزارش مطالعات مرحله توجیهی خواهد انجامید. در بخش آخر گزارش مرحله اول باید به روشهای ممکن اجرای پروژه پرداخت

که با توجه به نوع، ابعاد و مشخصات طرح و سیاستهای دولت در نحوه مدیریت اجرا، بهره‌برداری و سرمایه گذاری گزینه‌های مختلف همراه با امتیازات و محدودیتهایی وجود دارد.

در روند انجام مطالعات تا به مرحله اجرا و بهره برداری نهادهایی از قبیل دستگاههای دولتی، سرمایه گذار، مشاور، سازنده و مجری طرح دخالت دارند که نحوه همکاری آنها تابع نوع قرارداد اجرایی است.

در چند دهه اخیر پروژه های زیربنایی به عنوان طرح‌های عمرانی و با منابع مالی عمومی از طریق سازمان‌های دولتی به عنوان دستگاه اجرایی انجام می گرفت، لیکن با روند افزایش جمعیت و نیاز به توسعه، به خصوص در طرح های زیربنایی دولت ها به دلیل محدودیت منابع مالی برای جلب سرمایه‌های بخش غیر دولتی و انتقال مسئولیت احداث بهره‌برداری و نگهداری به بخش خصوصی تحت عنوان خصوصی‌سازی گامهایی برداشته‌اند و از این طریق مشکلات تامین امکانات مالی در زمینه سرمایه گذاری به وسیله دولت‌ها کاهش یافته است.

در یک نگاه کلی قراردادها را براساس روش پرداخت هزینه ها و نیز روش اجرا تقسیم بندی می کنند. در گروه اول یعنی برمبنای روش پرداخت هزینه‌های اجرایی کارها، گزینه‌های زیادی وجود دارد که بعضی از آنها در طرح‌های نمک‌زدایی امکان کاربرد دارد و در بعضی دیگر استفاده از آنها همراه با محدودیت‌هایی است.

قراردادهایی که می توان علاوه بر هزینه واقعی تهیه، ساخت و اجرا، پرداختی اضافه به صورت درصد ثابت و یا درصد متغیر و یا ترکیبی از آن به مجری پرداخت کرد، دارای جذبه‌های مطلوبی برای مجری است زیرا می توان با تعریف مقدارهای کار و مشخصات فنی و امکان استفاده از تکنولوژی‌های نو، کار را به گونه‌ای به انجام رسانید که در این مسیر، پیمانکار مجری دچار ضرر و زیان نشود و طرح طبق مشخصات فنی تعریف شده به انجام برسد. در این روش می توان روی درصد پرداخت اضافی شرایط رقابت را از طریق برگزاری مناقصه فراهم کرد.

در این گروه از قراردادها یعنی قراردادهای بر مبنای روش پرداخت، گزینه‌های مختلفی وجود دارد که مورد بحث قرار نمی گیرد.

در گروه دوم یعنی قراردادهایی که بر مبنای روش اجرا تقسیم‌بندی می‌شوند. از مهمترین روش های این گروه که در کارهای آبی کاربرد داشته است روش حفظ استقلال چهار نهاد مسئول پروژه یعنی مشاور، سازنده، مجری و کارفرما است.

در این روش طبق مصوبه‌های هیئت وزیران در زمینه آیین‌نامه نحوه انتخاب و ارجاع کار به مشاوران و یا طبق بخشنامه سازمان برنامه و بودجه سابق نحوه تعیین و پرداخت حق الزحمه مشاوران، نحوه خدمات انجام مطالعات و تهیه طرح فازهای شناخت، اول و دوم و نظارت بر اجرا به مهندسان مشاور واگذار می‌شود. این روش هر چند به دلیل سابقه اجرایی به عنوان روش متداول دارای امتیازهایی است، ولی محدودیتی را به پروژه تحمیل می کند که از مهمترین محدودیت‌های آن موانع استفاده از نوآوریها و تکنولوژی‌های برتر روز است.

در این گروه علاوه بر روش اصلی پیشگفته که به نام "طرح- مناقصه- ساخت و اجرا"[1] شناخته می‌شود که دارای سه گزینه است، روش های مدیریتی مانند "مدیریت اجرا"[2]، "مدیریت طرح و ساخت"[3] نیز وجود دارد.

در روش های "مدیریت اجرا" و "مدیریت طرح و ساخت" نوعی قرارداد به نام "کلید در دست"[4] هم به کار گرفته می‌شود.

در بخش های بعدی این فصل با عنایت به دستورعمل نشریه ۳-۱۲۱ سازمان برنامه و بودجه سابق اشاره شده است که مشاور را ملزم می سازد که قبل از پایان مطالعات مرحله اول گزینه های ممکن اجرایی مناسب طرح را تعریف و مورد مقایسه قرار دهد تا کارفرما بتواند در خصوص گزینه مناسب تصمیمگیری کند.

ضمنا باید توجه شود که عوامل زیر در انتخاب گزینه اجرایی و حتی گزینه پرداخت هزینه‌ها دخالت دارند:

- پیچیدگی‌های فنی و حجم مقدارها و هزینه اجرای کار؛
- هزینه اجرای کار و روش‌های تامین بودجه آن و رابطه آن با مدت اجرا؛
- تصمیم دست اندرکاران نسبت به دخالت بخش خصوصی در کار؛
- قوانین و مقررات حاکم در کار و امکانات تغییر آنها بنا بر ضرورت زمانی و مکانی و استراتژیکی.

در خاتمه باید یادآوری کرد که تامین آب یکی از اولین نیازهای زیربنایی برای توسعه پایدار و همه جانبه در بخش‌های مختلف کشور، به خصوص در سواحل و جزایر جنوب کشور است که

1. Design- Bid-Procurement and Construction
2. Construction Management
3. Design and Construction Management
4. Turnkey

از کمبود آب در رنج هستند و جلب سرمایه و توان نیروی انسانی بخش خصوصی در توسعه این طرح‌های زیربنایی باید بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. به خصوص اینکه سازمان‌های بین‌المللی مانند بانک جهانی و بانک توسعه اسلامی نیز از این نوع سیاست ها حمایت می کنند.

روش‌های اجرایی طرح

با نگاه به دیاگرام شماره ۶-۱ فصل ششم می توان مشاهده کرد که در یک طرح جامع نمک‌زدایی آب بخش‌های بنیادی زیر وجود دارد که از دیدگاه سازه و تاسیسات دارای تفاوت‌های زیادی هستند. این بخش‌ها عبارتند از:

- سازه و تاسیسات آبگیری از دریا و یا منابع آب زیرزمینی؛
- سازه و تاسیسات عملیات پیش تصفیه؛
- سازه و تاسیسات واحدهای نمک زدایی؛
- سازه و تاسیسات تصفیه نهایی؛
- سازه و تاسیسات دفع پساب ها و فاضلاب‌های فرایندهای به کار رفته.

در بخش آبگیر همان‌طور که در فصل ششم یادآوری شد بخش اصلی کار، عملیات سازه آبگیر است که با خصوصیات زمین شناسی، ژئوتکنیک و اقیانوس شناسی ارتباط نزدیک دارد و تاسیسات آن در شرایطی بسیار ساده است. در مقابل بخش نمک زدایی از بیشترین حجم تاسیسات برقی، هیدرولیکی و مکانیکی بهره می گیرد و بخش پیش تصفیه در بسیاری از شرایط محدود به فیلترهای ماسه‌ای تحت فشار و تاسیسات افزایش اسید و بازدارنده ترسیب است. تاسیسات دفع پساب بسته به گزینه انتخابی دارای کارهای تاسیساتی بسیار، مانند لوله تخلیه پساب به دریاست که نیاز به عملیات سازه زیادی دارد.

برای تاسیسات آبگیر و پیش تصفیه نشریات مفصلی مانند نشریه ۳-۱۲۱ و ۱۳۳- الف و ۳۲۴- الف از سوی سازمان‌های دولتی تهیه شده است که برای انجام مطالعات و تهیه اسناد باید مورد استفاده قرار گیرند. به هر حال در صورتی که سرمایه گذاری از طرف بخش دولتی انجام گیرد ۳ گزینه وجود دارد که عبارتند از:

- **گزینه اول**: در این گزینه طبق نشریه شماره ۳-۱۲۱ مشاور مسئول باید مطالعات مربوط به

کیفیت آب و فرایندهای لازم را انجام دهد و پس از مقایسه گزینه‌ها، گزینه برتر را پیشنهاد کند و پس از تصویب از طرف سرمایه‌گذار یا کارفرما، مشاور نسبت به تهیه اسناد مناقصه تهیه، ساخت، حمل، نصب و راه اندازی تاسیسات الکترومکانیکال اقدام کند. پس از انجام مناقصه و انتخاب شرکت تامین کننده تجهیزات[1]، اسناد عملیات احداث توسط مشاور تهیه و پس از مناقصه دوم، شرکت مجری "عملیات احداث"[2] تعیین می‌شود.

این روش کار که سه نهاد مشاور، سازنده تجهیزات و پیمانکار سیویل هر کدام به طور مستقل کار خود را انجام می دهند، روشی است که برای اجرای بیشتر تصفیه خانه‌های بزرگ آب کشور مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش شرکت‌های آب منطقه‌ای و یا آب و فاضلاب به نمایندگی سرمایه‌گذار و یا دولت در تمام مراحل مطالعات، انجام مناقصه و اجرای کار درگیر و ناظر بوده و روند پیشرفت کارها را کنترل می کنند.

در تهیه اسناد مناقصه تجهیزات الکترومکانیکال و انتخاب شرکت سازنده تجهیزات لازم است شرایط قانونی مناسبی در اسناد پیش بینی شود تا بتوان از نوآوری‌ها و پاتنت‌های روز جهان بهره گرفت. زیرا با روند تغییر کیفیت آب خام در طول عمر مفید طرح، باید از فرایندهای دیگر نیز برای تصفیه آب استفاده کرد. این روش اجرا با تغییرات نه چندان درخور توجهی می‌تواند برای طرح‌های نمک‌زدایی هم مورد استفاده قرار گیرد.

بدین ترتیب که می‌توان مقادیر اصلی کارهای سازه و الکترومکانیکال بخش‌های بنیادی طرح را تعیین کرد و پس از تهیه مشخصات فنی آنها، اسناد مناقصه تهیه شود و شرکت‌های اجراکننده و سازنده تجهیزات به صورت مشارکت در مناقصه شرکت می کنند. با توجه به محدود بودن عملیات احداث[3] این روش می‌تواند مقبولیت داشته باشد.

- **گزینه دوم**: در گزینه دوم روش اجرا، مهندس مشاور مسئول انجام مطالعات پس از تهیه اسناد مناقصه تجهیزات الکترومکانیکال، نسبت به تهیه مقادیر عملیات احداث فرایندی و غیرفرایندی اقدام و اسناد مناقصه کارهای الکترومکانیکال و عملیات احداث را یکجا تهیه می کند و لذا انتظار می رود که یک شرکت سازنده تجهیزات با همان مشخصات فنی گزینه قبلی با یک شرکت کارهای اجرایی به طور مشترک در مناقصه شرکت کنند.

---

1. Procurement Company
2. Construction Company
۳. اجرای عملیات ساختمانی

این روش چه برای تاسیسات پیش تصفیه و تصفیه نهایی و چه برای تاسیسات نمک زدایی درخور استفاده است. در واقع این روش کارایی بهتری برای کارهای نمک زدایی نسبت به گزینه اول دارد.

- **گزینه سوم**: در گزینه سوم که بر مبنای تصمیم سرمایه گذار دولتی است که قرار است کار به صورت "ای پی سی"[1] انجام گیرد، مشاور براساس گزینه برتر مطالعات مرحله توجیهی که مورد تصویب سرمایه‌گذار دولتی قرار گرفته است، طرح پایه و یا طرح مبنا را با توجه به آیین نامه‌های ای پی سی تهیه می کند و انتظار می‌رود که حداقل ۳ شرکت متخصص دارای صلاحیت در رسته خود به صورت مشترک کار طراحی تفصیلی، تدارک تجهیزات و عملیات احداث را به عهده بگیرند.

در واقع موضوع مناقصه عبارت خواهد بود از طراحی و اجرای تمام تاسیسات هیدرولیکی، مکانیکی، برقی، ابزار دقیق، سیویل و نصب تجهیزات و راه‌اندازی و در شرایطی بهره‌برداری به مدت ۱ سال البته با توجه کامل به طرح مبنا و معیارهای طراحی، مشخصات فنی و محدودیت های مربوط. در تهیه اسناد مناقصه باید شرایطی فراهم شود که بتوان از آخرین دستاوردهای علمی و صنعتی این حرفه استفاده کرد و لذا شرایط پیشنهاد گزینه مورد نظر در قرارداد به صورت "ای پی سی" باید فراهم گردد و پیچیدگی‌های قانونی نباید مانع استفاده از آن شود.

در تدوین اسناد قرارداد "ای پی سی" توجه به استانداردهای ساخت تجهیزات و طرح و اجرای عملیات احداث و تولید آب باید با دقت عمل شود تا شرکت کنندگان در مناقصه با درک کافی از نظرات مناقصه گذار بتوانند پیشنهادهای خود را ارائه کنند.

شرایط بهره‌برداری و تولید آب در سال اول آزمایشی باید شفاف و روشن تدوین شود و یاداوری گردد که کلیه هزینه‌های تولید آب به عهده مشارکت تحت قرارداد "ای پی سی" بوده و آموزش متصدیان بهره‌برداری نیز در این سال‌ها باید انجام گیرد.

از مزایای این روش در صورتی که در تهیه اسناد به خصوص طرح پایه دقت‌شود عبارت است از:

۱. همکاری نزدیک ۳ نهاد علمی - اجرایی و سازنده در حد مطلوبتر؛

---

1. Engineering Procurement and Construction (EPC)

۲. امکان استفاده از پاتنت[1] شرکت سازنده به دلیل آزادی عمل ۳ نهاد؛

۳. کوتاهتر شدن دوره زمانی اجرای طرح

۴. مسئولیت پذیری بهتر در دوران بهره برداری توسط مشارکت ای پی سی

در تهیه اسناد قرارداد "ای پی سی" توجه به چند اصل ضرورت دارد تا مناقصه و اجرای کار با سهولت پیشرفت کند.

- **اصل اول**: در طرح مبنا که بر گرفته از گزینه برتر مطالعات فاز اول مصوب است، فرایندهای تصفیه، معیارهای طراحی، تعداد استریم‌ها، هیدرولیک سیستم، ابزار دقیق کنترل عملکرد و کیفیت تولید آب همراه با مقادیر بخش‌های اساسی کار و مشخصات فنی تمام تاسیسات الکترومکانیکال باید شفاف تعریف شده باشد و هر چه مشاور مسئول در این بخش کار صحیحتری انجام دهد مناقصه در قالب "ای پی سی" آسانتر انجام می گیرد.
- **اصل دوم**: اگر مشارکت دارای گزینه‌ای غیر از طرح مبنای اسناد است می‌تواند آن را به صورت گزینه پیشنهادی مشارکت ارائه کند و در صورتی که براساس طرح مبنا برنده اعلام شد درخواست بازکردن و بررسی گزینه پیشنهادی مشارکت را بنماید و کمیته مجری مناقصه می‌تواند در مورد قبول و یا رد آن تصمیمگیری کند.

منطق اصلی پیشنهاد دوم این است که برای سرمایه گذار امکان استفاده از تکنولوژی‌های نو فراهم شود. و به همین دلیل اسناد باید طوری تهیه شود که شرکتهای بین المللی سازنده تجهیزات تصفیه خانه های آب بتوانند در مناقصه شرکت کنند و از این رهگذر بتوان از آخرین دستاوردهای صنعتی این حرفه بهره گرفت. از مهمترین اختلافات بین سازندگان، خصوصیات ممبران و ابزار بازیافت انرژی آن‌هاست که نقش محسوسی در کاهش هزینه تمام شده آب دارد.

مشارکت بخش خصوصی

افزایش سریع جمعیت کشور، به خصوص در مناطق کم آب جنوب و ضرورت طرح و اجرای طرح‌های توسعه همه جانبه در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری و در نتیجه ضرورت طرح

1. Patent

و اجرای تاسیسات خدمات زیربنایی مانند تامین آب و با توجه به محدودیت پتانسیل آب و امکانات مالی و فنی بخش دولتی در این مسیر ما را وادار می نماید که مانند بسیاری از کشورها در راه استفاده از امکانات بخش خصوصی گام برداریم. این برنامه دارای توجیهات زیر است:

۱. واگذاری مسئولیت تمام مراحل خدمات مربوط به تامین آب به عنوان یک طرح زیربنایی در توسعه به بخش خصوصی و انجام نظارت دولتی در هدفمند بودن و پایداری طرح جهت اطمینان از تامین نیازهای عمومی.

۲. استفاده از سرمایه های مالی و نیروی انسانی بخش خصوصی که معمولا دارای پتانسیل بیشتری نسبت به بخش دولتی است. به طور اجمال می توان مشارکت بخش خصوصی را در طرح های نمک زدایی آب برای مصرفهای شرب به روش های زیر تقسیم بندی نمود:

- خصوصی سازی؛
- قراردادهای خدماتی مانند بهره برداری و مدیریت؛
- قراردادهای واگذاری امتیاز و اجاره دادن مالکیت دولتی؛
- طرح های راهگشا[1].

گرچه برای ترغیب بخش خصوصی در مشارکت برای اجرای طرح های عمرانی بهتر است با روش های دوم و سوم شروع نمود، لیکن با توجه به روند انجام کارها در چند سال اخیر ابتدا به بحث خصوصی سازی پرداخته می شود.

خصوصی سازی[2]

روش کار در خصوصی سازی عبارت از فروش دارایی های صنعت آب توسط دولت به بخش خصوصی و در نتیجه انتقال تمام مسئولیت تولید کمی و کیفی آب به آن بخش و با نظارت دستگاه دولتی است. از مهمترین امتیازات این روش کار عبارت است از:

- افزایش درآمد و کاهش مسئولیت دولت در این بخش که می‌توان گفت کاهش در حوزه تصدی گری و افزایش حوزه حاکمیت؛

1. Green field Projects

2. Privatization

- به کارگیری سرمایه های بخش خصوصی در بخش‌های زیربنایی؛
- افزایش سودمندی عملکردها و کمیت و کیفیت خدمات‌رسانی.

زیرا تجارب جهانی نشان می دهد که بخش خصوصی می تواند آزادتر و با محدودیت کمتر عمل کرده و در توسعه خدمات زیربنایی مانند آب مفید فایده واقع گردد. باید توجه داشت که:

آب به عنوان یک کالای حیاتی زندگی روزمره مردم مورد سوء مدیریت بخش خصوصی قرار نگیرد و لذا دستگاههای نظارتی همراه با اهرم های قانونی باید نظارت بر کارها را داشته باشد.

چون معمولا بهبود کیفیت خدمات رسانی همراه است با افزایش قیمت تمام شده لذا بخش های کم در آمد ممکن است در مصرف آب دچار محدودیت بشوند و لذا در این زمینه نیز توجهاتی ضرورت دارد که در همان نظارت ها اعمال می شود.

برای موفقیت در خصوصی سازی در امر نمک زدایی باید شرایطی فراهم شود که بخش خصوصی رغبت به سرمایه گذاری در این راه پیدا نماید که در بخش موافقتنامه ها مطالبی ارائه شده است.

به عنوان چکیده مطلب اگر ریسک های طرح بیشتر متوجه بخش خصوصی گردد تمایل بخش خصوصی به سرمایه گذاری کمتر می شود و مسلما برعکس اگر ریسک ها بیشتر متوجه دولت بشود ممکن است اهداف پروژه که تولید آب مطلوب از نظر کمی و کیفی است تحقق پیدا نکنند لذا سیاست انتخاب بهترین موافقتنامه بحث کج دار و مریز است.

لذا برای دستیابی به عملکرد مطلوب و برای ترغیب سرمایه گذار برای تولید آب بهتر و ارزانتر ضرورت دارد که راههای قانونی نظارت و اهرم های تشویق و ترغیب و شاخص های نظارتی را به طور شفاف و غیر قابل تفسیر تامین نمود.

واگذاری امتیاز

در این روش دولت دارایی‌های خود را به بخش خصوصی نمی فروشد و منتقل نمی کند، بلکه امتیاز استفاده از آن را به بخش خصوصی واگذار می نماید و بخش خصوصی مسئولیت بهره‌برداری و نگهداری ابنیه و تاسیسات را به عهده می گیرد، احیاء و توسعه هم به وسیله بخش خصوصی انجام می گیرد.

مدت واگذاری امتیاز طولانی و معمولا حدود ۲۰ سال است تا شرکت مسئول با فروش آب سرمایه و سود خود را علاوه بر هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری به دست آورد و در صورت سرمایه‌گذاری سود سرمایه و استهلاک سرمایه هم لحاظ می گردد.

انتخاب روش کار هم از طریق مناقصه یا مذاکره مستقیم است. بخش خصوصی در کشورهای در حال توسعه که دارای سرمایه های قابل ملاحظه برای خرید تاسیسات نیست، احتمالا از این سیاست های بخش دولتی استقبال خواهد نمود. لذا بخش خصوصی با توسعه روش‌های مناسب بهره برداری و نگهداری و تعریف تعرفه ها و ارایه خدمات علاوه بر هزینه های تولید و سود منطقی ممکن است برای توسعه های آینده هم در آمدزایی نماید. تمام فعالیت‌های بالا باید مورد حمایت قوانین و آیین نامه‌های جاری کشور قرار گیرد.

اجاره

قراردادهای اجاره ای خیلی شبیه به واگذاری امتیاز است. اما توسعه طرح در محدوده مسئولیت بخش خصوصی نخواهد بود و برای آن باید از سرمایه دولت بهره گیری شود. مدت قراردادهای اجاره ای ۵-۸ سال است.

در طرح‌های کوچک، روش اجاره راحتتر انجام می گیرد و برای تشویق بخش خصوصی در کارهای واگذاری و طرح های راهگشا شروع مناسبی است. روش اجاره حتی دارای جذبه‌های بیشتری نسبت به واگذاری امتیاز است.

در صورت تدوین هرگونه قانون جدید که فعالیت های بخش خصوصی را دچار محدودیت نماید یا حقوق واگذار شده سلب گردد، بخش خصوصی به طور یک جانبه می تواند اعلام فسخ قرارداد نماید. در تدوین اجاره نامه و یا موافقتنامه مربوط به اجاره سرفصل‌های زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- تعریف شفاف دو طرف قرارداد و اهداف قرارداد؛
- تعریف مسئولیت ها، اختیارات و تعهدات طرفین؛
- تعریف موضوع و محدوده مورد اجاره به طور جامع؛
- مدت اجاره و کمیت و کیفیت آب تولیدی؛
- چارت سازمانی نیروی انسانی و سوابق علمی - تجربی آنها؛

- تعریف شاخص های عملکرد و شاخص های بهره برداری و نگهداری؛
- تعریف تعرفه‌های مورد عمل و دلایل لزوم تجدید نظر و قیمت فروش آب و مالیات‌ها و عوارض؛
- اختیارات دستگاه دولتی در نظارت بر اجرای موافقتنامه؛
- تعریف بیمه های لازم؛
- ضمانت نامه ها؛
- اختلاف و حکمیت؛
- شرایط اضطراری؛
- استمرار تولید پس از پایان موافقتنامه؛
- گزارش های مستمر در فواصل معین؛

بهره‌برداری و مدیریت

طبق این قراردادها بخش خصوصی مدیریت و بهره برداری تاسیسات آب و یا فاضلاب را به عهده می گیرد و مانند اجاره، مالکیت سرمایه ها در اختیار دولت است بخش خصوصی برای توسعه هم سرمایه گذاری نمی کند، اما با اجرای روش های مدیریت کارامدتر به سود بیشتری می تواند دست یابد.

در کشورهایی که انواع یا آثار ریسک ها زیاد است و جلب سرمایه های بخش خصوصی با مشکل روبروست روش‌های بالا می‌تواند زمینه تشویق و ترغیب سرمایه به سوی بخش خصوصی را فراهم نماید. مدت این قراردادها حدود ۳-۷ سال است زیرا مسئله بازگشت سرمایه مطرح نیست و هدف نهایی توسعه مدیریت و برای عملکرد بهتر بوده و در نتیجه بخش خصوصی با ارائه خدمات مدیریتی از این طریق به درآمد منطقی دست می‌یابد. باید توجه داشت که نکته اصلی این روش در این است که بخش خصوصی بتواند با تعریف و توافق تعرفه‌های منطقی به درآمدی دست یابد که آن را بتوان اقتصاد پایدار نامید.

خدمات خاص

در مواردی دولت مسئولیت کامل بهره برداری از تاسیسات را واگذار نمی نماید ولی بخش هایی از فعالیت ها را برون سپاری می نماید مانند اینکه علیرغم عدم واگذاری امتیاز و اجاره به بخش

خصوصی انجام خدمات خاص از بخش خصوصی برای اموری از قبیل کنتورخوانی، تهیه فیش، دریافت آب بهاء، تعمیرات خاص و مانند آن استفاده می کند. و بدین ترتیب امکانات خود را در راه توسعه بخش‌های اصلی و عمده به کار می‌برد. ناگفته نماند که می‌توان به موازات روش‌های دیگر در برخی موارد از ترکیب روش‌های بالا نیز برای مشارکت بخش خصوصی در طرح‌های زیربنایی نمک زدایی آب و کارهای مشابه دیگر بهره گرفت.

طرح‌های راهگشا

کشورهایی که به دلیل افزایش سریع جمعیت و در نتیجه افزایش نیاز به توسعه طرح های زیر بنایی مانند تامین آب شهری و صنعتی با کمبود امکانات اعتباری و نیروی انسانی روبه‌رو هستند متوجه استفاده از طرح های راهگشا شده‌اند.

در این نوع طرح ها مانند روش "بی او او" و "بی او تی" بخش خصوصی مسئولیت انجام مطالعات، ساخت و تهیه و اجرا و بهره‌برداری همراه با سرمایه گذاری را به عهده می گیرد و پس از احداث و شروع بهره‌برداری با فروش آب تولیدی هزینه های تولید و بازگشت سرمایه و سود لازم را دریافت می کند. در بیشتر موارد دولت خرید آب را در مدت زمان قرارداد تضمین می کند تا ریسک بازار برای سرمایه گذار حذف و یا کمتر شود.

بخش خصوصی معمولا به صورت مشارکت مشاور، سازنده، مجری و سرمایه گذار مسئولیت کارها را به عهده می گیرد و در کشورهای توسعه یافته دولتها از این نوع طرح‌ها استقبال می کنند. طرح های راهگشا در بخش های کم آب جنوب کشور و جزایر بسیار امیدوار کننده است. در این روش اجرا لازم است که مطالعات مراحل شناخت و اول انجام گرفته و پس از تعریف مشخصات گزینه برتر و حدود کار از دیدگاه منبع آب خام، تاسیسات آبگیر، تاسیسات پیش تصفیه، تاسیسات نمک زدایی و تصفیه نهایی و بالاخره روش دفع پساب و فاضلابها و تصویب آن توسط دستگاه دولتی مسئول، حال با توجه به روش اجرا که در زیر خواهد آمد طرح پایه و یا طرح مبنا باید تهیه شود و بر مبنای آن اسناد مناقصه در اختیار داوطلبان قرار گیرد. لذا مشاور برای ادامه مطالعات و تهیه اسناد مناقصه پروژه‌های راهگشا لازم است که کلیات طرح را طوری تهیه کند که در عین ایجاد محدودیت ها، شرکت کنندگان به روش مناقصه بتوانند رقابت کنند و از این طریق دولت از بهترین پیشنهاد استفاده کند. استفاده از امکانات بخش خصوصی

در کشورهای اروپایی و آمریکا دارای سابقه ای بیش از ۱۰۰ سال است. باید توجه داشت که در اسناد مناقصه این طرح ها تحلیل امکانسنجی اقتصادی، تحلیل حساسیت اقتصادی طرح و برآورد مقدماتی ساختار سرمایه باید منعکس شود که در بخش‌های بعدی آورده شده است. اما قبل از ورود به بحث طرح های راهگشا چند نکته باید مورد توجه قرار گیرد.

۱. تا زمانی که بخش دولتی مسئولیت تامین، تصفیه و توزیع آب جامعه را به عهده دارد به دلایل سیاسی و اجتماعی تعرفه‌های آب را پایین نگاه می‌دارد و لذا بخشی از هزینه‌های تولید و توزیع را از درآمد عمومی می پردازد و هدف اصلی این است که بخش‌های کم درآمد جامعه از دسترسی به آب محروم نشوند. و وقتی کار به دست بخش خصوصی سپرده می شود و قرار است که بخش خصوصی بدون کمک یارانه کار تولید آب را در چارچوب یک بنگاه اقتصادی انجام دهد طبیعی است که بهای آب و خدمات مربوط افزایش می‌یابد.

۲. باید توجه داشت که در یک منطقه تاسیسات تولید آب تاسیسات انحصاری است و لذا از قوانین آزاد تجارت تبعیت نمی کند و برای جلوگیری از افزایش غیر منطقی قیمت‌ها به وسیله تامین کننده آب، باید مقررات موثری تدوین شود و نظارت بر اجرای آن تضمین گردد. هدف این مقررات در عین تشویق و کمک به مشارکت و یا سرمایه گذار، لازم است از مصرف کننده هم حمایت شود. لذا در تدوین تعرفه ها حقوق تامین کننده و مصرف کننده باید همپای هم رعایت شود. با توجه به مطالب فوق و هدفهای توسعه، طرح‌های راهگشا در گزینه‌های متعددی تدوین شده است که از آن جمله در زیر به چند مورد اشاره می‌شود:

- ساخت، مالکیت، بهره برداری[1] ؛
- ساخت، بهره برداری، انتقال[2] ؛
- ساخت، اجاره، انتقال[3] ؛
- اجاره ،توسعه، بهره‌برداری[4] ؛
- ساخت، انتقال، بهره‌برداری[5] ؛

لازم به توضیح است که هر جا کلمه ساخت آمده، شامل انجام مطالعات مرحله دوم و تهیه

1. Build - Own-Operate
2. Build - Operate - Transfer
3. Build - Lease-Transfer
4. Lease -Develop - Operate
5. Build - Transfer - Operate

و ساخت و اجرای تاسیسات لازم، طبق دیاگرام شماره ۶-۱است. هر یک از گزینه‌ها دارای مزایا و محدودیت‌هایی است و نیاز به قرارداد و یا موافقتنامه خاص دارد که از گفتگو درباره آنها خودداری می شود و مراجعه به نشریه های تخصصی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی توصیه می گردد و تنها در مورد روش اصلی ساخت - مالکیت - بهره‌برداری به تفضیل بیشتر گفتگو خواهد شد.

در تمام گزینه‌های مشارکت بخش خصوصی هدف‌های پیشگفته وجود دارد اما باید توجه داشت که در تهیه اسناد مناقصه و در برگزاری فرایند آن و اعلام برنده توسط دستگاه‌های مناقصه‌گذار باید از تخصص‌های فنی، مالی و حقوقی بهره گرفت و مشارکت هم نیاز به همکاری متخصصان حقوقی، بانکی، فنی و مدیریتی و حتی بیمه دارد.

شفافیت اسناد مناقصه و تضمین‌های تولید و خرید نیاز به قراردادهایی دارد که کم توجهی در تدوین آنها ممکن است برای دو طرف سرمایه‌گذار و سرمایه پذیر مشکلات جدی به وجود آورد. به هر حال پس از ارزیابی پیشنهادهای رسیده با معیارهای مشخصات فنی و قیمت تمام شده، اعتمادپذیری به سرمایه گذاران و پیمانکاران مشارکت و تعیین برنده مناقصه، موافقتنامه بین سرمایه پذیر و یا سازمان به نمایندگی دولت و مشارکت اقدامات تکمیلی و ثبت شرکت پروژه تعریف شده را همراه با تعیین مسئولیت های عناصر مشارکت انجام داده و اولین بخش از سرمایه لازم برای شروع کار را فراهم می کند.

برای اجرا و نظارت بر آن به وسیله سرمایه پذیر و نظارت بر دوران بهره برداری و بالاخره مرحله انتقال در صورت انتخاب گزینه انتقال لازم است موافقتنامه جامعی تدوین شود.

مزایا و محدودیت‌های گزینه "بی او تی"

یکی از گزینه‌های طرح‌های راهگشا، بی او تی یعنی ساخت، بهره‌برداری و انتقال است. همان‌طور که در بالا گفته شد استفاده از روش بی او تی دارای امتیازهای درخور توجهی است و در صورتی که شرایط لازم برای اجرای آن توسط دولت‌ها فراهم شود در تولید آب به عنوان یک کالای لازم برای توسعه می توان نتایج مطلوبی بدست آورد از مزایای روش دعوت بخش خصوصی به سرمایه گذاری و تولید آب به روش بی او تی به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱.استفاده از سرمایه ها و نیروی انسانی بخش خصوصی در طرح، ساخت و بهره‌برداری تاسیسات تولید آب چون نمک زدایی و با توجه به ماهیت این بخش سرعت اجرا بیشتر شده و می تواند آبی ارزانتر تولید کند زیرا معمولا در بخش خصوصی سودمندی و کارایی ممکن است بیشتر از بخش دولتی باشد. البته به شرطی که دستگاه دولتی و یا نمایندگان بخش مصرف کننده نظارت تخصصی بر بهره‌برداری و نگهداری و آنالیزهای اقتصادی تولید داشته باشند.

۲.در حالی که با انتقال تکنولوژی‌های نو و اصول مدیریت بهتر می‌توان آبی ارزانتر تولید کرد لیکن برای پروژه‌های با به‌کارگیری تکنولوژی‌های نو مشکلتر است و این امر از محدودیت‌های این روش است.

۳. چون انتقال مالکیت کارخانه در پایان قرارداد به دولت، در طرح دیده می‌شود این امکان وجود دارد که در نگهداری تاسیسات دقت لازم به‌کار نرود و تاسیسات در پایان قرارداد در شرایط مطلوبی به دولت و یا سرمایه پذیر منتقل نشود، یعنی تاسیسات در شرایط اسقاط تحویل گردد. در درازمدت این نوع طرح ها با برنامه‌های استراتژیک خصوصی‌سازی مغایرت دارد. زیرا در نهایت دولت باید دوباره مسئولیت تولید آب را به عهده بگیرد.

۴. از معایب دیگر گزینه ساخت، بهره‌برداری و انتقال این است که برای موفقیت نیاز به حمایت مسئولان دولتی داشته و به دلیل طولانی بودن فرایند احداث و بهره‌برداری پروژه باید شرایط حمایت از سرمایه‌گذاری حاکم باشد.

۵. به علت طولانی بودن فرایند تکمیل تا راه‌اندازی طرح و در طول دوره به نسبت دراز بهره‌برداری، ریسک‌های بسیار زیادی وجود دارد.

۶. برای دستیابی به هدف‌های طرح، به قوانین و مقررات مشخص و تعریف شده نیاز است.

۷. مشکلات تامین سرمایه و پیچیدگی‌های اداری - حقوقی و مالی وجود دارد که باید اصلاح شود.

۸. در تعیین تعرفه‌های مربوط به خرید آب، بخش دولتی به عنوان سرمایه‌پذیر باید با دقت وارد عمل شود و در صورتی که خود در سرمایه‌گذاری شرکت کند از درون شرکت و از بیرون می‌تواند منافع مصرف‌کنندگان را بهتر حفظ کند. لذا دولت، و یا دستگاه سرمایه پذیر باید به کمک قوانین و تسهیلات، به طور منطقی از مشارکت بخش خصوصی حمایت نماید تا از این طریق در طرح‌های مشابه دیگر نیز بخش خصوصی احساس امنیت کند و مشارکت جوید.

مهمترین بسترهای پشتیبانی عبارت است از:

۱. تضمین خرید آب و امتیازات مالیاتی؛

۲. توزیع ریسک‌های پروژه و حمایت‌های لازم؛

۳. تامین زمین و تسهیلات دیگر مورد نیاز پروژه؛

۴. تضمین تامین انرژی و آب خام.

از مشکلات روش "بی او تی" تامین سرمایه از طریق وام و آورده و ضرورت تدوین قوانین و مقررات لازم را می‌توان برشمرد.

تامین منابع و مدیریت مالی

برای موفقیت طرح هایی که مبنای آن استفاده از سرمایه های بخش خصوصی است در مراحل مختلف توسعه طرح نیاز به تحلیل های اقتصادی است تا آورندگان آورده و وام دهندگان طرح تحت نام سرمایه گذاران بتوانند بدون نگرانی سرمایه خود را در مطالعه، ساخت و بهره برداری پروژه نمک زدایی به کار اندازند.

لذا آنالیزهای فنی و اقتصادی برای کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری پروژه ضرورت دارد و باید به وسیله یک گروه متخصص انجام بگیرد. در طراحی‌ها باید توجه داشت که محافظه‌کارانه بوده و از استفاده از تکنولوژی‌های با سابقه کم اجتناب شود.

لذا در مطالعات فاز اول طرح های نمک‌زدایی که قرار است به صورت انواع روش‌های راهگشا انجام گیرد، آنالیزهای مربوط به هزینه‌های سرمایه‌ای و بهره‌برداری و نگهداری همراه با آنالیزهای مربوط به بازپرداخت وام و سود مربوط و جبران هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تحت نام تحلیل‌های امکانسنجی انجام گیرد و شرایط به نحو کامل در اسناد مناقصه برای اطلاع سرمایه‌گذاران بالقوه ارائه شود.

به طور کلی هدف‌های مدیریت مالی که تقریبا در طول توسعه طرح و بهره‌برداری باید استمرار یابد عبارتند از:

- تنظیم موافقتنامه‌های مالی؛
- انتخاب بهترین روش تامین سرمایه و کاهش هزینه‌های تامین سرمایه؛
- ایجاد و افزایش انگیزه و جذابیت‌های سرمایه گذاری‌ها برای وام دهندگان و آورده گذاران؛

- ارائه اطلاعات شفاف جهت آنالیزهای لازم برای اطمینان به سودآوری برای وام دهندگان؛
- بررسی و تشخیص ریسک‌های پروژه و توزیع مناسب ریسک‌های مربوط بین طرف ها؛
- بهنگام کردن وضعیت مالی پروژه در تمام مراحل کار.

در این راستا باید توجه داشت که:

- هر چه میزان آورده به وسیله آورده‌گذاران بیشتر باشد، وام دهندگان به طرح اعتماد بیشتری پیدا کرده و وام را آسانتر به طرح تخصیص می‌دهند.
- دادن تضمین‌های لازم مورد درخواست وام دهندگان باید مورد عنایت سرمایه پذیر قرار گیرد.
- به دلیل اینکه طرح های تولید آب از طریق نمک زدایی معمولا در مناطق مورد نظر، دارای شرایط انحصاری است اطمینان به سودآوری آنها بیشتر از بسیاری از طرح های زیربنایی دیگر است.

به هر حال در صورتی که مطالعات مرحله توجیهی در مسیر صحیحی انجام گرفته و با توجه به تجربه‌های طرح های در حال بهره برداری مشابه و دسترسی به قیمت های تهیه تاسیسات الکترومکانیکال و اجرای سازه‌های بخش‌های بنیادی طرح، دیاگرام شماره ۶-۱ فصل ششم براورد هزینه‌ها برای سرمایه گذاری با توجه به درصد کارهای پیشبینی نشده می‌تواند درخور اطمینان باشد. با عنایت به عمر مفید بخش‌های مختلف طرح و نرخ سود بانکی رایج، این نوع سرمایه‌گذاری ها و میزان تولید آب دارای تضمین خرید، قیمت تمام شده واحد حجم آب برای سرمایه‌گذاری قابل محاسبه است و در صورتی که از نرم افزارهای مناسب برای این کار استفاده شود عوامل متغیر را نیز برای شرایط مختلف در محاسبه‌ها می‌توان در نظر گرفت و حدود قیمت تمام شده را تعیین کرد.

از طرف دیگر با توجه به میزان تولید آب و در نتیجه دانستن میزان مصرف مواد شیمیایی و نیروی الکتریسیته که در صورت امکان از تاسیسات مشابه با توجه به اختلافات آنها می‌توان به دست آورد و یا با کمک نرم افزارهای موجود در بخش سازنده ممبران‌های مورد نظر که به‌دست آوردنی است می‌توان هزینه‌های بهره‌برداری را تعیین کرد. البته هنوز هزینه‌های نیروی انسانی بهره‌بردار و مدیریت مربوط و هزینه‌های تعمیر و تعویض و به‌طور کلی نگهداری تعیین نشده است که محاسبه‌پذیر است. اما می‌تواند در مرحله بهره‌برداری دچار تغییرات زیادی شود.

بدین ترتیب می‌توان قیمت تمام شده آب را برای ردیف‌های زیر و به صورت حدود حداکثر و حداقل تعیین کرد:

- بر مبنای سرمایه‌گذاری و نرخ بازگشت سرمایه و عمر مفید تاسیسات برای بخش‌های بنیادی آبگیر، پیش تصفیه، تاسیسات نمک زدایی، تصفیه نهایی و دفع پساب؛
- بر مبنای مصرف انرژی در بخش‌های بنیادی طرح؛
- بر مبنای مواد شیمیایی در بخش‌های بنیادی طرح؛
- بر مبنای نیروی انسانی بهره‌بردار در بخش‌های بنیادی طرح؛
- بر مبنای تعمیرات و نگهداری در بخش‌های بنیادی طرح.

و تهیه جدول‌های مناسب تحت نام گزارش اقتصادی امکانسنجی طرح تا شرکت کنندگان در مناقصه بی. او. او. و یا بی. او. تی بتوانند با مسئولیت خویش از رقم‌های حاصل از مطالعه‌های امکان‌سنجی استفاده کنند.

باید توجه کرد که مسئله درصد آورده و درصد وام مسائلی است که شرکت کنندگان در مناقصه باید به آن بپردازند و یا دستگاه وام‌دهنده و یا سهامداران و یا آورندگان سرمایه در زمینه نحوه بازپرداخت وام‌ها و سود آنها راه‌های مختلف را بررسی و گزینه‌ای را انتخاب کنند که برای تهیه و پیشنهاد فنی و مالی بهتر، شانس بیشتری دارد.

در واقع با فرض اینکه مطالعات امکانسنجی به حقیقت بسیار نزدیک است انتخاب چگونگی پاسخ به آنها برای برنده شدن در مناقصه به عهده مشارکت هاست. حال مشارکت براساس گزارش مالی امکانسنجی گزینه‌های مختلف مالی را باید تدوین کند که تابعی است از درصدهای مختلف وام و آورده و نرخ‌های سود مربوط که حدود سوداوری پروژه آینده خود را تعیین نماید. برای تصمیمگیری نهایی لازم است تحلیل‌های اقتصادی مراحل مختلف طرح را انجام و برای ارائه پیشنهاد، تصمیمگیری کند.

مشاهده شد که از مهمترین ملزومات طرح‌های راهگشا برای توسعه وجود سرمایه است و امکانات کشورهای در حال توسعه در مقابل افزایش جمعیت و افزایش نیازهای طرح‌های زیربنایی چون تامین آب و به خصوص تامین آب از منابع شور محدود است، لذا وضع قوانین و مقررات برای ترغیب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، چه سرمایه‌های بخش خصوصی داخل کشور و چه سرمایه‌های خارج از کشور از اولین پیش‌نیازهای موفقیت در این راه است.

با توجه به اینکه معمولا ورود سرمایه‌های خارجی همراه است با ورود تکنولوژی‌های نو، لذا باز کردن راه ورود سرمایه‌های خارجی در نهایت می‌تواند باعث کاهش هزینه‌های تولید آب هم بشود. زیرا از اولین امتیازات تکنولوژی‌های نو ارزانتر تمام شدن تولید هر محصولی مانند آب نمک‌زدایی شده است.

طبیعی است که ورود سرمایه‌های خارجی نیاز به ایجاد بسترهای لازم دارد و هم پیامدهای مثبت و منفی که بحث درباره آنها از محدوده این کتاب خارج است و تنها هدف از مطرح کردن آن جلب توجه دستگاه‌های مسئول است.

مدیریت ریسک پروژه

پیچیدگی‌های مالی، اداری و سیاسی طرح‌های نمک زدایی و اجرای آن به کمک سرمایه‌گذاری بخش خصوصی همراه است با ابهامات و یا قطعیت نداشتن زیاد که موجب بروز ریسک‌هایی می‌شود. تمام عوامل ذاتی کار مانند تهیه پیشنهاد در مناقصه و پس از برنده شدن موفق نشدن در دریافت وام با شرایط مورد انتظار، مشکلات تهیه طرح و تهیه تجهیزات و اجرای کار، مشکلاتی که در مرحله بهره‌برداری و نگهداری روی نشان می‌دهد، تصمیمگیری‌ها را با مشکل روبه‌رو می‌سازد، تغییرات نرخ برابری ارز و کیفیت آب خام و بسیاری دیگر که هیچ کدام در برنامه‌ریزی‌ها دارای قاطعیت ۱۰۰ درصد نیست از عوامل بروز ریسک است.

موقعیت زمین استقرار تاسیسات اصلی، جنس زمین و پذیرش مردم همه دارای ابهامات و نبود قاطعیت است که ریسک به همراه دارد. لذا باید به کمک قوانین احتمالات و با تجزیه و تحلیل عوامل ریسک‌زا، پیشبینی‌های لازم را انجام و بر مبنای نتایج به‌دست آمده شرایط قرارداد و یا موافقتنامه‌ها نوشته شود. طبیعی است هر چه اطلاعات بیشتری جمع آوری شود ابهامات بروز ریسک پیشبینی نشده کمتر می‌شود. دسته‌بندی ریسک‌های این نوع پروژه‌ها به قرار زیر است:

۱. ریسک‌های سیاسی؛

۲. ریسک‌های مالی؛

۳. ریسک‌های مذاکره یا مناقصه؛

۴. ریسک‌های طرح در دوره احداث؛

۵. ریسک‌های دوره بهره‌برداری و نگهداری؛

۶. ریسک‌های تامین نشدن و یا تغییر کیفیت آب؛

۷. ریسک‌های بازار تولید و تغییرات نرخ برابری ارز و تورم و تعدیل؛

۸. ریسک‌های فورس ماژور.

و بسیاری دیگر که باید با تجزیه و تحلیل و قبول و تقسیم آنها بین سرمایه‌گذار و سرمایه‌پذیر راهکارهای مدیریت اثرهای ریسک را پیشبینی کرد.

در تدوین موافقتنامه‌ها و قراردادها توجه به تمام ریسک ها ضرورت دارد و از چالش‌های اصلی قراردادهای "بی او او" و"بی او تی" است.

اصول طرح های راهگشا مانند "بی او تی" و "بی او او"

همان‌طور که مطرح گردید روش‌های مشارکت بخش خصوصی در صنعت آب و فاضلاب متنوع است، که انتخاب آن بستگی به عوامل و شرایط مختلفی دارد. اما در صنعت نمک‌زدایی و تولید آب شرب عموم با توجه به تجربه محدود موجود در کشور روش‌های ارائه شده از جاذبه‌های بیشتری برخوردار است چنانکه اگر حضور بخش خصوصی در برنامه‌ریزی کلان کشور مطرح است روش دوم از طرح های راهگشا دارای امتیازهای درخور ملاحظه‌ای است و اگر به دلایلی بخش دولتی مایل نیست این صنعت کاملا در دست بخش خصوصی باقی نماند روش اول دارای مزایایی است.

طبیعی است که برای هر یک از ۵ روش از طرح های راهگشای پیشگفته، لازم است قرارداد مناسب روش مذکور تهیه و تدوین شود. لیکن کلیات این نوع قراردادها مانند بخش‌های مدیریت مالی و مدیریت ریسک‌ها در این مختصر اشاره می‌شود.

اولین گام در تدوین موافقتنامه و یا قرارداد مشارکت در تولید آب بین بخش دولتی و بخش خصوصی انتخاب نوع همکاری است که به شدت تحت تاثیر برنامه‌های کلان کشور و نظرات مسئولان مربوط است که خود می‌تواند از اولین ریسک‌های این نوع قراردادها باشد، زیرا با تغییر مسئولان احتمال این که مسئول جدید به انتخاب انجام گرفته روی خوش نشان ندهد کم نیست. به هر حال این نوع قراردادها نیاز به حمایت صمیمانه دولت و مقامات محلی دارد.

تعریف تعهدات مشارکت تولید آب و تعهدات دستگاه دولتی به ترتیب به عنوان سرمایه‌گذار و سرمایه‌پذیر با توجه به انواع ریسک‌های ممکن، مهمترین بخش در تنظیم قرارداد و موافقتنامه است.

ریسک تکمیل نشدن پروژه طبق برنامه و ریسک نبود اعتبارات بانکی برای تکمیل کار و غیره که در بخش قبلی مطرح شد باید شفاف شده و راه پیشگیری و مقابله با آن در قالب مسئولیت دو طرف تعریف شود.

تعریف ضمانت‌نامه‌ها و جریمه‌های دوطرف در رابطه با ریسک‌های احتمالی باید تجزیه و تحلیل شود.

یکی از مطالبی که نیاز به توجه دارد مالکیت قانونی تاسیسات و دیگر مالکیت معنوی امتیازات است که باید در چارچوب قوانین حاکم تعریف شود تا در دوران ۲۰ تا ۳۰ سال بهره‌برداری موجب سوء تفاهم و سوء تعبیر نگردد.

تعریف شرایطی که می‌تواند منجر به خاتمه دادن به قرارداد و یا موافقتنامه شود و روش دخالت سرمایه‌پذیر در بهره‌برداری و نگهداری، تسویه حساب با مشارکت باید در موافقتنامه به صراحت و با عنایت به قوانین کشور تعریف گردد.

در تنظیم و تدوین موافقتنامه، همکاری بخش‌های فنی، مالی و حقوقی الزامی است که از هر نظر مندرجات قرارداد پاسخگوی مشکلات احتمالی آینده باشد.

پیش نیاز تهیه و تکمیل موافقتنامه و یا قرارداد بین سرمایه‌گذار بخش خصوصی و سرمایه‌پذیر بخش دولتی، تهیه موافقتنامه و یا قرارداد دیگری مانند فرایندهای تهیه و ساخت، وام‌دهندگان، بیمه‌گران و سهامداران و غیره است. از مهمترین سر فصل‌های موافقتنامه موارد زیر است:

- تهیه و تدوین موافقتنامه و یا قراردادی که هویت و یا شخصیت حقوقی دو طرف را تعریف کند؛
- هدف موافقتنامه که عبارت است از تعریف حقوق و تعهدات دو طرف قرارداد که در اینجا عبارت است از تولید آب با شاخص‌های کمی و کیفی و زمانی؛
- محدوده سرویس دهی که محدوده تعریف شده توسط دولت است؛
- مدت قرارداد و یا موافقتنامه که تاریخ تنفیذ و تاریخ قطعیت و دوره مجوز تعریف می‌شود؛

- انتقال دارایی‌ها در زمان تنفیذ قرارداد و تعریف دارایی‌ها، سرمایه، هزینه‌ها، درآمدها و تعرفه‌ها؛
- نیروی انسانی بهره‌برداری و شرایط استخدام و کار در شرکت در مراحل طرح، اجرا و بهره‌برداری؛
- عملیات بهره‌برداری، تعریف عملکردها و شاخص‌ها و روش‌های اندازه‌گیری؛
- تعریف تعمیر و تعویض تاسیسات و نگهداری دارایی‌ها؛
- شرایط تجدیدنظر در تعرفه‌ها؛
- تعریف دستگاه ناظر و کنترل کننده - حدود کار و روش‌های اجرا؛
- بیمه‌ها، ریسک‌ها و ضمانت نامه‌ها؛
- جریمه‌ها و حکمیت‌ها به دلیل بروز مشکلات در اجرای تعهدات و مسئولیت‌ها؛
- گزارش و تراز سالانه؛
- اقدامات اضطراری؛
- نحوه ادامه تولید آب در پایان موافقتنامه؛
- مسئولیت و مشکلات محیط زیستی در مراحل اجرا و بهره‌برداری؛

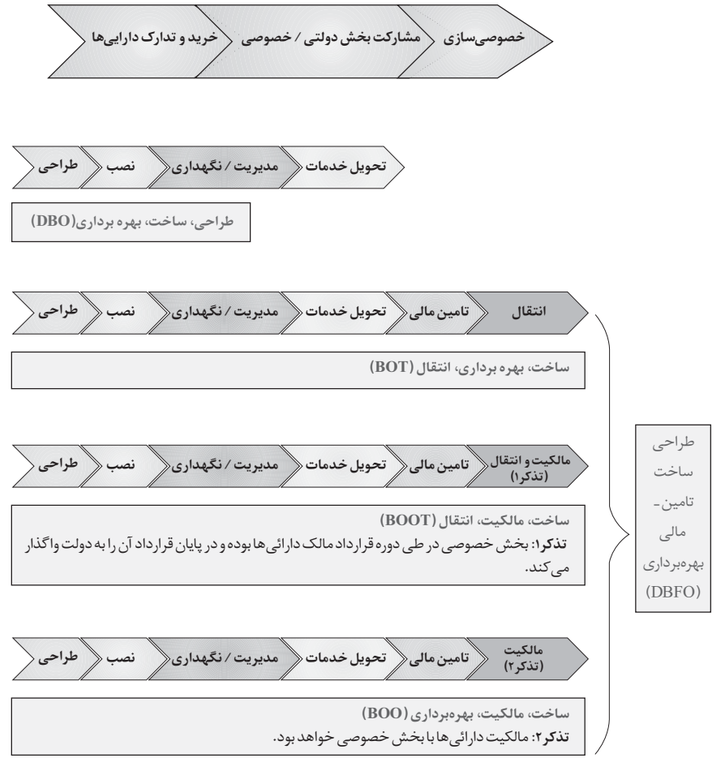
از گفتگو درباره جزئیات موافقتنامه خودداری می شود زیرا همان طور که یادآوری شد همکاری نزدیک تخصص‌های فنی - حقوقی و مالی مورد نیاز است تا به اقتضای شرایط خاص هر طرح تهیه و تنظیم شود. به هرحال انواع طرح های راهگشا که همراه است با ورود سرمایه‌های بخش خصوصی در کار تولید و فروش آب عبارتند از "بی او او"، "بی او تی" و "بی او او تی" که کلیات آنها در جدول شماره ۷-۱ و معیارهای اساسی در انتخاب آن در جدول شماره ۷-۲ ارائه شده است. همچنین در دیاگرام شماره ۷-۱ نمایی از مدل‌های متداول مشارکت دولتی - خصوصی نشان داده شده است.

از محتوای دو جدول شماره ۷-۱ و ۷-۲ می‌توان استنتاج کرد که دولت باید در زمینه توسعه و تدوین برنامه‌ریزی‌ها و قوانین و مقررات لازم کوشش کند و بخش خصوصی در بسترهای سرمایه، سرمایه‌گذاری، مدیریت و بهره‌برداری خدمات زیربنایی کارا شود.

برای انتقال مسئولیت‌های کار از بخش دولتی به بخش خصوصی لازم است قوانین و مقررات دست و پاگیر حذف و شرایط رقابت باز و شفاف تدوین گردد تا بتوان در اجرای انواع قراردادهای بالا موفق شد.

دیاگرام شماره ۷-۱

نمایی از مدل‌های متداول مشارکت دولتی - خصوصی



توجه شود که تاسیسات آب دارای خصوصیات زیر هستند که هنوز تمایل به ادامه مالکیت آنها در دولت وجود دارد.

۱. نیاز به سرمایه‌گذاری‌های به نسبت زیاد و اعمال سیاست‌های یارانه‌ای دارد.

۲. عمر تاسیسات به نسبت طولانی است.

۳. محصولی است انحصاری و در رقابت های بازار وارد نمی‌شود.

لذا طرز فکر عمومی این است که با ابقای مالکیت آن از طرف دولت خدمات بهتری به عموم داده می‌شود. اما تجربه‌های جهانی نشان می‌دهد که بخش خصوصی می‌تواند در بخش‌های زیر بهتر عمل کند.

۱. سرمایه‌گذاری برای اجرا و توسعه؛

۲. مدیریت بهتر آن از نظر تولید و فروش یک کالا و لذا عملکرد بهتر که باید برای آن شاخص‌هایی تعریف شود؛

۳. مدیریت بهتر در جهت ایجاد و حفظ انگیزه در متصدیان و مدیران؛

۴. مدیریت بهتر عملکرد در کیفیت و کمیت ارائه خدمات به مشترکان و یا مشتریان.

لذا مقامات دولتی بهتر است در زمینه برنامه ریزی کلان، سیاستگذاری و وضع قوانین و مقررات و تصویب قراردادهای تیپ برای تسهیل حضور بخش خصوصی در طرح، اجرا، توسعه و بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات تولید آب اقدام کند. و در صورتی که مسئولان دولتی در زمینه‌های پیشگفته غفلت و کم کاری کنند، سرمایه گذاران بخش خصوصی به دلیل نامشخص بودن ریسک سرمایه گذاری در طرح‌های مذکور مشارکت نمی کنند و لذا هدف مشارکت بخش خصوصی با موانع جدی روبه‌رو خواهد شد. در همین زمینه مشارکت بخش دولتی به عنوان سهامدار در این نوع طرح ها مشوق مناسبی برای بخش خصوصی خواهد بود. وجود قوانین و آیین نامه‌ها، قراردادهای تیپ و نحوه نظارت دولت و شاخص‌هاو معیارهای قضاوت از ملزومات دعوت بخش خصوصی به مشارکت کارهای آینده است.

توجه باید داشت که وجود مقررات و نظارت بر اجرای آنها مقوله‌ای غیر از مداخله مدیریتی است و باید برای بخش خصوصی این مطالب شفاف و روشن باشد. با توجه به اینکه تولید آب در هر منطقه، کالایی انحصاری خواهد بود، لذا برخورداری از قوانین و مقررات شفاف و تعریف شاخص‌های نظارت بسیار اهمیت دارد. و باید طوری وضع گردد که حاصل کار بهبود مدیریت‌های فنی و اداری باشد که سوددهی آن متوجه بخش سرمایه‌گذار گردد و از هر گونه سوء استفاده از انحصاری بودن کالا جلوگیری شود. نبود این توجهات حقوقی و قانونی همراه است با افزایش انواع ریسک‌ها که از مهمترین موانع مشارکت‌های بخش خصوصی است.

جدول شماره ۷-۱: **خصوصیات انواع قراردادهای مشارکت بخش خصوصی**

نوع مشارکت/ نوع قرارداد	شرح کلی	خصوصیات اصلی				
		سرمایه گذار	فرایند گردش مالی	بهره‌برداری و نگهداری	مالکیت دارایی‌ها	مدت قرارداد سال
قرارداد خدمات خاص	با بخش خصوصی برای ارایه خدمات خاص	دولت	هزینه خدمات به ارایه دهنده خدمات پرداخت می شود	بخش خصوصی	دولت	۲-۱
قرارداد مدیریت	بخش خصوصی مدیریت تاسیسات را انجام می دهد	دولت	دولت به بهره بردار هزینه ها را می پردازد	بخش خصوصی	دولت	۵-۳
قرارداد اجاره	بخش خصوصی مدیریت بهره برداری را به عهده دارد و هزینه بهره برداری و نگهداری را متعهد می شود	دولت	بخش خصوصی از درآمد حاصله اجاره را می پردازد	بخش خصوصی	دولت	۱۵-۸
قرارداد واگذاری	بخش خصوصی علاوه بر تعهدات اجاره هزینه های توسعه را تامین می نماید	بخش خصوصی	بخش خصوصی از درآمد حاصله پرداخت هزینه واگذاری را انجام می دهد	بخش خصوصی	دولت	۳۰-۲۰
بی او تی	بخش خصوصی تاسیساتی را طرح و اجرا می نماید و در مدت تعریف شده مورد بهره برداری قرار می دهد و سپس به دولت منتقل می نماید.	بخش خصوصی و در صورت رضایت بخش دولتی	استفاده کنندگان بهاء خدمات را می پردازد.	بخش خصوصی	بخش خصوصی و در صورت رضایت بخش دولتی	۳۰-۲۰
خصوصی سازی	بخش خصوصی دارایی های بخش دولتی را می خرد.	بخش خصوصی	درآمد حاصل از خدمات	بخش خصوصی	بخش خصوصی	-

منبع: مرجع شماره ۱۱

جدول شماره ۷-۲: **معیار های اساسی در انتخاب روش مشارکت بخش خصوصی**

گزینه	دلیل و موضوع اصلی	قوانین و مقررات حاکم	نگرانی‌های بخش خصوصی	وضعیت مالی	ریسک‌های سیاسی
قرارداد مدیریت	مشکلات بهره برداری نیروی انسانی و مدیریت ضعیف	قوانین و مقررات لازم باید وضع گردد	وجود پرسنل مازاد و مشکلات اخراج آنها	با فرض عدم سرمایه‌گذاری بیشتر مانع افزایش تعرفه‌ها می توان شد.	به علت عدم اعتماد به بخش خصوصی دخالت دولت در مدیریت بخش خصوصی مطرح است.
قرارداد اجاره	ضعف بهره برداری و نگهداری و دریافت درآمدها	نیاز به تصویب قوانین شفاف در مورد کیفیت خدمات است	وضعیت دارایی ها و عملکرد آنها و استاندارد مورد نیاز باید شفاف شود.	پرداخت‌های اجاره به طور مستمر انجام می گیرد و سرمایه‌گذاری توسط دولت انجام می گیرد و ممکن است تعرفه افزایش نیابد.	هماهنگی بین دو بخش برای سرمایه‌گذاری بخش دولتی مشکل است و باعث بروز مباحثه و مجادله طولانی می‌شود.
قرارداد واگذاری امتیاز	شرایط مانند وضعیت اجاره است یعنی دسترسی به سرمایه برای توسعه مشکل است	نیاز به قوانین و قرارداد بسیار دقیق دارد.	قبل از مبادله قرارداد ضرورت دارد وضعیت و عملکرد تاسیسات تعیین شده و استانداردهای لازم تدوین گردد.	بستگی دارد به نحوه و برنامه سرمایه‌گذاری‌ها	نگرانی بخش خصوصی از ریسک های دولتی وجود دارد.
بی او تی	مشکل دسترسی به سرمایه های بخش خصوصی و مدیریت کم در فاز اجرا و بهره برداری	نیاز به قراردادهای مالی - فنی - حقوقی مفصل دارد.	عدم تداخل کار با تاسیسات موجود	تابع حجم سرمایه گذاری است و نیاز به تضمین هایی دارد.	نگرانی بخش سرمایه گذار نسبت به دخالت‌های مدیریتی و سیاسی یک مانع پیشرفت کارها است.
خصوصی‌سازی	کاهش حوزه تصدی و افزایش حوزه حاکمیت دولت	تدوین استاندارد کیفیت تولید ونظارت لازم است.	ثبت دارایی ها باید صحیح مستند سازی شود.	کیفیت خدمات بستگی به سرمایه گذاری و تدوین تعرفه‌ها دارد.	بهترین گزینه برای حذف دخالت‌های سیاسی است.

منبع: مرجع شماره ۱۱

در ادامه مطالبی در مورد شاخص های عملکرد بهتر و ابزار نظارت دستگاه دولتی در قراردادها مطرح می‌شود که به اختصار به شرح زیر آورده شده است.

۱. تعریف عملکرد مطلوب و تعریف عملیات طراحی، احداث و بهره‌برداری مناسب تا بتوان به عملکرد مطلوب دست یافت؛

۲. تعریف شاخص‌های عملکرد در بهره‌برداری و نگهداری؛

۳. امکانات بازنگری در تعریف شاخص‌های بهره‌برداری و نگهداری برای بهبود بهره وری و کاهش هزینه‌ها و در نتیجه کاهش تعرفه‌ها؛

به هر حال و به طور اجمال نکات زیر باید در موافقتنامه و یا قرارداد مورد توجه قرار گیرد:

۱. ضرورت تهیه و تسلیم اطلاعات مورد نیاز دستگاه ناظر در موافقتنامه؛

۲. چگونگی بررسی وضعیت مالی طرح و شرایط حاکم برای عملکرد تعریف شده؛

۳. چگونگی دسترسی دستگاه ناظر بر موافقتنامه به مدارک هزینه‌ها و درامدها؛

۴. خصوصیات گزارش مورد نیاز برای بررسی تعرفه‌ها ودر صورتی که دستگاه نظارت رسیدگی بیشتر لازم دارد چگونگی پیگیری آن؛

۵. مکانیسم بررسی شکایت‌های مشترکان؛

۶. چگونگی پرداخت‌های مربوط به تعرفه‌ها؛

۷. چگونگی برخورد با هزینه‌های پیشبینی نشده و یارانه‌ها و افزایش هزینه‌های انرژی ومواد و دستمزدها؛

۸. در گزارش عملکرد سرمایه‌گذار چه اطلاعاتی باید ارائه گردد. موضوع‌های مطرح در گزارش عبارتنداز:

- کمیت و کیفیت آب تولیدی؛
- هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری؛
- درامدها و هزینه‌ها؛
- وضعیت گردش پول؛

۹. تعیین تعرفه: روش محاسبه تعرفه‌های مربوط به آب بها و ضرورت تجدیدنظر در طی مدت قرارداد باید در موافقتنامه پیشبینی شود. تعرفه تابع سرمایه گذاری، بهره‌برداری و نگهداری

و سود سرمایه و توجهات مربوط به وضعیت اجتماعی - اقتصادی جامعه تحت پوشش است و در قرارداد و یا موافقتنامه باید شفاف تعریف شود. و رابطه آن با شاخص‌های کمی و کیفی آب تولیدی بیان گردد تا انگیزه‌های لازم برای رسیدن به اهداف بالا برای مدیریت بخش خصوصی فراهم شود.

در بعضی از کشورها برای گروهی از مصرف‌کنندگان تعرفه کمتر از رقم واقعی و برای گروهی بیشتر از آن در نظر گرفته می‌شود و برای پیشبینی انجام آن که در قرارداد در نظر گرفته شود مطالعات مربوط به جمعیت و خصوصیات آنها لازم است که باید توسط دولت در چارچوب همان وظایف برنامه‌ریزی انجام گیرد.

به طور کلی برای بخش تجارتی و صنعتی تعرفه بالاتر و برای بخش عمومی تعرفه پایینتر در نظر گرفته می‌شود و توجه شود که این سیاستگذاری روی کیفیت خدمات‌رسانی توسط پیمانکار بخش خصوصی اثر نگذارد. در شرایطی از نوعی کمک یارانه‌ای به گروه‌های کم درامد استفاده می‌شود که بحث در مورد آن خارج از مطالب این مطالعات است. به هر حال بحث‌های مربوط به کنترل قیمت‌ها و مقدار مصرف سرانه نیز در اینجا مطرح است که در صفحات قبل به اجمال مورد بحث قرار گرفته است. در این جا در زمینه ریسک‌های درامد سخنی آورده می‌شود که در تنظیم موافقتنامه‌ها مورد توجه قرار گیرد:

- درجه اعتماد به گردش مالی طرح؛
- درجه اعتماد به کفایت تعرفه‌ها و هزینه‌ها؛
- نوع و چگونگی حمایت و یارانه به وسیله دولت؛
- ابزار قانونی ادامه کمک دولت به طرح؛
- آیا ضمانت خرید آب توسط دولت اجرایی است و یا نیاز به تدوین قرارداد و یا مصوبه دارد؛
- آیا بسترهای قانونی پرداخت‌ها مورد قبول سرمایه‌گذار است؛
- مسئولیت جریمه‌های مربوط به تخریب محیط زیست به عهده کدام طرف است؛
- چه غفلت‌هایی از طرف بخش خصوصی تولید کننده آب منجر به جریمه او خواهد شد. غفلت‌هایی از قبیل تغییر کیفیت و کمیت آب تولیدی، قطع تولید آب، تخریب محیط زیست، تسلیم نکردن گزارش‌های فنی و مالی و غیره؛

- چگونگی تعیین جریمه ها، چگونگی پرداخت جریمه ها توسط بخش خصوصی و چگونگی تاخیر در پرداخت‌ها؛
- اگر دولت در نظر دارد یارانه پرداخت کند، تعریف هدف پرداخت یارانه و چگونگی اطمینان از اینکه یارانه در جای خود به کار می رود و نحوه گردش این پول چگونه باید باشد؛
- چگونگی ضمانت خرید آب از بخش خصوصی و فروش برق به آن.

در خاتمه مباحث این فصل جدول شماره ۷-۳ شامل ریسک‌های اساسی آورده شده است که تدوین و تنظیم آن بستگی به قوانین و نتایج کارگروه امور مالی - بیمه - قراردادی دارد.

جدول شماره ۷-۳: **ریسک‌های اساسی**

نوع ریسک	چگونگی بروز	چه اقداماتی باعث کاهش آن می شود	ریسک متوجه چه بخشی خواهد بود	در چه نوع قراردادی رخ می دهد	اقدامات پیشگیرانه
۱. طرح و توسعه					
نواقص در طرح	اشتباه و ایراد در اسناد مناقصه	بخش دولتی باید جبران نماید و یا به شرکت خسارت بپردازد	بخش دولتی	بی او تی/ امتیازی	کنترل اسناد مناقصه
	اشتباه توسط شرکت طراح	پیشبینی شروطی که بخش خصوصی اصلاح نماید و یا خسارت بپردازد	شرکت مسئول طراحی باید جبران نماید و مازاد آن توسط آورنده سرمایه	بی او تی/ امتیازی	نظارت بر کارهای طراحی - جایگزینی بیمه
۲. مرحله اجرا					
اتمام زودرس هزینه‌های پیشبینی شده برای اجرا	ناشی از مشکلات بخش خصوصی مجری کار است	در قرارداد مقطوع باید پیشبینی آن انجام گیرد	شرکت پیمانکار و در صورت لزوم استفاده از بیمه مربوطه	امتیازی/ بی او تی	نظارت بر کارهای اجرایی
	در صورتی که خارج از مسئولیت بخش خصوصی باشد مانند تغییر در قوانین و تاخیر صدور مجوزها	پیشبینی این هزینه ها در قراردادهای امتیازی و پوشش نوعی بیمه	بیمه گر و در صورت اتمام پوشش بیمه مسئولیت سرمایه گذار مطرح می شود.	امتیازی/ بی او تی	دریافت مصوبه ها به موقع - پیشبینی مشکلات - پوشش بیمه
تاخیر در اتمام کارها	در محدوده کار بخش خصوصی است	جبران خسارت توسط بخش خصوصی مجری کارها	بخش خصوصی مجری - تامین بودجه در صورت ضرورت از پیشبینی نشده ها	امتیازی/ بی او تی	گزارشهای پیشرفت کار - مراقبت و نظارت بر عملیات اجرایی و توجه به علائم هشداردهنده
	در صورتی که خارج از کنترل بخش خصوصی رخ داده استفاده از بیمه های فورس ماژور	استفاده از بیمه خاص	بیمه گر - در صورت اتمام پوشش بیمه از بودجه پیشبینی نشده استفاده شود.	امتیازی/ بی او تی	باید دارای پوشش بیمه باشد

منبع: مرجع شماره ۱۱

جدول شماره ۳–۷: ریسک‌های اساسی ادامه

نوع ریسک	چگونگی بروز	کاهش آن می‌شود چه اقداماتی باعث	ریسک متوجه چه بخشی خواهد بود	در چه نوع قراردادی رخ می‌دهد	اقدامات پیشگیرانه
۳۰. ریسک درآمدها					
افزایش قیمت آب	مشارکت تأمین آب وارائه پیشنهادی در مورد تأسیسات در زمان آزمایش راه‌اندازی	تعرفه – توجه به تأمین آب خام	قرارداد	بی او تی / اجاره / امتیازی	ضرورت افزایش قیمت تعرفه‌ها با توجه به تأمین آب خام
تغییر در میزان تعرفه‌ها	کاهش درآمدها	اثرات آن بستگی به واکنش دولت دارد. معمولاً این نوع ریسک رخ نمی‌دهد، مگر قرارداد تأمین کامل نباشد.	بخش خصوصی	بی او تی / اجاره / امتیازی	بایدبرنحوه نظارت بر امور اطمینان یافت.
تقاضای آب	کاهش تقاضا	نیاز به سیاست‌های خاص دارد. ریسک بستگی به حمایت دولت و	اگر حمایت دولت ناچیز باشد ریسک را بخش خصوصی باید بپذیرد.	بی او تی / اجاره / امتیازی	حفظ نمود. بایدانعطاری بودن تأمین را
۵۰. ریسک مرحله بهره‌برداری					
کمبود بودجه پهره‌برداری	تغییر در پهره‌برداری به درخواست بخش خصوصی	از بخش خصوصی انتظار اصلاح می‌رود یا جبران خسارت نمایند	بخش خصوصی	پهره‌برداری و نگهداری / امتیازی / بی او تی	پیش‌بینی‌های لازم در مواقعت‌نامه و انعطاف‌پذیری برای تجدیدنظرهای لازم
	قصور پهره‌بردار	جبران خسارت توسط بخش خصوصی پهره‌بردار	بخش خصوصی پهره‌بردار	پهره‌برداری و نگهداری / امتیازی / بی او تی	مراقبت بر عملیات پهره‌برداری
مشکلات در بافت مجوزها، معضلها و رطبابت نامه ها	به علت نظارت بخش دولتی	در نظر گرفتن آن در مواقعت‌نامه پهره‌برداری	بخش دولتی – اگر بخش دولتی نظارتی ندارد، مسئولیت به عهده بخش خصوصی است.	پهره‌برداری و نگهداری / امتیازی / بی او تی	کسب مصوبه‌ها به موقع – شفافیت مسئولیت‌ها در مواقعت‌نامه
کاهش کیفیت و یا کمیت آب تولیدی	قصور پهره‌بردار	جبران خسارت توسط پهره‌بردار	بخش خصوصی پهره‌بردار	پهره‌برداری و نگهداری / امتیازی / بی او تی	مراقبت نمونه‌برداری از آب و اندازه‌گیری‌های لازم
	مشکلات طرح	جبران خسارت توسط شرکت به بخش دولتی	بخش خصوصی	پهره‌برداری و نگهداری / امتیازی / بی او تی	بر کیفیت تولید و نمونه‌برداری تأمین آب، از نظر کمی: کسب اطمینان از
نرخ بهره	تغییر نرخ بهره بانکی	پشتیبانی در موافقت‌نامه و تعیین کف و سقف تغییرات	بخش خصوصی با دولتی طبق قرارداد	امتیازی / بی او تی	سهی در گرفتن وام با بهره ثابت

جدول ۸-۳: ریسک‌های اساسی در پروژه‌های نمکزدایی

نوع ریسک	چگونگی بروز	اگر هیچ اقدامی نشود	ریسک متوجه چه بخشی خواهد بود	در چه نوع قراردادی رخ می‌دهد	اقدامات پیشگیرانه
۱. ریسک‌های مالی و اعتباری					
افزایش هزینه تأمین مالی به دلیل افزایش نرخ بهره جهانی	تأخیر در بسته شدن مالی، کاهش بازده سهام	اگر بسته مالی بیش از ۱۲ ماه طول بکشد، بخشی از هزینه‌های توسعه‌دهنده سوخت می‌شود	توسعه‌دهنده و سهامداران	در پروژه‌های BOT و PPP با مدت طولانی	انعطاف‌پذیری در زمان‌بندی مالی؛ در صورت امکان، تأمین مالی با نرخ ثابت
نوسان نرخ ارز در درآمد دلاری	کاهش ارزش درآمد ریالی طرف ایرانی	اگر درآمد ریالی بیش از ۱۵٪ سالانه کاهش یابد، مکانیزم تعدیل فعال می‌شود	خریدار (طرف دولتی)	در قراردادهای با درآمد ریالی و شاخص‌سازی ناقص	شاخص‌سازی درآمد به نرخ ارز رسمی یا سبدی از ارزها
تورم بیش از پیش‌بینی و افزایش هزینه‌های عملیاتی	کاهش حاشیه سود اپراتور	اگر تورم از ۱۵٪ سالانه بیشتر شود، اپراتور حق درخواست تعدیل تعرفه را پیدا می‌کند	اپراتور	در قراردادهای با تعرفه ثابت طولانی‌مدت	شاخص‌سازی بخشی از هزینه‌ها به تورم رسمی یا سبدی از شاخص‌ها
۲. ریسک‌های فنی و عملیاتی					
خرابی غشاهای RO و افت راندمان زودتر از پیش‌بینی	افزایش هزینه تعویض غشا و کاهش ظرفیت تولید	اگر عمر غشا کمتر از ۷۰٪ عمر طراحی شود، هزینه اضافی بر اساس فرمول قرارداد محاسبه می‌شود	اپراتور	در قراردادهای BOT و EPC+O&M	ضمانت عملکرد غشا برای ۵ سال اول؛ نمونه‌برداری منظم و گزارش‌دهی شفاف
آلودگی ناگهانی آب خام (نفت، جلبک سمی، فاضلاب)	توقف کامل یا جزئی تولید، هزینه‌های پاک‌سازی	اگر توقف بیش از ۷۲ ساعت طول بکشد، بخشی از هزینه‌های ثابت به خریدار منتقل می‌شود	اپراتور (با سهم خریدار در موارد خاص)	در همه انواع قراردادها	سیستم هشدار سریع کیفیت آب خام؛ مخازن ذخیره کوتاه‌مدت؛ طرح اضطراری مشترک
خرابی تجهیزات حیاتی (پمپ فشار بالا، مبدل انرژی)	توقف تولید تا تأمین و نصب قطعه یدکی	اگر توقف بیش از ۱۴ روز طول بکشد، جریمه‌های عملکرد اعمال می‌شود	اپراتور	در همه انواع قراردادها	نگهداری پیش‌بینانه؛ انبار قطعات یدکی حیاتی در محل؛ قرارداد با تأمین‌کننده برای پشتیبانی سریع
۳. ریسک‌های محیط‌زیستی					
استقرار و پوشش بیمه	ضرورت انجام مطالعات محیط زیستی و تأمین بیمه لازم	نسبت به گرفتن معوض به پایه زودتر اقدام شود.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	دولت	فسخ استیناز از طرف دولت به علت نقض کار متعهدان
اجرای طرح‌های جبران کار توسط متعهدان	دولت و با همکاری جامعه	اگر دولت تصمیم گرفته مستولیت به عهده اوست.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	قرارداد پهره‌برداری	جبران کار توسط متعهدان
ایجاد محدوده‌ها حریم توسط دولت	طبق موافقت‌نامه عمل شود.	دولت مسئولیت خواهد داشت.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	—	—
۴. ریسک‌های قوریس ماژور					
قوریس ماژور سیل – زلزله – اعتصاب – شورش	اگر در موافقت‌نامه پیش‌بینی و بیمه شده است از بیمه استفاده می‌شود. در غیر این صورت از اعتبارات خاص.	بیمه گر – تقسیم طریق بیمه، در صورت وجود می‌توان عمل نمود. در غیر این صورت آقا بای رویی پروژه خواهد داشت.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	به امید پوشش بیمه و حمایت دولت پایه بود. در موافقت‌نامه به طور شفاف بیان گردد.	
حقوقی و نظارتی تغییر در قوانین مالیات ها، عوارض، گمرک و غیره	اگر در دوران بهره‌برداری رخ دهد تنظیم امور ممکن است.	بخش خصوصی	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	—	
سیاسی فسخ استیناز از طرف دولت دادن موافقت‌نامه است.	بخش خصوصی محق به خاتمه	دولت	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	استقلاد از پوشش بیمه	
محیط زیستی روبدادهای به علت نقض کار متعهدان	جبران کار توسط متعهدان	قرارداد پهره‌برداری	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	خرورت انجام مطالعات محیط زیستی و تأمین بیمه لازم	
وجود شرایط آسیب‌پذیری محیط	دولت و با همکاری جامعه	اگر دولت تصمیم گرفته مستولیت به عهده اوست.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	نسبت به گرفتن معوض به پایه زودتر اقدام شود.	
عدم موفقیت در گرفتن تجدید قرارداد	طبق موافقت‌نامه عمل شود.	مسئولیت به عهده اوست.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی		
ایجاد محدوده‌ها حریم توسط دولت	طبق موافقت‌نامه عمل شود.	دولت مسئولیت خواهد داشت.	بهره‌برداری و نگهداری / استیناری / پی‌او‌تی	—	

فصل هشتم

ارزیابی اقتصادی طرح‌های نمک‌زدایی

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- اصول ریاضی بحث‌های اقتصادی
- ترکیب سرمایه
- هزینه های سرمایه ای
- هزینه های بهره برداری و نگهداری
- هزینه های یک سازمان آب
- نرخ فروش آب
- مسئله زمین
- سرمایه گذاری و قیمت تمام شده آب

مقدمه

در مطالعات مرحله اول پس از تعریف گزینه‌ها مانند ارزیابی منابع مختلف آب از جمله منابع آب لب شور و شور، روش های آبگیری، انتقال و تصفیه و تعریف عناصر اصلی آنها به صورت دیاگرام‌های فرایندی[1] و هیدرولیکی[2] و تدوین معیارهای طراحی و تعیین حجم‌ها و ابعاد نسبت به براورد هزینه‌های اجرایی و یا سرمایه‌گذاری باید اقدام شود. این مباحثی است که در این فصل درحدی که ضروری به نظر آمده ارائه شده است به هر حال مبنای تمام محاسبه‌های اقتصادی نرخ بهره است. زیرا قدرت خرید یک مبلغ ثابت پول در طی زمان ثابت نبوده بلکه کاهش می یابد و به همین جهت اگر پولی در بانک و یا هر موسسه سرمایه‌گذاری گذاشته می شود مشمول دریافت وجهی است به نام سود که کاهش قدرت خرید پول اولیه را جبران کند. گرچه سرعت تورم و یا سرعت افزایش قیمت واحد اجناس و خدمات در بسیاری از کشورها بیشتر از نرخ بانکی است. لذا خطر تورم همیشه جدا از بحث‌های این فصل است.

اصول ریاضی بحث‌های اقتصادی

اگر مبلغ P در مدت n سال و با نرخ بهره i در سال در یک موسسه مالی سرمایه‌گذاری شود در پایان سال اول معادل pi به سرمایه اولیه افزوده می شود و سرمایه در پایان سال اول عبارت است از $p+pi$ معادل $p(1+i)$ و در سال دوم رقم جدید سود عبارت است از $p(1+i)i$ و کل سرمایه عبارت است از $P(1+i)^2 = P(1+i)+P(1+i)i$ و بالاخره در سال n سرمایه عبارت است از $F= P(1+i)^n$ که F عبارت است از ارزش خرید سال n که معادل ارزش خرید P در سال مبناست و همان‌طور که معادله نشان می‌دهد ارزش آینده هر سرمایه‌گذاری به شدت تحت تاثیر نرخ بهره است. لذا بین ارزش فعلی یک واحد پول و ارزش آینده آن رابطه فوق وجود دارد که می توان به کمک جدول‌های تهیه شده و یا معادله ریاضی فوق، به شرط داشتن دو فاکتور i یعنی نرخ بهره و n سال مورد نظر این ارزش را تعیین کرد. معادله نشان می‌دهد که اگر ارزش آینده به $(1+i)^n$ تقسیم شود ارزش فعلی به دست می‌آید. حال اگر سرمایه‌گذار به جای رقم P، هر ساله مبلغ A ریال را به صورت سود مرکب در مؤسسه سرمایه‌گذاری کند، وضعیت ظاهری ارقام فرق

1. Process Flow diagram
2. Hydraulic diagram

می‌کند. بدین ترتیب که به آخرین سپرده A ریال در سال n ام سودی تعلق نمی‌گیرد و به سپرده ماقبل آن که یک سال در بانک سپرده شده مبلغ Ai تعلق می‌گیرد و لذا مبلغ کل آن عبارت است از $A(1+i)^1$ و به سپرده‌ای که دو سال در موسسه ودیعه گذاشته شده است و با اصل آن رقم $A(1+i)^2$ حاصل می‌شود لذا ارزش آتی این سرمایه‌گذاری عبارت است از:

$$F = A + A(1-i)^1 + A(1-i)^2 + \ldots\ldots + (1-i)^{n-1} \quad (1)$$

اگر دو طرف رابطه فوق در $(1+i)$ ضرب شود.

$$F(1+i)^1 = A(1+i)^1 + A(1+i)^2 + A(1+i)^3 + \ldots\ldots + A(1+i)^n \quad (2)$$

و سپس رابطه اول از دوم کسر شود

$$Fi = A(1+i)^n - A$$

$$F = \frac{A[(1+i)^n - 1]}{i}$$

که F همان ارزش آینده پرداخت‌هاست که هر ساله به مقدار A ریال در مؤسسه سرمایه‌گذاری شده است طبق اصول ریاضی گفته شده اگر ارزش آینده به $(1+i)^n$ تقسیم شود، ارزش فعلی به دست می‌آید؛ لذا

$$P = \frac{A[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n}$$

بحث اصول ریاضی محاسبه‌های اقتصادی با کلیات زیر شفافتر می‌شود. بدین ترتیب که اگر امروز مبلغ P ریال از مؤسسه‌ای مانند بانک وام گرفته شود به روش‌های مختلف این وام قابل پرداخت است:

۱. پرداخت سالانه سود بانکی وام گرفته شده و پرداخت اصل وام در سال n ام؛

۲. پرداخت مبلغ ثابتی بابت اصل وام و سود آن به طوری که در پایان سال n ام هیچ بدهی به مؤسسه وجود ندارد.

در این روش در واقع در پایان سال اول سود تمام وام و بخش کوچکی از وام‌پرداخت می‌شود و در پایان سال دوم سود بقیه وام و بخشی از وام پرداخت می‌شود و بدین ترتیب هر ساله اصل وام کمتر شده و سود مربوط به آن هم کمتر می‌شود. اما مؤسسه‌ها برای این‌که پرداخت‌های سالانه یکسان شود از معادله زیر استفاده می‌کنند.

$$A = \frac{pi[(1+i)^n]}{(1+i)^n - 1}$$

که A در اینجا ضریب برگشت سرمایه است.

در دو روش بالا دو پرداخت انجام می‌گیرد. یکی سود سالانه وام به صورت ثابت در n سال و دیگری پرداخت مبلغی به بانک بابت بازپرداخت اصل سرمایه، اما این پرداخت‌های دوم مشمول سود سرمایه می‌شود که بانک به وام‌گیرنده می‌پردازد.

پرداخت دوم را پرداخت اقساط یا استهلاک سرمایه نامند که وقتی با نرخ سود جمع شود همان ضریب برگشت سرمایه A می‌باشد. برای سهولت محاسبه‌ها جدول‌هایی تهیه شده است که در این فصل درباره نحوه استفاده از آنها به اجمال گفتگو خواهد شد.

لذا به کمک معادله‌های بالا می‌توان گردش پول و یا داد و ستد پول را در طی سالیان دوره طرح بررسی کرد و در هر مقطع زمانی به وضعیت مالی موسسه آگاهی یافت در صورتی که یک مؤسسه تولید آب به این روابط توجه نکند در مقطعی آن را با قیمتی بیشتر از واقع و در مقطعی از زمان با قیمت ارزانتری به فروش خواهد رسانید که با اصل قانون ازلی عدالت در تضاد خواهد بود. لذا هدف از ارائه این بخش معرفی روش‌های تخمین هزینه‌های نمک‌زدایی و مقایسه گزینه‌ها وانتخاب گزینه‌ای است که قیمت تمام شده ارزانترین باشد اما البته ملاحظه‌های دیگری وجود دارد که نمی‌توان تنها به قیمت تمام شده نگاه کرد که در فصل اول مورد گفتگو قرار گرفته است.

ترکیب سرمایه

یادآوری شد که در مطالعات مرحله اول به نام امکانسنجی طرح، باید گزینه‌ها تعریف و عنصرهای آنها تعیین، براورد شوند و مورد مقایسه قرار گیرند. در بعضی شرایط معیار تصمیمگیری عامل سرمایه‌گذاری اولیه است و در بعضی موارد هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری که شرایط و اوضاع اجتماعی-اقتصادی در انتخاب آنها دخالت دارد. بنابراین تعیین قیمت تمام شده بر اساس سرمایه‌گذاری و یا بهره‌برداری و یا بخش‌هایی از بهره‌برداری ضرورت دارد تا تصمیمگیرنده منطقیتر گزینه مطلوب خود را انتخاب کند.

توجه شود که با توجه به ابهامات مربوط به پیشبینی جمعیت، مصرف سرانه و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، ارقام مربوط به قیمت آب تنها برای مقایسه گزینه‌هاست و قیمت فروش آب با توجه به عوامل دیگر مانند تغییر نرخ بهره و تورم باید در طول عمر بهره‌برداری به طور مرتب بهنگام شود.

هزینه های سرمایه ای

هزینه‌های سرمایه‌ای مجموع تمام مخارج در مرحله اجرا و آماده سازی طرح برای بهره‌برداری یعنی تولید آب است. این هزینه‌ها عبارتند از:

- هزینه سازه‌ها و تاسیسات آبگیری از دریا و یا سایر منابع سطحی و زیرزمینی و انتقال آب به محل استقرار واحدهای پیش تصفیه؛
- هزینه سازه‌ها و کارهای الکتریکی، مکانیکی و ابزار دقیق تاسیسات تصفیه آب خام تحت نام پیش تصفیه که در فصل سوم مورد گفتگو قرار گرفته است. عملیات محوطه‌سازی، ساختمان‌های خدماتی، مخزن ذخیره آب خام و آب پاک و بسیاری دیگر؛
- هزینه سازه‌ها و تاسیسات کامل نمک‌زدایی؛
- هزینه تاسیسات جمع‌آوری و دفع فاضلاب و پساب واحدهای پیش تصفیه و تاسیسات نمک‌زدایی؛
- هزینه تاسیسات برق و ابزار دقیق واحدهای نمک‌زدایی و مستقل از کارهای مشابه پیش تصفیه؛
- هزینه تاسیسات انتقال و یا تولید نیرو؛
- هزینه تاسیسات تصفیه نهایی و اصلاح آب برای تولید آب مورد نظر؛

به اجمال مهندس مشاور مسئول تهیه طرح، سرنوشت هر واحد آب را که ازمنبع می‌گیرد تا رساندن آن به تاسیسات مصرف‌کننده و دفع نهایی پساب‌ها باید بررسی و تعریف کند و بر مبنای این سرنوشت تاسیسات لازم را طرح و گزینه‌ها تعریف و براوردها انجام گیرد. در مورد مسئله زمین استقرار تاسیسات در فصل‌های دیگر مانند فصل ششم گفتگو شده است. اما به طور کلی گرچه برای خرید زمین سرمایه‌گذار باید هزینه کند و به طبع در هزینه‌های سرمایه‌ای وی باید منظور شود، اما زمین سرنوشت استهلاک، مانند تاسیسات را ندارد و نمی‌توان بازپرداخت آن را در قیمت تولید آب منظور کرد. شاید سود بانکی مربوط به این رقم هزینه تنها عددی باید باشد که در تولید آب منظور کرد. معمولا در براوردهای فاز اول ردیفی تحت نام "پیش‌بینی نشده" باید منظور کرد. اقلام اساسی بالا دارای عمر مفید یکسانی نیستند و استهلاک آنها با هم فرق دارد. هزینه‌های مربوط به خدمات مهندسی و خدمات عامل چهار، در صورت لزوم، باید در براورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری منظور شود.

لازم به یاداوری است که براوردهای طرح‌های مهندسی بر اساس نقشه‌ها و محاسبات مطالعات مرحله اول انجام می‌گیرد که باید از صحت کافی برخوردار باشد اما دارای دقت لازم نخواهد بود و مهمتر این که چون مهندسان مشاور در پروژه‌های نمک زدایی و تصفیه آب در حد صنعت و پاتنت سازندگان به جزئیات کار آشنایی ندارند و به علاوه دسترسی به آخرین قیمت‌ها هم برای آنها مقدور نیست، هزینه‌های اجرای طرح ممکن است نسبت به براوردهای فاز اول دارای تغییراتی حتی در حدود ۵۰ درصد باشد.

اما در مطالعات مرحله دوم وتهیه اسناد مناقصه این اختلاف بین براوردها و واقعیت‌ها کمتر خواهد شد. هزینه‌های اجرای کار یا هزینه‌های سرمایه‌ای باید در مدت عمر مفید پروژه به سرمایه‌گذار برگردد که تابع نرخ بهره و عمر مفید بخش‌های طرح است که معمولا بر اساس محاسبه ضریب بازگشت سرمایه منظور می‌شود.

هزینه های بهره‌برداری و نگهداری

پس از اجرای کامل کارهای ساختمانی و تأسیساتی و گذشت دوره آزمایشی، کارخانه نمک‌زدایی دارای هزینه‌های مستمر سالانه برای تولید آب است که عبارتند از:

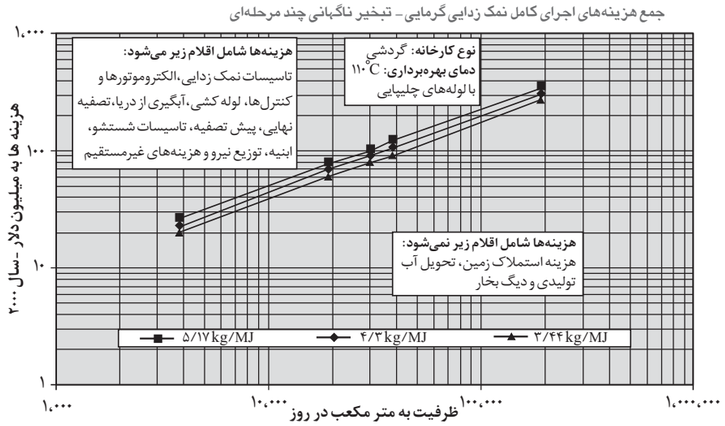
- هزینه‌های خرید ترکیبهای مختلف شیمیایی؛
- هزینه خرید انرژی که در تاسیسات اسمز معکوس، نیروی الکتریسیته است و در تاسیسات حرارتی، انرژی حرارتی؛
- هزینه خرید وسایل یدک برای تعمیر و تعویض؛
- هزینه نیروی انسانی مانند حقوق، بیمه و بازخرید؛
- و هر نوع هزینه دیگر که در سال باید برای تولید آب بپردازد.

این هزینه‌ها در طی عمر مفید پروژه ثابت نیست و با افزایش میزان تولید آب و عمر کارکرد تاسیسات و تورم منتج به خرید گرانتر نیروی الکتریسیته، مواد شیمیایی و وسایل لازم برای تعمیرات، تعویض‌ها و حقوق نیروی انسانی افزایش می‌یابد و در یک محاسبه دقیق باید هزینه‌های سال های مختلف به طور مستقل تعیین گردد. برای آشنایی با وضعیت هزینه‌های روش‌های نمک‌زدایی در گذشته و در امریکا منحنی‌هایی ارائه شده است. البته این ارقام مربوط است به قیمت‌های سال ۲۰۰۰ و برای مقایسه روش‌های مختلف نمک‌زدایی ارائه شده است.

◆ **تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای:** دیاگرام شماره ۸ - ۱ جمع هزینه‌های اجرایی کامل روش تبخیری با گردش مجدد را نشان می‌دهد هزینه‌های کل برای تناسب عملکرد ۳/۴۴ و ۴/۳۰ و ۵/۱۷ کیلوگرم آب برای هر مگاژول را نشان می‌دهد. همچنین دیاگرام شماره ۸ - ۲ هزینه‌های مربوط به فرایندهای همان تناسب‌های عملکردها را نشان می‌دهد. برای تولید روزانه ۱۰،۰۰۰ مترمکعب ارقام به ترتیب عبارتند از ۳۵-۴۰-۵۰ و ۲۰-۲۵-۲۷ میلیون دلار.

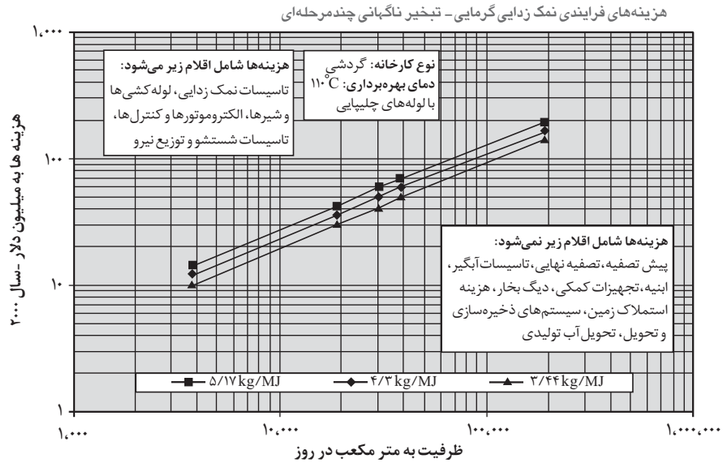
دیاگرام شماره ۸-۱

جمع هزینه‌های اجرای کامل نمک زدایی گرمایی - تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای



دیاگرام شماره ۸-۲

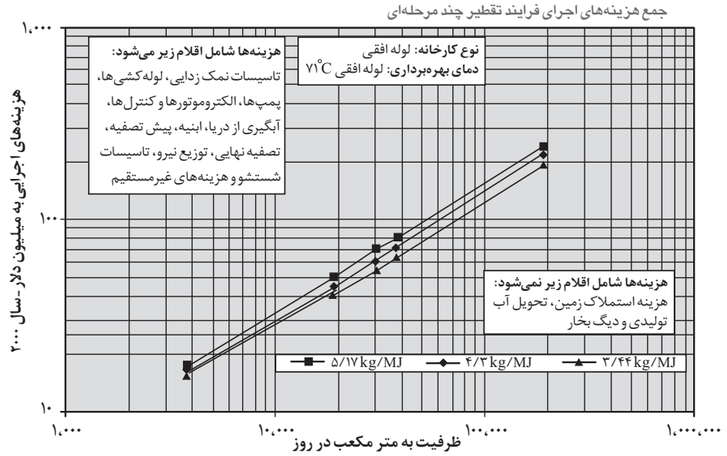
هزینه‌های فرایندی نمک زدایی گرمایی - تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای



◆ **تقطیر چندمرحله‌ای:** دیاگرام شماره ۸-۳ و ۸-۴ همان عملکردها را برای تقطیر چندمرحله‌ای نشان می دهد و برای تولید روزانه ۱۰،۰۰۰ مترمکعب ارقام به ترتیب عبارتند از تقریبا ۴۰-۵۰-۶۰ و ۱۷-۱۵ میلیون دلار.

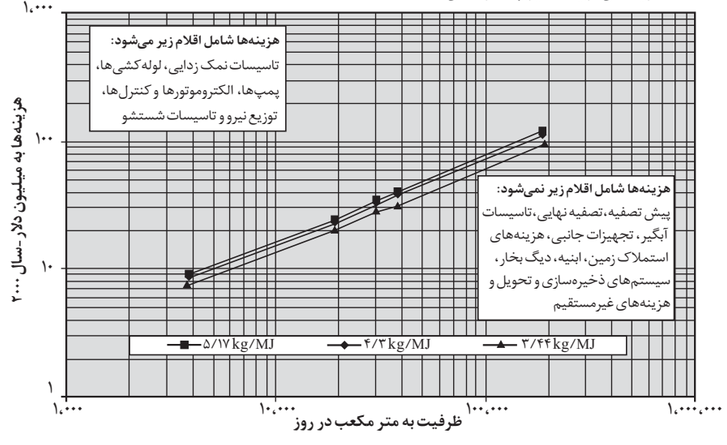
دیاگرام شماره ۸-۳

جمع هزینه‌های اجرای فرایند تقطیر چند مرحله‌ای



دیاگرام شماره ۸-۴

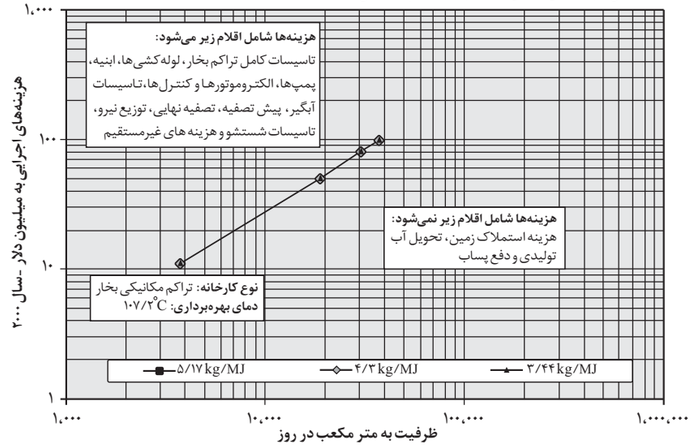
هزینه‌های فرایند تقطیر چند مرحله‌ای



- **تراکم بخار آب**: دیاگرام شماره ۸ - ۵ جمع هزینه‌های اجرای کامل یک کارخانه نمک‌زدایی آب به روش تراکم بخار آب را نشان می‌دهد. دیاگرام‌ها برای همان تناسب عملکرد ۳/۴۴، ۴/۳۰ و ۵/۱۷ کیلوگرم آب برای هر مگاژول انرژی است و دیاگرام شماره ۸ - ۶ هزینه‌های مربوط به فرایند برای تولید ۱۰،۰۰۰مترمکعب آب در روز به ترتیب عبارت از ۲۵ و ۱۵ میلیون دلار است.

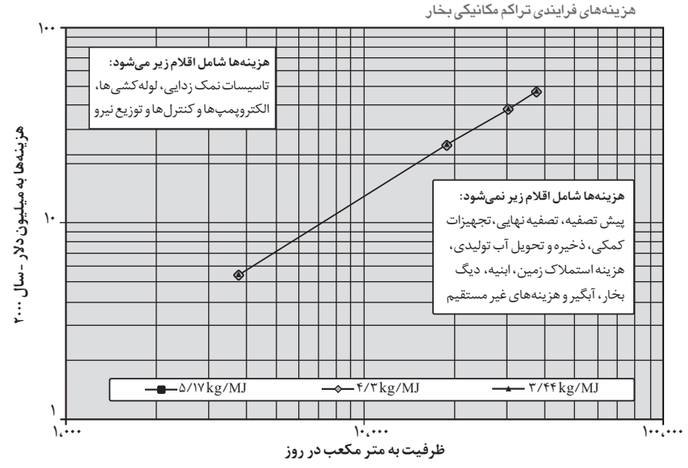
دیاگرام شماره ۸-۵

جمع هزینه‌های اجرای کامل فرایند تراکم مکانیکی بخار



دیاگرام شماره ۸-۶

هزینه‌های فرایندی تراکم مکانیکی بخار



- **نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس از آب دریا**: دیاگرام شماره ۸-۷ جمع هزینه‌های اجرای کامل نمک زدایی اسمز معکوس از آب دریا را نشان می‌دهد. روش آبگیری نیز روش آبگیری مستقیم است. دیاگرام شماره ۸ - ۸ همان هزینه‌ها را برای آبگیری غیرمستقیم از دریا یعنی از طریق چاه ساحلی نشان می‌دهد. مجموع املاح محلول آب دریا ۳۵،۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با ۵۰ درصد بازیافت از طریق ابزاربازیافت انرژی است. برای تولید روزانه ۱۰،۰۰۰ مترمکعب با آبگیری مستقیم هزینه سرمایه‌گذاری حدود ۱۷ میلیون دلار و برای آبگیری غیرمستقیم حدود ۱۶ میلیون دلار نشان می‌دهد.

- **نمک‌زدایی از آب لب شور**: دیاگرام شماره ۸-۷ جمع هزینه‌های اجرای کامل این سیستم را نشان می‌دهد که منبع آبگیری منابع آب سطحی است و دیاگرام شماره ۸-۸ همان سیستم را برای آبگیری از چاه نشان می دهد. هزینه کل بر مبنای ۷۵ درصد بازیافت و بدون اختلاط، برای تولید روزانه ۱۰،۰۰۰ متر مکعب با آبگیری از منابع سطحی معادل حدود ۸ و برای آبگیری از چاه حدود ۶ میلیون دلار را نشان می‌دهد.

- **نانوفیلتر و سختیگیری**: دیاگرام شماره ۸-۷ جمع هزینه‌های اجرای کامل این سیستم را با آبگیری مستقیم از منابع سطحی و دیاگرام شماره ۸-۸ همان هزینه‌ها را برای آبگیری از چاه نشان می‌دهد. هزینه سرمایه گذاری برای تولید ۱۰،۰۰۰ مترمکعب با ۸۵ درصد بازیافت و مجموع املاح محلول آب خام حدود ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۷ و ۶ میلیون دلار نشان داده شده است.

- **الکترودیالیز ریورسال**: دیاگرام شماره ۸-۹ جمع هزینه‌های اجرای کامل نمک‌زدایی الکترودیالیز ریورسال را نشان می‌دهد که منبع آب ممکن است سطحی و یا زیرزمینی باشد. دیاگرام با فرض ۸۰ درصد بازیافت و بدون عمل اختلاط است. دیاگرام‌ها برای سه مرحله مجموع املاح محلول آب خام ۱۵۰۰- ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و ۴ مرحله برای مجموع املاح آب خام ۲۵۰۰- ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

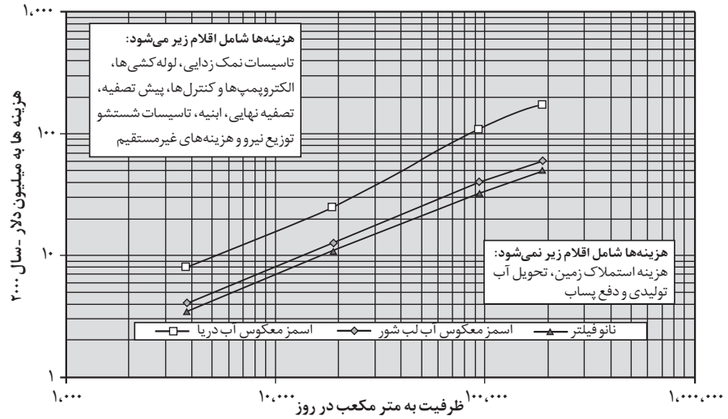
در هر مرحله تقریبا ۵۰ درصد املاح زدایش می‌شود. در عمل حداکثر ظرفیت این نوع تاسیسات حدود ۵۷،۰۰۰ مترمکعب در روز است.

پرسنل لازم برای بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات تبخیری در آمریکا برای ظرفیت‌های ۲۰،۰۰۰

و ۳۰،۰۰۰ مترمکعب در روز به ترتیب عبارتند از ۱۴ و ۱۸ نفر برای تولید آب و برای برق و آب ۱۲ و ۱۳ نفر است و برای نمک‌زدایی به روش ممبرانی برای همان ظرفیتها و برای آب دریا ۱۲ و ۱۵ نفر و برای نمک‌زدایی از آب لب شور و الکترودیالیز و نانوفیلتر ۱۰ و ۱۲ نفر است.

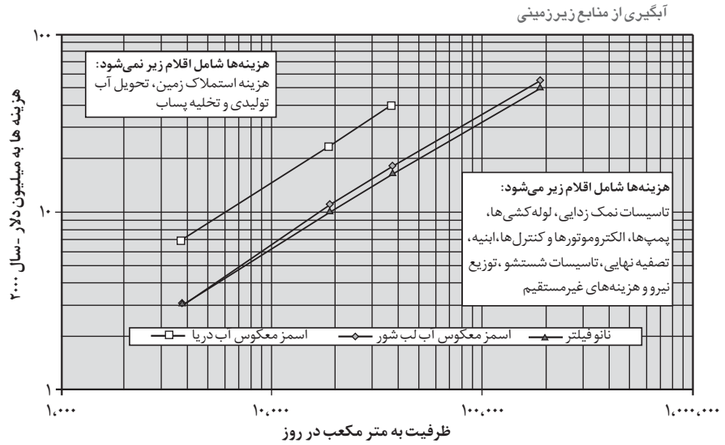
دیاگرام شماره ۸-۷

هزینه کل اجرای کامل کارخانه نمک زدایی از آب دریا، آب لب شور اسمز معکوس و نانوفیلتر - آبگیری مستقیم



دیاگرام شماره ۸-۸

هزینه کل اجرای کامل کارخانه نمک زدایی اسمز معکوس از آب دریا، اسمز معکوس آب لب شور و نانوفیلتر - آبگیری از منابع زیرزمینی

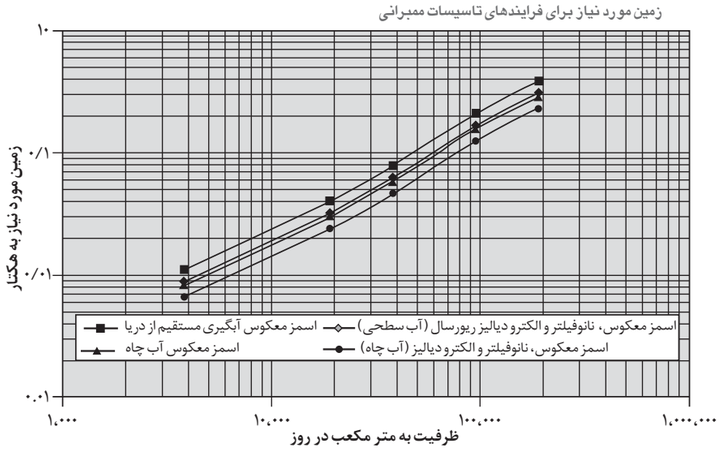


دیاگرام شماره ۸-۹

جمع هزینه اجرای کامل کارخانه الکترودیالیز ریو رسال

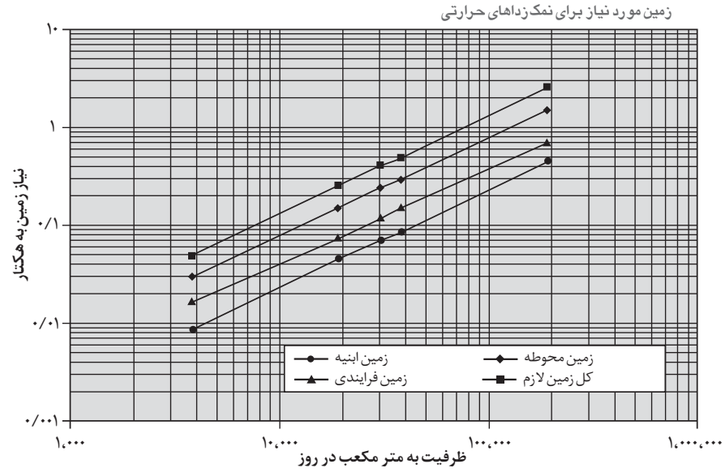
دیاگرام شماره ۸-۱۰

زمین مورد نیاز برای فرایندهای تاسیسات ممبرانی



دیاگرام شماره ۸-۱۱

زمین مورد نیاز برای نمک زداهای حرارتی



همان‌طور که مطرح شد هزینه‌های یک مؤسسه تولید آب عبارت است از هزینه سالانه بازپرداخت مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های جاری بهره‌برداری و نگهداری، حال برای مقایسه دو گزینه سه روش وجود دارد که عبارتند از:

- تبدیل تمام هزینه‌ها به سرمایه[1]؛
- تبدیل تمام هزینه‌ها به هزینه سالانه؛
- تبدیل تمام هزینه‌ها به ارزش فعلی.

روش اول بیشتر برای طرح‌هایی به کار می‌رود که هزینه‌های اولیه و یا اجرایی آن‌ها به نسبت زیاد است و استفاده از روش‌های دوم و سوم تنها برای مقایسه اقتصادی کاربرد ندارد بلکه اگر ارقام مورد استفاده با واقعیت‌های روز تطابق داشته باشد برای تعیین سوددهی و تعیین نرخ فروش آب هم مورد استفاده قرار می گیرد.

در روش اول ابتدا هزینه‌های طرح، در ۳ گروه جمعبندی می‌شود که عبارتند از:

- هزینه‌های اولیه اجرای طرح؛

1. Capitalize

- هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و نگهداری؛
- هزینه سالانه‌ای که در بانک به صورت سود مرکب سرمایه‌گذاری می‌شود تا استهلاک سرمایه را جبران کند.

در اینجا منظور این است که این پرداخت سالانه در حدی باشد که با نرخ بهره مورد نظر و به صورت سود مرکب در بانک ذخیره شود تا سرمایه لازم را در پایان عمر مفید طرح فعلی برای ایجاد تاسیسات جدید تامین کند لذا هزینه‌های سرمایه‌ای یک مؤسسه عبارت است از مقدار سرمایه‌ای که اگر با نرخ بهره خاص در بانک گذاشته شود در پایان هر سال سودی خواهد داد که هزینه‌های زیر را تامین نماید.

- پرداخت سود سرمایه به کار رفته؛
- پرداخت هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و نگهداری طرح؛
- پرداخت ثابت سالانه به بانک برای جبران استهلاک و امکان سرمایه‌گذاری مجدد.

حال اگر هزینه اجرای طرح C و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری O و پرداخت ثابت برای سرمایه‌گذاری P انتخاب شود تا پس از n سال بتوان هزینه مجدد اجرا را به دست آورد لذا

$$P = \frac{C}{(1+i)^n - 1}$$

زیرا فرض بر این است که

$$P(1+i)^n = C + P$$

از طرف دیگر اگر O عبارت باشد از مجموع هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و نگهداری، در این صورت سرمایه‌گذاری لازم عبارت است از:

$$S = C + \frac{O}{i} + P$$

و یا

$$S = C + \frac{O}{i} + \frac{C}{(1+i)^n - 1}$$

که در آن C عبارت است از هزینه‌فعلی اجرای طرح، P عبارت است از سرمایه‌ای که در بانک به صورت نرخ مرکب سپرده می‌شود که پس از n سال، معادل C قابل دریافت باشد و $\frac{O}{i}$ عبارت است از سرمایه‌ای که در بانک سپرده می‌شود تا هزینه سالانه نگهداری و بهره‌برداری را پرداخت کند.

در تاسیسات با عمر زیاد بخش سوم معادله حذف می شود و:

$$S = C + \frac{O}{i}$$

در واقع در این نظریه دو نوع پرداخت و یا دو سرمایه‌گذاری انجام می‌گیرد که طرفداران و مخالفانی دارد. به اجمال چنین اظهار نظر می‌شود که در براوردهای سالانه و برای مقایسه اقتصادی چند گزینه فقط یکی از دو سرمایه‌گذاری در جدول‌های اقتصادی منظور می‌شود. برای محاسبه پرداخت سالانه به منظور جبران استهلاک روش‌های مختلفی به کار می‌رود که روش استهلاک سرمایه[1] مورد توجه است که اساسش فرض استهلاک یکسان تاسیسات در طی سال‌های عمر تاسیسات است و انجام آن نیز ساده‌تر از روش‌های دیگر است لذا به اجمال می‌توان گفت هر مؤسسه تولید آب شرب ۳ دسته هزینه‌دارد که عبارتند از:

۱. هزینه‌های سرمایه‌ای یا هزینه‌های اجرای کار؛

۲. هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و نگهداری؛

۳. هزینه‌های سالانه استهلاک؛

برای تعیین هزینه‌های استهلاک از معادله $A = \frac{Fi}{(1+i)^n - 1}$ استفاده می‌شود که در آن A عبارت است از پرداخت سالانه به مدت n سال و نرخ i برای دریافت ارزش F. برای شفافیت مطالب چند مثال آورده می‌شود.

مثال شماره ۸-۱: فرض می‌شود که یک نیروگاه آبی کوچک با هزینه‌سرمایه‌ای ۱۰۰ میلیون واحد و با نرخ ۵ درصد تحت مطالعه است. بخش‌های اصلی این طرح عبارتند از ساختمان سد، پل‌های مربوط به نیروگاه و خطوط انتقال نیرو. عمر مفید عنصرهای طرح به قرار زیر است:

۱. عمر مفید ابنیه بتنی ۵۰ سال با هزینه ۶۰ میلیون واحد؛

۲. عمر مفید تاسیسات ۳۰ سال و با هزینه اولیه ۳۰ میلیون واحد؛

۳. عمر مفید بقیه ۲۰ سال و با هزینه اولیه ۱۰ میلیون واحد؛

حل: استهلاک سرمایه

بهره‌برداری ۵،۰۰۰،۰۰۰ = ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ × ۰/۰۵

1. Sinking Fund Payment

ضریب استهلاک برای ردیف اول به کمک معادله‌های گفته شده و یا جدول‌های اقتصادی عبارت است از ۰/۰۰۴۷۸، پس

۰/۰۰۴۷۸ × ۶۰،۰۰۰،۰۰۰ = ۲۸۶،۸۰۰ واحد

ضریب استهلاک برای ردیف دوم به کمک معادله مربوط و یا جدول‌های اقتصادی عبارت است از ۰/۰۱۵۰۵، پس

۰/۰۱۵۰۵ × ۳۰،۰۰۰،۰۰۰ = ۴۵۱،۵۰۰ واحد

ضریب استهلاک برای ردیف سوم مانند دو ردیف فوق عبارت است از ۰/۰۳۰۲، پس

۰/۰۳۰۲ × ۱۰،۰۰۰،۰۰۰ = ۳۰۲،۰۰۰ واحد

در نتیجه هزینه سالانه این طرح عبارت است از مجموع ۴ عدد بالا یعنی ۶،۰۴۰،۳۰۰ واحد.

اما بخش هایی از طرح پس از پایان ۲۰ سال که عمر کوتاهترین عنصر طرح است هنوز دارای ارزش است که مورد توجه قرار خواهد گرفت. یکی از روش‌های مقایسه طرح‌هایی که عنصرهای آن دارای عمر یکسان نیستند با فرض تکرار اجرای عنصر با عمر کمتر، مقایسه‌ها انجام می‌گیرد.

مثال شماره ۸-۲: در دو طرح B و A شرایط زیر وجود دارد. اجرای کدام طرح اقتصادیتر است.

	طرح A	طرح B
سرمایه‌گذاری اولیه	۴۰۰،۰۰۰ واحد	۱۲۰،۰۰۰ واحد
عمر مفید طرح	۲۵ سال	۱۰ سال
هزینه بهره‌برداری و نگهداری	۱۰۰،۰۰۰ واحد	۲۵،۰۰۰ واحد
ارزش باقیمانده	۱۰۰،۰۰۰ واحد	----

نرخ بهره در سال ۵ درصد.

برای مقایسه ابتدا لازم است عمر مفید آنها را یکسان نمود و برای این منظور مدت مطالعه ۵۰ سال فرض می‌شود و در این صورت طرح A دو بار و طرح B پنج بار باید تکرار شود.

آنالیز طرح B

۱. ارزش فعلی سرمایه‌گذاری در سال اول برابر است با ۱۲۰،۰۰۰ واحد

۲. ارزش فعلی سرمایه‌گذاری در سال دهم برابر است با ۱۲۰،۰۰۰×۰/۶۱۳۹ واحد

عدد ۰/۶۱۳۹ از جدول‌های اقتصادی در بخش ۵ درصد و ۱۰ سال و تحت نام ضریب ارزش فعلی[1] به دست می‌آید و یا از معادل $\frac{۱}{(۱/۰۵)^n}$ به دست باید آورد که n همان عدد ۱۰ است.

۳. ارزش فعلی سرمایه‌گذاری در سال بیستم برابر است با ۱۲۰،۰۰۰ × ۰/۳۷۶۹ واحد

و عدد ۰/۳۷۶۹ از رابطه $\frac{۱}{(۱/۰۵)^{۲۰}}$ حاصل می‌شود.

۴. ارزش فعلی سرمایه‌گذاری در سال سی‌ام ۱۲۰،۰۰۰ × ۰/۲۳۱۴ واحد

۵. ارزش سرمایه‌گذاری در سال چهل‌ام ۱۲۰،۰۰۰ × ۰/۱۴۲ واحد

جمع ارزش فعلی ۵ سرمایه‌گذاری عبارت است از ۲۸۳،۷۰۴ واحد در حالی‌که بدون توجه به استهلاک سرمایه رقم ریالی سرمایه‌گذاری عبارت است از ۱۲۰،۰۰۰×۵ =۶۰۰،۰۰۰ واحد

آنالیز طرح A

۱. ارزش فعلی اولین سرمایه‌گذاری در سال اول برابر است با ۴۰۰،۰۰۰ واحد

۲. ارزش فعلی اولین واحد (۴۰۰،۰۰۰-۱۰۰،۰۰۰) ×۰/۲۹۵۳=۸۸،۵۹۰

رقم ۸۸،۵۹۰ عبارت است از ارزش فعلی سرمایه‌گذاری در سال ۲۵ ام که ارزش باقیمانده ۱۰۰،۰۰۰ از آن کسر شده است. در حقیقت در آن سال ۳۰۰،۰۰۰ واحد سرمایه‌گذاری جدید مورد نیاز است لذا ارزش فعلی سرمایه گذاری این گزینه عبارت است از ۴۸۸،۵۹۰ واحد.

حال ارزش فعلی بهره‌برداری و نگهداری دو طرح محاسبه می‌شود و برای سادگی فرض شده است که ارقام بهره برداری و نگهداری در طی عمر دو طرح ثابت است لذا

برای طرح B: ۲۵،۰۰۰×۱۸/۲۵۶ = ۴۵۶،۴۰۰ واحد

برای طرح A: ۱۰۰،۰۰۰×۱۸/۲۵۶ = ۱،۸۲۵،۶۰۰ واحد

جمع ارزش فعلی طرح B عبارت است از ۴۵۶،۴۰۰+۲۸۳،۷۰۴ = ۷۰۴،۱۰۴ واحد

جمع ارزش فعلی طرح A عبارت است از ۴۸۸،۵۹۰+۱،۸۲۵،۶۰۰ = ۲،۳۱۴،۱۹۰ واحد

لذا اجرای طرح B اقتصادیتر است.

1. Present worth Facrtor (PWF)

بدین ترتیب می‌توان طرح‌هایی را که از نظر عمر مفید و ارزش اسقاطی یکسان نیستند مورد مقایسه اقتصادی قرار داد. دلیل آوردن این مثال و اندیشه، وجود اختلافات فاحش در بین روش‌های نمک زدایی است چنان که عمر ممبران‌های اسمز معکوس حدود ۵ سال وعمر مفید تاسیسات گرمایی به مراتب بیشتر است.

دو موضوع قیمت تمام شده آب و قیمت فروش آب را نیز به اجمال باید مطرح کرد. به طور کلی برای تعیین قیمت تمام شده آب لازم است تمام هزینه‌ها و تمام دریافت‌ها محاسبه شود و بدین ترتیب قیمت تمام شده آب محاسبه می‌شود.

مثال شماره ۸-۳: فرض شود که یک طرح تامین آب شرب در آخر اسفند ماه ۱۳۸۹ پایان می‌پذیرد و هزینه کامل اجرای طرح در آن تاریخ عبارت است از ۱۰ میلیون واحد. عمر مفید طرح ۲۰ سال و ارزش باقیمانده ناچیز است. نرخ بهره بانکی ۷ درصد و هزینه‌های سالانه بهره‌برداری و نگهداری عبارتند از:

- در ۵ سال اول ۱/۵ میلیون واحد و با فروش یک میلیون متر مکعب آب؛
- در ۵ سال دوم ۲/۵ میلیون واحد و با فروش یک میلیون متر مکعب آب؛
- در ۱۰ سال دوم ۳/ میلیون واحد و با فروش ۲ میلیون متر مکعب آب؛

آب را با چه قیمتی باید فروخت تا شرکت بدون سود و زیان باشد.

ارزش فعلی تمام هزینه‌ها در جدول شماره ۸- ۱ و ارزش فعلی تمام درامدها درجدول شماره ۸-۲ آورده شده است.

حال اگر ارزش فعلی تمام هزینه‌ها را مساوی ارزش فعلی تمام درامدها قرار داد، ارزش عددی A یعنی قیمت تمام شده واحد آب معلوم می‌شود.

۱۴،۱۶۴،۰۰۰ A = ۳۴۱،۶۹۲،۰۰۰

و A عبارت است از ۲۴/۱ واحد

تدوین جدول‌هایی مانند ۲ جدول فوق برای طرح‌هایی ضرورت پیدا می‌کند که درامدها و هزینه‌ها در سال‌های مختلف یکسان نیست. اما در مسئله فوق که این تغییرات فقط در یک مقطع رخ داده است می‌توان به صورت زیر نیز عمل کرد.

۱،۰۰۰،۰۰۰ × ۷/۰۲۴ + ۲،۰۰۰،۰۰۰ (۱۰/۵۹۴-۷/۰۲۴) = ۱۴،۱۶۴،۰۰۰

جدول شماره ۸-۱: ارزش فعلی تمام هزینه‌ها - ارقام به میلیون

سال	مقدار هزینه در سال	ضریب ارزش فعلی	ارزش فعلی
۱۳۸۹	۱۰	-	۱۰
۱۳۹۰	۱/۵	۰/۹۳۴۶	۱/۴۰۱۹
۱۳۹۱	۱/۵	۰/۸۷۳۴	۱/۳۱۰۱
۱۳۹۲	۱/۵	۰/۸۱۶۳	۱/۲۲۴۴۵
۱۳۹۳	۱/۵	۰/۷۶۲۹	۱/۱۴۴۳۵
۱۳۹۴	۱/۵	۰/۷۱۳	۱/۰۶۹۵
۱۳۹۵	۲/۵	۰/۶۶۶۳	۱/۶۶۵۷۵
۱۳۹۶	۲/۵	۰/۶۲۲۷	۱/۵۵۶۷۵
۱۳۹۷	۲/۵	۰/۵۸۲۰	۱/۴۵۵
۱۳۹۸	۲/۵	۰/۵۴۳۹	۱/۳۵۹۷۵
۱۳۹۹	۲/۵	۰/۵۰۸۳	۱/۲۷۰۷۵
۱۴۰۰	۳	۰/۴۷۵۱	۱/۴۲۵۳
۱۴۰۱	۳	۰/۴۴۴	۱/۳۳۲
۱۴۰۲	۳	۰/۴۱۵	۱/۲۴۵
۱۴۰۳	۳	۰/۳۸۷۸	۱/۱۶۳۴
۱۴۰۴	۳	۰/۳۶۲۴	۱/۰۸۷۲
۱۴۰۵	۳	۰/۳۳۸۷	۱/۱۶۱
۱۴۰۶	۳	۰/۳۱۶۵	۰/۹۴۹۵
۱۴۰۷	۳	۰/۲۹۵۹	۰/۸۸۷۷
۱۴۰۸	۳	۰/۲۷۶۵	۰/۸۲۹۵
۱۴۰۹	۳	۰/۲۵۸۴	۰/۷۷۵۲
جمع ارزش فعلی هزینه‌ها عبارتست از:			۳۴/۱۶۹۲۰

جدول شماره ۸-۱: ارزش فعلی تمام درآمدها - ارقام به میلیون

سال	مقدار فروش آب	ضریب ارزش فعلی	پول دریافتی	ارزش فعلی پول دریافتی
۱۳۹۰	۱	۰/۹۳۴۶	۱A	۰/۹۳۴۶A
۱۳۹۱	۱	۰/۸۷۳۴	۱A	۰/۸۷۳۴A
۱۳۹۲	۱	۰/۸۱۶۳	۱A	۰/۸۱۶۳A
۱۳۹۳	۱	۰/۷۶۲۹	۱A	۰/۷۶۲۹A
۱۳۹۴	۱	۰/۷۱۳	۱A	۰/۷۱۳A
۱۳۹۵	۱	۰/۶۶۶۳	۱A	۰/۶۶۶۳A
۱۳۹۶	۱	۰/۶۲۲۷	۱A	۰/۶۲۲۷A
۱۳۹۷	۱	۰/۵۸۲	۱A	۰/۵۸۲A
۱۳۹۸	۱	۰/۵۴۳۹	۱A	۰/۵۴۳۹A
۱۳۹۹	۱	۰/۵۰۸۳	۱A	۰/۵۰۸۳A
۱۴۰۰	۲	۰/۴۷۵۱	۲A	۰/۹۵۰۲A
۱۴۰۱	۲	۰/۴۴۰۴	۲A	۰/۸۸۸A
۱۴۰۲	۲	۰/۴۱۵	۲A	۰/۸۳A
۱۴۰۳	۲	۰/۳۸۷۸	۲A	۰/۷۷۵۶A
۱۴۰۴	۲	۰/۳۶۲۴	۲A	۰/۷۲۴۸A
۱۴۰۵	۲	۰/۳۳۸۷	۲A	۰/۶۷۷۸A
۱۴۰۶	۲	۰/۳۱۶۵	۲A	۰/۶۳۳A
۱۴۰۷	۲	۰/۲۹۵۹	۲A	۰/۵۹۱۸A
۱۴۰۸	۲	۰/۲۷۶۵	۲A	۰/۵۵۳A
۱۴۰۹	۲	۰/۲۵۸۴	۲A	۰/۵۱۶۸A
جمع ارزش فعلی دریافت‌ها عبارتست از:				۱۴/۱۶۴A

نرخ بهره

نرخ بهره نقش درخور توجهی درنتایج تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی دارد و انتخاب آن با توجه به نظر مقامات مسئول بانک مرکزی باید انجام گیرد، برای مثال:

اگر هزینه‌های اجرای طرحی ۵۰۰ میلیون واحد باشد و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری آن هم ۱۵ درصد و جمع سرمایه‌گذاری ۵۷۵ میلیون واحد باشد و در طی ۳۰ سال، سالانه ۱ میلیون مترمکعب آب تولید نموده و بفروشد با نرخ ۸ و ۱۲ درصد در سال بهای فروش آب محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن بدون سود وزیان طرح فرض می‌شود که در سال پانزدهم ۲۰ درصد هزینه سرمایه‌گذاری برای تعمیرات اساسی باید مصرف شود.

ارزش فعلی سرمایه‌گذاری در سال پانزدهم و با نرخ ۸ درصد عبارت است از:

میلیون واحد ۳۱/۵۲=۰/۳۱۵۲×۱۰۰

ارزش فعلی سرمایه‌گذاری اولیه ۵۰۰

ارزش فعلی هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در طی ۳۰ سال و با نرخ ۸ درصد در سال

میلیون واحد ۸۴۴،۳۵۰=۱۱،۲۵۸×۷۵

جمع ارزش‌های فعلی عبارت است از واحد ۱،۳۷۵،۸۷۰،۰۰۰

و درامد شرکت از فروش آب عبارت است از

۱،۰۰۰،۰۰۰ A×۱۱/۲۵۸=۱۱،۲۵۸،۰۰۰ A

و لذا

۱،۳۷۵،۸۷۰،۰۰۰ = ۱۱،۲۵۸،۰۰۰ A

نرخ فروش آب به واحد A =۱۲۲/۲

حال اگر تمام محاسبه‌ها برای نرخ ۱۲ درصد در سال انجام گیرد قیمت آب ۱۳۹ واحد خواهد شد.

باید یک اصل دوباره یاداوری شود که هر سازمان تولید کنندهٔ آب آشامیدنی باید بتواند با فروش آب تمام هزینه‌های سازمان را تامین کند و در طی سال‌ها با کمبود درامد برای نگهداری تاسیسات و خرید کلر و غیره روبه‌رو نشود. اما از طرف دیگر در بسیاری از نقاط کشور ما به دلیل کیفیت بد آب خام و یا دوری از منشاء آب از محل مصرف، هزینهٔ تصفیه، انتقال و توزیع آب، نسبت به نقاط دیگر کشور خیلی گرانتر تمام می‌شود و در اینجا این سئوال مطرح می شود، که

آیا مشترکان این اجتماعات نسبتا محروم باید آبی با قیمت خیلی گرانتر از دیگر هموطنان مصرف کنند و یا دولت به نحوی کمک به این گونه سازمان‌ها خواهد کرد تا قیمت آب تعدیل شود. به زبان دیگر آیا نمی‌توان بهای فروش آب را هم مانند بهای برق، نان، نفت و بنزین در سطح کشور ثابت ساخت.

به هر حال تا وقتی این سیاست در سطح کارشناسی و تصمیمگیری حل نشده است مشترکان هر شرکت آب صرف‌نظر از کوچکی و بزرگی سازمان لازم است تمام هزینه‌های مربوط را بپردازند، در این بخش کلیاتی همراه با مثال هایی در زمینه چگونگی دریافت‌های شرکت آب یاداوری می‌شود، لذا ابتدا هزینه‌ها و سپس درامدهای ناشی از فروش آب مورد بحث قرار می‌گیرد.

هزینه های یک سازمان آب

هزینه‌های یک سازمان آب همان‌طور که یادآوری شد عبارتند از:

۱. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری مانند حقوق، هزینه‌های تامین اجتماعی یا بازنشستگی، دستمزدها، هزینهٔ برق و مواد شیمیایی و تعمیرات و توسعه‌های کوچک.

۲. هزینه‌های بازپرداخت اصل و فرع وام و یا پس‌انداز سالانه برای تامین سرمایه لازم جهت بازسازی تاسیسات در پایان عمر مفید آن.

برای تعیین نرخ فروش آب دو روش اساسی مورد توجه بسیاری از سازمان‌ها بوده است که عبارتند از:

- **الف: نرخگذاری بر اساس مبانی تقاضا:** در این روش هر مشترک صرفنظر از مقدار مصرف آب باید در تامین تمام هزینه‌های سازمان شرکت داشته باشد، در این صورت هزینه‌های سالانه سازمان به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱. هزینه‌های مشترکان؛

۲. هزینه‌های ظرفیتی؛

۳. هزینه‌های تولید؛

هزینه‌های مشترکان عبارت است از هزینه‌های نصب و تعمیر و قرائت کنتورها، تعمیر و تعویض انشعاب آب مشترکان و هزینه‌های پرسنلی مانند حقوق، مالیات و تامین اجتماعی، این هزینه‌ها باید به طور یکسان بین مشترکان تقسیم شود.

هزینه‌های ظرفیتی[1] عبارت است از هزینه‌های ایجاد تاسیسات و نگهداری آن برای تولید آب و لذا هر مشترک باید متناسب با قدرت استفاده از آن مانند قطر لوله انشعاب خویش این هزینه‌ها را تامین کند، معمولا جمع هزینه‌های دو دسته پیشگفته مقدار ثابت آب بهاء را تشکیل می‌دهد و مستقل از مقدار مصرف آب است. هزینه‌های تولید عبارت است از هزینه مواد شیمیایی، سوخت، برق و مانند آن که مشترکان بر اساس مصرف آب باید بپردازند.

- **ب: نرخگذاری بر اساس مبانی مصرف**: در این روش فقط هزینه‌های مشترکان مقدار ثابت آب‌بها را تشکیل می‌دهد و کلیه هزینه‌های دیگر برای تعیین نرخ فروش آب در نظر گرفته می‌شود. در هر صورت تعیین نرخ فروش آب نیاز به توجهات عمیقتر و جامعتر دارد و به علاوه با توجه به این که شرایط مؤثر در این گردش پول برای اجتماعات مختلف نه فقط یکسان نبوده بلکه دارای تغییرات زیادی است. انتخاب یکی از دو روش پیشگفته و یا روش دیگری غیر از آنچه در بالا آمد نیاز به انجام مطالعات خاص برای هر طرح تامین آب دارد.

نرخ فروش آب

با توجه به گفتگوهای قبلی برای تعیین نرخ فروش آب لازم است مخارج مؤسسه تولید آب به طور عادلانه بین مشترکان یا مصرف‌کنندگان آب تقسیم گردد. تنها برای معرفی مطلب و بر اساس آنچه که در فصول گذشته گفته شد مسئله‌ای آورده می‌شود.

مثال شماره ۸-۴: فرض می‌شود که سرمایه‌گذاری اولیهٔ تاسیسات آب آشامیدنی یک روستای ۱،۰۰۰ نفری یا ۲۰۰ خانواری برابر ۲۰،۰۰۰،۰۰۰ واحد خواهد شد و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری آن عبارت است از ۱۰ درصد هزینهٔ سرمایه گذاری یعنی ۲،۰۰۰،۰۰۰ واحد در سال، با فرض مصرف سرانه ۱۰۰ لیتر و عمر مفید تاسیسات ۳۰ سال و نرخ بهره ۱۰ درصد نرخ فروش آب و نحوهٔ تامین مخارج موسسه بررسی می‌شود.

۱. ارزش فعلی هزینه‌های سالانه نگهداری و بهره‌برداری در مدت ۳۰ سال عمر مفید تاسیسات

---

۱. در صورتی که هزینه‌های اولیه اجرای طرح‌ها از این قبیل به نحوی توسط دولت تأمین شود سازمان مربوط باید بخشی از درامد خود را به نحوی سرمایه‌گذاری کند که تا اجرای مجدد طرح از طریق این سرمایه‌گذاری انجام گیرد.

عبارت است از:

واحد $C_1=۲۰،۰۰۰،۰۰۰\times۹/۴۲۷=۱۸،۸۵۴،۰۰۰$

۲. جمع کل ارزش فعلی سرمایه‌گذاری‌ها عبارت است از:

واحد $C_t=۲۰،۰۰۰،۰۰۰+۱۸،۸۵۴،۰۰۰=۳۸،۸۵۴،۰۰۰$

۳. ارزش فعلی دریافت‌های ناشی از فروش آب در ۳۰ سال و با فرض ۱۰۰ لیتر مصرف سرانه و A ریال قیمت واحد فروش آب

واحد $I_t=۱،۰۰۰\times۰/۱\times۳۶۵\times۹/۴۲۷\times A=۳۴۴،۰۸۵\ A$

و اگر مؤسسه در پایان مدت عمر طرح نه سودی داشته باشد و نه زیان، باید

$C_t=I_t$

لذا قیمت تولید آب عبارت است از: واحد $A=۱۱۳$

حال بررسی می‌شود که چگونه گردش پول در شرکت انجام گیرد و روش کار نیز بر اساس سیاست مبانی مصرف خواهد بود.

۱. با فرض اینکه ۸۰ درصد هزینه‌های نگهداری به عنوان هزینه‌های مشترکان باشد لذا

$۲،۰۰۰،۰۰۰\times۰/۸=۱،۶۰۰،۰۰۰$

آب بهای ثابت به ازای هر نفر در سال

$۱،۶۰۰،۰۰۰\div۱۰۰۰=۱۶۰۰$

۲. ارزش فعلی مخارج وابسته به تولید آب در ۳۰ سال تولید

$۴۰۰،۰۰۰\times۹/۴۲۷=۳،۷۷۰،۸۰۰$

۳. جمع کل ارزش فعلی هزینه‌های تولید

$C_t=۳،۷۷۰،۸۰۰+۲۰،۰۰۰،۰۰۰=۲۳،۷۷۰،۸۰۰$

و لذا بهای فروش آب عبارت خواهد بود از

واحد $۲۳،۷۷۰،۸۰۰\div۳۴۴،۰۸۵=۶۹$

در نتیجه هر خانوار ۵ نفری در سال دو نوع پرداخت خواهد داشت:

اول: آب بهای ثابت برابر $۵\times۱،۶۰۰=۸،۰۰۰$ واحد

دوم: بهای آب مصرفی برابر $۵\times۰/۱\times۳۶۵\times۶۹=۱۲،۵۹۲$ واحد

در جمع ۲۰،۵۹۲ ریال به ازاء ۱۸۲ مترمکعب مصرف در سال باید بپردازد که در واقع برای مصرف‌کنندهٔ آب مترمکعبی ۱۱۳ واحد تمام خواهد شد.

لذا درامد شرکت در سال عبارت است از:

$I = ۲۰،۵۹۲ \times ۲۰۰ = ۴،۱۱۸،۴۰۰$

و هزینه‌های شرکت در سال ۲،۰۰۰،۰۰۰ واحد

و باقیمانده در بانک سرمایه‌گذاری می‌شود یعنی سالانه ۲،۱۱۸،۰۰۰ واحد که برابر است با:

۳۶۹،۶۵۷،۰۰۰ واحد در سال سی‌ام و یا ۱۹،۹۶۶،۳۸۶ واحد حال.

حال اگر جمعیت طرح فوق ۲،۰۰۰ نفر باشد وضعیت فرق می‌کند زیرا مخارج و درامد و گردش پول مانند حالت قبل نیست چنانکه

واحد ۸۰۰ = ۲،۰۰۰ ÷ ۱،۶۰۰،۰۰۰

یعنی آب بهای ثابت نصف می‌شود.

و ارزش فعلی درامدهای ناشی از فروش آب با فرض A ریال در متر مکعب در طی ۳۰ سال

$I = ۲،۰۰۰ \times ۰/۱ \times ۳۶۵ \times ۹/۴۲۷ \times A = ۶۸۸،۱۷۱A$

و با فرض اینکه مخارج مانند حالت قبل است:

$A = \frac{۲۳،۷۷۰،۸۰۰}{۶۸۸،۱۷۱} = ۳۴/۵$

در این صورت پرداخت‌های سالانه هر خانوار ۵ نفری عبارت است از:

واحد $۱۰،۲۹۶ = (۸۰۰ \times ۵) + ۳۴/۵ \times ۳۶۵ \times ۰/۱ \times ۵$

که نصف وضعیت قبلی است.

لذا درامد سازمان در سال عبارت است از:

$۱۰،۲۹۶ \times ۴۰۰ = ۴،۱۱۸،۴۰۰$

و با توجه به مخارج شرکت برابر ۲،۰۰۰،۰۰۰ ریال پس انداز شرکت برابر ۲،۱۱۸،۴۰۰ واحد خواهد شد که ارزش فعلی این پس انداز در طی ۳۰ سال عمر مفید سازمان برابر با ۱۹،۹۷۰،۱۵۷ واحد خواهد شد.

مثال شماره ۸-۵: اطلاعات زیر در مورد گزینه‌ای در دست است:

۱. هزینهٔ انجام طرح یا هزینهٔ اولیه ۱،۰۰۰میلیون ریال

۲. هزینه‌های پیشبینی نشده ۱۰درصد هزینهٔ اولیه	۱۰۰ میلیون ریال
۳. هزینهٔ خدمات مهندسی ۱۰درصد	۱۰۰ میلیون ریال
۴. جمع کل هزینهٔ طرح	۱،۲۰۰ میلیون ریال
۵. هزینهٔ بهره‌برداری و نگهداری طرح سالانه	۳ میلیون ریال
۶. مقدار تولید آب در سال	۲۰ میلیون مترمکعب
۷. عمر مفید طرح	۳۰ سال
۸. نرخ بهره	۸ درصد

اطلاعات حاصل از انجام محاسبه‌های اقتصادی:

۹. بازپرداخت سالانه وام (C.R.F) تهیه شده برای انجام طرح	۱۰۶/۵۹ میلیون ریال
۱۰. جمع هزینه سالانه	۱۰۹/۵۹ میلیون ریال
۱۱. ارزش فعلی پرداخت‌های ۳۰ ساله ردیف ۱۰	۱،۲۳۳ میلیون ریال
۱۲. ارزش فعلی دریافت‌های فروش آب در ۳۰ سال	۲۲۵/۱۶A میلیون ریال

۱۳. با فرض نبود سود و زیان برای شرکت، بهای تمام شده آب برحسب ریال عبارت است از:

$A = ۵/۴$ ریال $\frac{۱۲۳۳ \times ۱۰^۶}{۲۲۵/۱۶ \times ۱۰^۶ A}$

نحوه تامین دریافت مبلغ ردیف ۱۳ مسئلهٔ نرخگذاری فروش آب است که گفتگو می‌شود. در مسئلهٔ شمارهٔ ۸-۳ به خاطر صرفه‌جویی در وقت فرض شده است که مقدار تولید آب و هزینه‌های بهره‌برداری ونگهداری در طی ۳۰ سال ثابت است و این فرض درعمل صحیح نیست وباید با توجه به جمعیت و مصرف میزان لازم سالانهٔ تولید آب و هزینه‌های مربوط آن به دقت بررسی شود و برای انجام آن نیاز به تدوین جدول‌های گردش پول درطی سال‌های مختلف است تا بتوان به نتیجهٔ قیمت تمام شدهٔ آب رسید. برای نمونه اگر فرض شود که در طرح فوق در ۱۵ سال اول سالانه ۱۰ و در ۱۵ سال دوم سالانه ۲۰ میلیون مترمکعب آب تولید خواهد شد، قیمت تولید آب به قرار زیر است:

ارزش فعلی دریافت‌های ۱۵ سال اول از فروش آب بر مبنای ۱۰ میلیون مترمکعب در سال به قیمت A ریال در مترمکعب.

$I_۱ = ۱۰ \times ۱۰^۶ \times ۸/۵۵۹ \times A = ۸۵/۵۹ \times ۱۰^۶ A$

ارزش فعلی دریافت‌های ۳۰ سال اول فروش آب بر مبنای تولید آب با میزان نیاز ۱۵ سال دوم:

$I_۲ = ۲۰ \times ۱۰^۶ \times ۱۱/۲۵۸ \times A = ۲۲۵/۱۶ \times ۱۰^۶ A$

ارزش فعلی دریافت‌های ۱۵ سال اول فروش آب بر مبنای میزان تولید در ۱۵ سال دوم.

$I_۳ = ۲۰ \times ۱۰^۶ \times ۸/۵۵۹ \times A = ۱۷۱/۱۸ \times ۱۰^۶ A$

لذا ارزش فعلی دریافت‌های ۱۵ سال دوم $I_۴ = I_۲ - I_۳$

$۲۲۵/۱۶ \times ۱۰^۶ A - ۱۷۱/۱۸ \times ۱۰^۶ A = ۵۳/۹۸ \times ۱۰^۶ A$

لذا جمع کل ارزش فعلی دریافت‌ها عبارت است از:

$I_t = ۵۳/۹۸ \times ۱۰^۶ A + ۸۵/۵۹ \times ۱۰^۶ A = ۱۳۹/۵۷ \times ۱۰^۶ A$

حال اگر رقم حاصل در ردیف ۱۱ مسئله یعنی ارزش فعلی پرداخت‌ها ۳۰ ساله همان رقم ۱۲۳۳ میلیون ریال باشد، یعنی فرض شود که هزینه‌های سالانه با وجود تغییر میزان تولید آب تغییر نکرده است.

در این صورت قیمت تمام شده عبارت است از:

$$A = \frac{۱۲۳۳ \times ۱۰^۶}{۱۳۹/۵۷ \times ۱۰^۶} = ۸/۸۳$$

لذا می‌توان مشاهده کرد که با فرضیات فوق بهای تمام شدهٔ آب خیلی بیشتر از حالت قبل است. در حقیقت بهای تمام شدهٔ آب در ۱۵ سال اول بیشتر از ۸/۸۳ و در ۱۵ سال دوم کمتر از ۸/۸۳ خواهد شد. در یک مطالعهٔ جامع بررسی نرخ فروش آب و یا بررسی بهای تمام شدهٔ آب جدول‌های خاص تنظیم می‌شود و بهای آب در دوره‌های ۵ تا ۱۰ ساله محاسبه می‌شود.

در پایان یاداوری می‌شود که در این فصل اصول کلی انجام محاسبه‌های اقتصادی مورد بحث قرار گرفته و برای هر طرح خاص تدوین سیاست‌های اقتصادی خاص برای تنظیم گردش پول لازم خواهد بود.

مسئله زمین

در تمام بخش‌های این فصل سخن از زمین، بهای آن و نحوهٔ اعمال این هزینه در جدول‌های گردش پول نشده است. زیرا با توجه به این که سرمایه‌گذاری مربوط به آن نه فقط دچار استهلاک نمی‌گردد، بلکه بنابر قاعده، ارزش آن با زمان افزایش می‌یابد. اما نمی‌توان این افزایش قیمت

را در جدول‌های گردش پول مؤسسه منظور نموده و لذا بیشتر مهندسان اصولا قیمت خرید زمین را جزء هزینه‌های سرمایه‌گذاری منظور نمی‌کنند.

به نظر لازم است هزینهٔ سرمایه‌گذاری زمین با فرض عمر مفید آن برابر ۱۰۰ سال در جریان گردش پول اعمال شده و در نتیجه عملا در دو تا سه نسل جامعه، این باز پرداخت انجام گیرد. زیرا در هر حال در شروع سرمایه‌گذاری این هزینه وجود خواهد داشت.

در مورد طرح‌هایی که زمین به رایگان به طرح داده می‌شود طبیعی است که قیمت آن هم صفر فرض می‌شود. مسئله زمین در بخش های قراردادهای راهگشا در فصل هفتم ارائه شده است.

با بحث‌های ارائه شده حال نگاهی مدیریتی به مسائل اقتصادی به خصوص در مورد تاسیسات نمک‌زدایی افکنده می شود. مسائل مورد بحث عبارتند از هزینه‌های مقایسه‌ای و هزینه‌های مطلق، هزینه‌های اقتصادی[1] و هزینه‌های مالی[2]، هزینه‌های عمومی و هزینه‌های ویژه. همان‌طور که مطرح شد در ارزیابی گزینه‌های تامین آب مزایا و محدودیت‌های گزینه‌ها به صورت نسبی تدوین می‌شوند. زیرا تنها به هزینه اجرای طرح نگاه کردن، گرانی و ارزانی آن معنی نخواهد داشت مگر آن که با گزینه دیگر که تمام نیازهای اصلی طرح را جوابگوست مقایسه شود. لذا از نقطه نظر اقتصادی وقتی یک پروژه تامین آب از آب شور و لب شور و به کمک نمک‌زدایی قابل توجیه است که گزینه‌های متعارف دیگر، یا وجود ندارد و یا گرانتر تمام می‌شود.

تجزیه و تحلیل های اقتصادی و یا تجزیه و تحلیل های هزینه‌ها و محاسن طرح شامل تمام هزینه‌های واقعی پروژه می‌شود. حتی هزینه‌هایی که با معیارهای بازار قابل سنجش ریالی نیست. اما تجزیه و تحلیل های مالی تنها به هزینه‌ها و درامدها می پردازد. بنابراین وقتی گفته می شود پروژه ای از نظر مالی امکانپذیر است، بدین معنی است که سرمایه گذار پس از اجرای طرح و تولید آب با فروش آن می تواند تمام هزینه های پروژه را تامین کند و روش انجام آن هم در صفحه‌های قبل ارائه شد. اما در اجرا و بهره‌برداری ممکن است مزایا و هزینه‌هایی باشد که نمی تواند به صورت عدد و رقم متعارف دنیای پول در آید.

برای مثال در پروژه‌ای آثار مخرب محیط زیستی وجود دارد که به هر حال جامعه

---

1. Economic Cost
2. Financial Cost

به طور غیر مستقیم باید آن را بپردازد لیکن در تراز سود و زیان شرکت به صورت عدد و رقم نمی‌تواند نشان داده شود و این سود و زیان را سود و زیان اقتصادی نامند نه سود و نه زیان مالی و در ترازنامه مالی شرکت نشان داده نمی‌شود. این زیان را غیر مستقیم جامعه می‌پردازد و لذا برنامه‌های عمومی و خصوصی هم در پروژه‌ها مطرح می‌شود. در پایان نگاهی به روند پیشرفت این صنعت باید داشت که به اجمال بیان می‌شود.

هزینه‌های مربوط به تامین انرژی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در صنایع نمک‌زدایی از مهمترین فاکتورهای هزینه‌های سرمایه‌ای و یا ریالی هستند. در مورد هزینه‌های سرمایه‌گذاری نرخ بهره بانکی یکی از مهمترین عوامل گرانی تولید آب است. با روند افزایش هزینه تامین انرژی مانند انرژی الکتریکی، صنعت نمک‌زدایی با مشکل اساسی روبه‌رو خواهد شد. گرچه هزینه نمک زدایی آبهای لب شور حتی تا نصف هزینه نمک‌زدایی آب دریاست اما دو مانع بزرگ در انجام آن وجود دارد، اول میزان برداشت آب باید با میزان تغذیه آن یکسانی داشته باشد تا در چارچوب توسعه پایدار باشد و ثانیاً هزینه‌های دفع نهایی پساب تولیدی می‌تواند این ارزانی را کاملا دگرگون کند.

در اینجا به هزینه‌های غیر مستقیم و یا عمومی باید توجه کافی داشت. به هر حال هر گونه افزایش قیمت انرژی باعث افزایش قیمت تمام شده آب در این صنعت خواهد شد بهبود صنعت نمک‌زدایی در زمینه کاهش بازیافت انرژی نمی‌تواند این افزایش را جبران کند.

در شرایط فعلی بهترین ممبران‌های اسمز معکوس با فشاری حدود ۱/۴ برابر فشار اسمزی کار نمک‌زدایی آبها را انجام می‌دهند. اما اگر ممبرانی تولید شود که در فشارهای کمتر از ۱/۴ برابر فشار اسمزی آب را نمک زدایی کند باعث می‌شود که حدود ۱۵ درصد انرژی کمتر مصرف شده و ۵ تا ۱۵ درصد هزینه سالانه تولید آب کاهش یابد. گرچه افزایش عمر ممبرانها از ۵ سال به ۱۰ سال نقش چشمگیری در کاهش هزینه‌های اسمز معکوس ندارد اما اگر ممبران‌ها در همان سال اول بهره‌برداری صدمه جدی ببیند هزینه‌های جایگزینی آنها تاسقف ۲۵ درصد هزینه‌های سالانه را افزایش خواهد داد.

یکی از گام‌های اساسی در تصمیمگیری و مطالعات استفاده از نمک‌زدایی، اطمینان از این است که گزینه‌های ارزانتر تامین آب در دسترس نیست و مطالعات و اجرای مدیریت مصرف هم در نظر گرفته شده است. تغییر در تخصیص منابع آب از مصرف‌های کشاورزی به

مصرف‌های شهری و اعمال ابزار مدیریت و صرفه‌جویی مصرف آب باید در مطالعات منظور شود. هدف از ارائه فصل هشتم به اجمال، این است که در مطالعات مربوط به انتخاب تکنولوژی نمک‌زدایی برای آب مورد نیاز باید هزینه‌های محیط زیستی،هزینه‌های اقتصادی، هزینه‌های مالی در تمام گزینه‌ها همراه با سیاست‌های کلان استراتژیک در نظر گرفته شود و قبل از همه به پتانسیل‌های مدیریت مصرف و صرفه‌جویی آب توجه شود.

سرمایه‌گذاری و قیمت تمام شده آب

باید توجه داشت که هزینه تمام شده واحد حجم آب یک کارخانه نمک‌زدایی تابع عوامل مختلف است که یاداوری گردید و در اینجا به صورت چکیده آورده می‌شود تا طراح هر یک را طبق طرح در دست مطالعه مد نظر قرار دهد.

- دمای آب خام؛
- هزینه‌های آبگیری از منبع؛
- هزینه‌های پیش تصفیه آب برای واحد نمک‌زدایی؛
- هزینه‌های نمک‌زدایی؛
- هزینه‌های ساختمان‌ها؛
- هزینه‌های تصفیه نهایی؛
- هزینه‌های ذخیره آب تولیدی و پمپاژ آن؛
- هزینه‌های استملاک زمین که نحوه توجه به آن در محاسبه‌ها جای بحث و گفتگو دارد؛
- هزینه‌های تامین و مصرف برق؛
- عمر مفید تاسیسات که ۲۰ و ۲۵ سال انتخاب می‌شود؛
- نرخ بهره؛
- هزینه‌های غیرمستقیم مانند حمل تاسیسات و بیمه‌های مربوط؛
- هزینه‌های بالاسری؛
- سود سرمایه؛

نحوه استفاده از دیاگرام‌های آورده شده در این فصل در ۳ مثال موردی نشان داده می‌شود.

مثال شماره ۸-۶: اسمز معکوس

آنالیزهای اقتصادی یک پروژه با استفاده از دیاگرام‌های ارائه شده در این فصل مطالعات موردی نشان داده که آبگیری از آب دریا آن هم به صورت مستقیم و نمک‌زدایی با فرایند اسمز معکوس طرح درخور اعتمادی است. مفروضات طرح عبارت است از:

- فاصله تاسیسات تا دریا ۱،۰۰۰ متر
- برای تخلیه پساب از فاضلابرو اصلی شهر که به دریا تخلیه می‌شود استفاده خواهد شد که ظرفیت آن ۲۰،۰۰۰ مترمکعب در روز است.
- فاصله تاسیسات تا شهر در حدود ۳،۰۰۰ متر است و آب تولیدی به مخزن سرویس شهر هدایت خواهد شد.
- دوره استهلاک تاسیسات ۲۰ سال و نرخ بهره بانکی ۶ درصد و هزینه بیمه تاسیسات ۰/۵ درصد در سال بر مبنای جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری است.

۱. معیارهای طراحی

میزان تولید روزانه آب	۲۰،۰۰۰ متر مکعب در روز
ظرفیت اسمی تاسیسات	۲۰،۰۰۰ متر مکعب در روز
کیفیت آب تولیدی از نظر املاح محلول	کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر
کیفیت آب تحویلی از نظر املاح محلول	کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر
تعداد ترین‌ها	۳
دمای طراحی	۲۲ درجه سانتیگراد
کیفیت آب تحویلی	
سختی کل برحسب کربنات کلسیم	۵۰ میلی گرم در لیتر
قلیائیت برحسب کربنات کلسیم	۵۰ میلی گرم در لیتر
اندکس لانگلیر	۰/۲±
خصوصیات پمپ‌های تاسیسات	
پمپ‌های آبگیر از دریا	تعداد ۴ واحد پمپ توربین عمودی با ظرفیت ۵۵۶ مترمکعب در ساعت
پمپ‌های افزایش فشار	تعداد ۳ واحد افقی چند طبقه
پمپ‌های انتقال آب تولیدی	تعداد ۳ واحد با ظرفیت ۴۱۷ مترمکعب در ساعت
پیش تصفیه	فرایندهای متعارف

تصفیه نهایی	افزایش آهک، افزایش‌بازدانده خورندگی، کلر
تاسیسات شستشوی ممبران ها	فلاش با آب تولیدی
دفع پساب	توسط فاضلابرو موجود
ظرفیت مخزن ذخیره	۲۰،۰۰۰ مترمکعب، معادل یک روز تولید
نیروی انسانی	یک مدیر و ۴ بهره‌بردار به صورت شیفت
تولید روزانه	۲۴ ساعته
گندزدای مصرفی	هیپوکلریت سدیم

۲. معیارهای اقتصادی

سال مبنای کار	۲۰۰۲
نرخ سود بانکی	۶ درصد
عمر مفید تاسیسات	۲۰ سال
ضریب تولید	۹۰ درصد
قیمت برق	۰/۰۹۵ دلار برای کیلووات ساعت
حقوق پرسنل غیر متخصص	۲۵،۰۰۰ دلار در سال
پیشبینی نشده‌ها	۱۰ درصد
بالاسری پیمانکار	۱۵ درصد
خدمات مهندسی و مدیریت	۱۰ درصد
حمل و نقل و بیمه	۵ درصد

۳. هزینه ترکیبهای شیمیایی بر مبنای مطالعات و محاسبه‌ها

اسید	۰/۱۱ دلار بر کیلوگرم
باز دارنده ترسیب	۱/۴۷ دلار برای کیلوگرم
قلیا یا باز	۰/۷۵ دلار بر کیلوگرم
کلر	۰/۴۹ دلار بر کیلوگرم
بی‌سولفیت سدیم	۲/۰۴ دلار بر کیلوگرم
بازدارنده کف	۱/۲۱ دلار بر کیلوگرم
آهک	۰/۱۷ دلار بر کیلوگرم
منعقدکننده	۰/۵۵ دلار بر کیلوگرم کلروفریک
۴. تعویض ممبرانها	بر مبنای متوسط تعویض ۲۰ درصد در سال ۰/۰۳۲دلار برای مترمکعب آب تولیدی
۵. تعمیر و تعویض	۱ درصد سرمایه‌گذاری مستقیم در سال

۶. بیمه تاسیسات ۰/۵ درصد

۷. هزینه زمین ——

۸. خصوصیات دیگر پروژه

- کیفیت آب خام دریا — کدورت ۱۲ ان تی یو
- کیفیت شیمیایی آب دریا — ارقام استاندارد موجود آب دریا
- تاسیسات لازم آبگیر مجهز به توری، پمپ‌های با فشار کم و لوله انتقال آب خام
- انعقاد و فیلتراسیون

۹. محاسبه‌ها

دیاگرام‌های مورد استفاده بر مبنای قیمت‌های سال ۲۰۰۰ تدوین شده است.

- هزینه‌های اجرایی از دیاگرام شماره م-۱ عبارت است از ۲۷،۰۰۰،۰۰۰ دلار
- هزینه دفع پساب - صفر
- هزینه‌های پیش تصفیه در ردیف اول منظور شده است
- هزینه‌های سرمایه‌گذاری آبگیری از دیاگرام شماره م-۲ عبارت است از ۱،۵۰۰،۰۰۰ دلار
- تاسیسات و لوله انتقال آب خام -دیاگرام شماره م-۳ ۱،۵۰۰،۰۰۰ دلار
- توسعه و خدمات مهندسی محوطه طبق دیاگرام شماره م- ۴ ۹۲،۰۰۰ دلار
- هزینه‌های تصفیه نهایی در ردیف اول منظور شده است
- هزینه‌های سرمایه‌گذاری‌های دیگر از قبیل دیزل ژنراتور و ایستگاه کاهش ولتاژ ۱،۹۲۲،۰۰۰ دلار
- ساختمان‌های خدماتی در ردیف اول لحاظ شده است
- سود سرمایه در دوران اجرایی کار

$$۳۲،۰۱۴،۰۰۰ \times ۰/۰۶ \times \frac{۱}{۲} \times ۱ = ۹۶۰،۴۲۰ \text{ دلار}$$

مدت عملیات اجرایی این نوع پروژه ها ۱۲ ماه و یا یک سال فرض شده و لذا سود سالانه برای شش ماه محاسبه می‌شود.

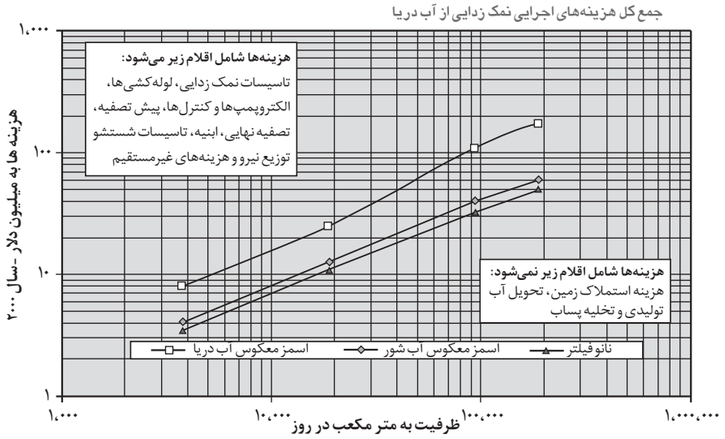
- هزینه‌های سالانه نیروی انسانی طبق دیاگرام شماره م- ۵ ۳۱۰،۰۰۰ دلار
- هزینه‌های سالانه کاربرد ترکیبات شیمیایی مصرفی طبق دیاگرام شماره م-۶ ۴۵۰،۰۰۰ دلار
- هزینه‌های سالانه مصرف برق طبق دیاگرام شماره م -۷ ۱،۸۰۰،۰۰۰ دلار
- هزینه‌های تعمیر و تعویض معادل ۱/۵ درصد سرمایه‌گذاری ۴۸۰،۰۰۰ دلار

محاسبه‌های دیگر:

- تعویض ممبرانها $۰/۰۳۲ \times ۶/۶ \times ۱۰^{۶} = ۲۱۱،۲۰۰$ دلار
- سرمایه‌گذاری لوله انتقال آب تولیدی دیاگرام شماره م- ۸ ۱،۶۰۰،۰۰۰ دلار
- سرمایه‌گذاری ایستگاه کاهش فشار دیاگرام شماره م-۱۰ ۲۸۰،۰۰۰ دلار
- سرمایه‌گذاری دیزل مولد برق دیاگرام شماره م-۹ ۴۲،۰۰۰ دلار

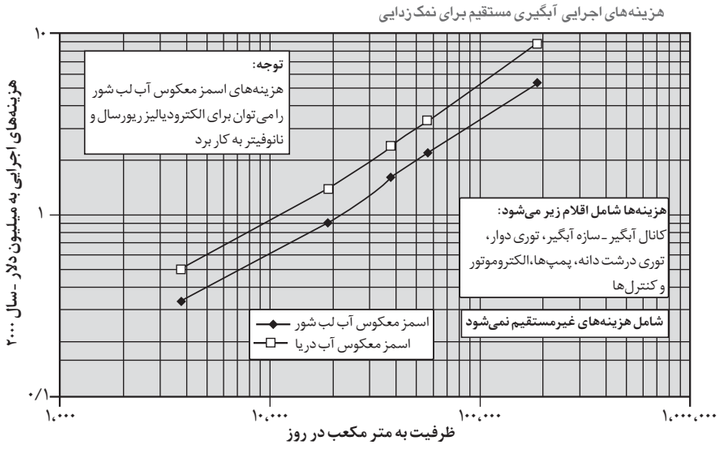
دیاگرام شماره م-۱

جمع کل هزینه‌های اجرایی نمک زدایی از آب دریا



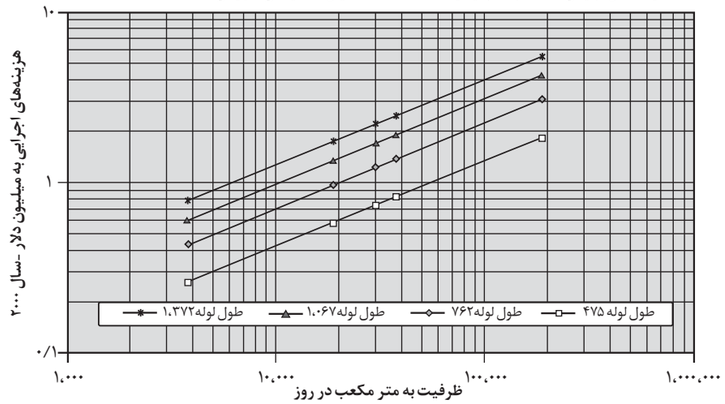
دیاگرام شماره م-۲

هزینه‌های اجرایی آبگیری مستقیم برای نمک زدایی



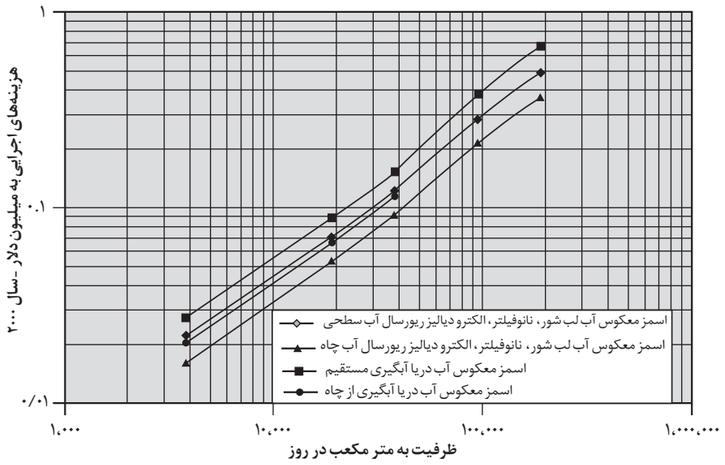
دیاگرام شماره م-۳

هزینه‌های اجرایی انتقال آب خام از دریا به تصفیه خانه برای نمک زدایی ممبرانی



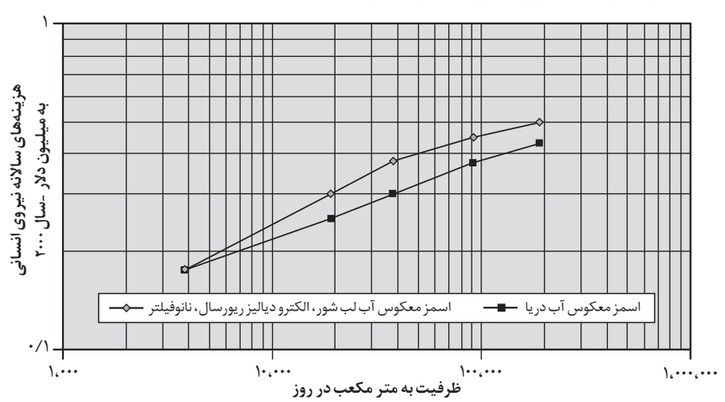
دیاگرام شماره م-۴

هزینه اجرایی محوطه‌سازی برای فرایندهای ممبرانی



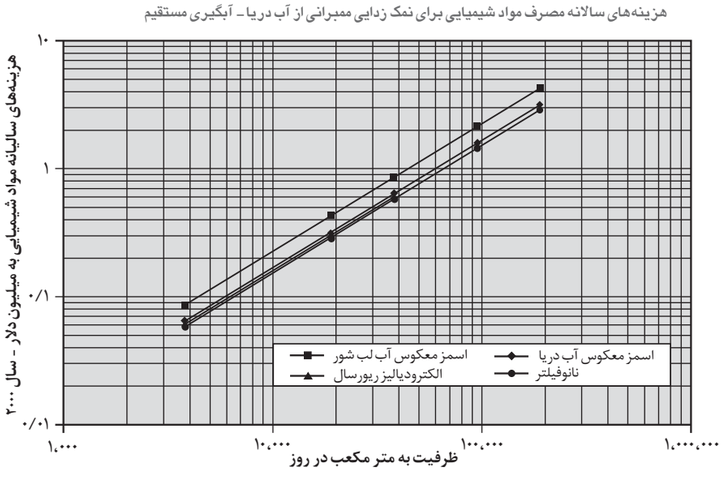
دیاگرام شماره م-۵

هزینه‌های سالانه نیروی انسانی نمک زدایی ممبرانی



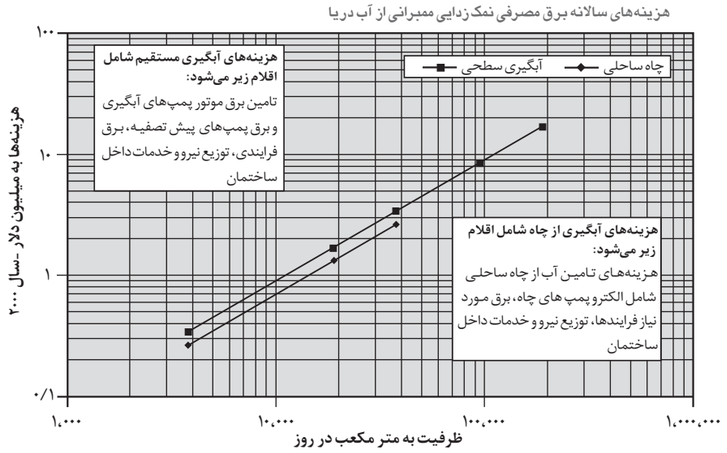
دیاگرام شماره م-۶

هزینه‌های سالانه مصرف مواد شیمیایی برای نمک زدایی ممبرانی از آب دریا- آبگیری مستقیم



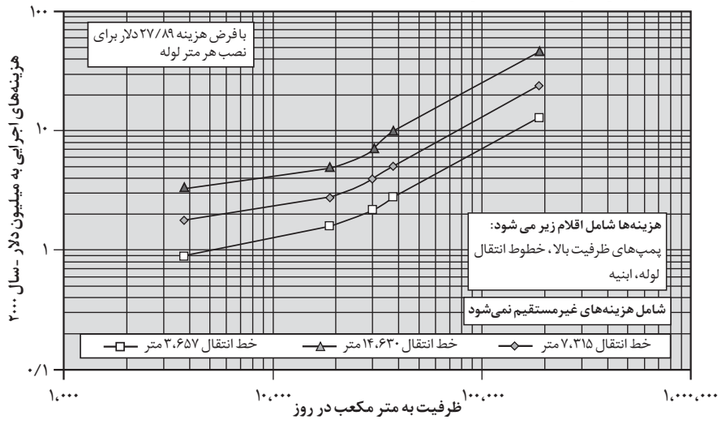
دیاگرام شماره م-۷

هزینه‌های سالانه برق مصرفی نمک زدایی ممبرانی از آب دریا



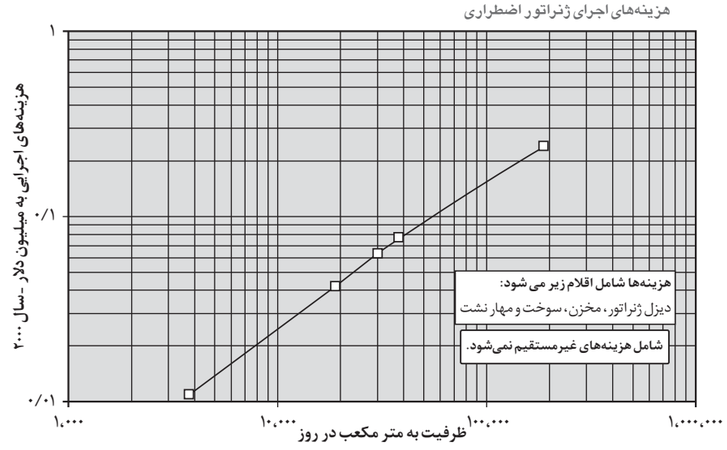
دیاگرام شماره م-۸

هزینه‌های اجرای انتقال آب تولیدی



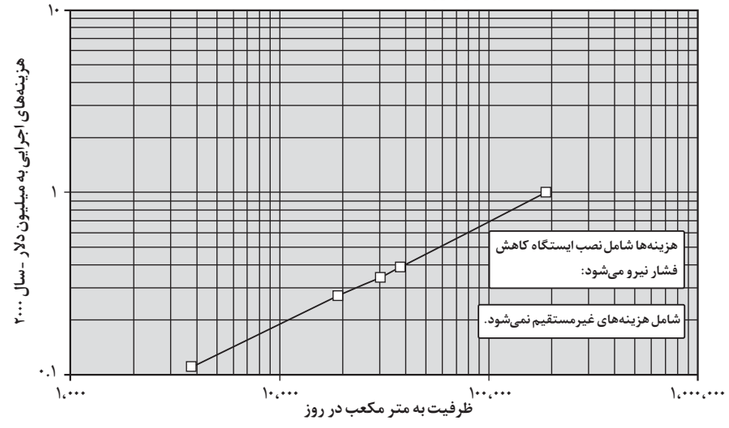
دیاگرام شماره م-۹

هزینه‌های اجرای ژنراتور اضطراری



دیاگرام شماره م-۱۰

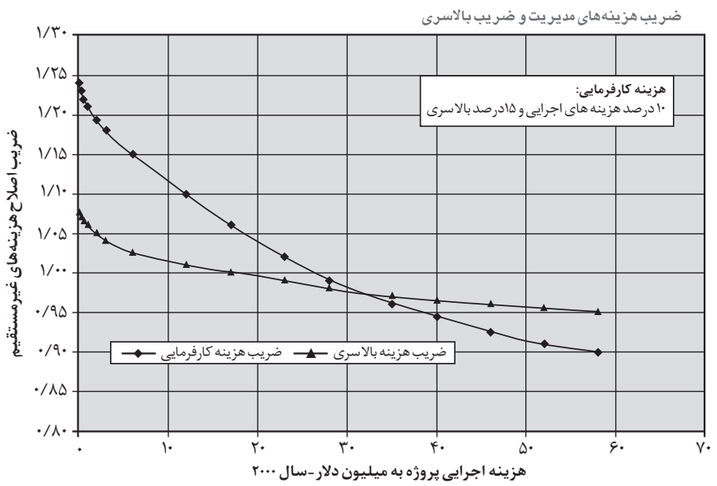
هزینه اجرایی - ایستگاه کاهش فشار نیرو



لیست خلاصه هزینه‌های مثال شماره ۸-۶

هزینه‌های سرمایه‌گذاری	هزینه تخمینی (دلار)
تاسیسات نمک‌زدایی آب دریا	۲۷،۰۰۰،۰۰۰
دفع پساب	—
آبگیر	۱،۵۰۰،۰۰۰
لوله انتقال آب خام	۱،۵۰۰،۰۰۰
محوطه سازی‌ها	۹۲،۰۰۰
کارهای متفرقه	۱،۹۲۲،۰۰۰
جمع کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم	**۳۲،۰۱۴،۰۰۰**
بیمه و حمل	۱،۶۰۱،۰۰۰
سود دوران اجرا	۹۶۰،۴۲۰
بالاسری کارهای ساختمانی معادل ۱۵ درصد سرمایه‌گذاری مستقیم ضرب در فاکتور حاصل از دیاگرام شماره م -۱۱	۴،۶۵۸،۰۰۰
هزینه‌های کارفرما ۱۰ درصد سرمایه‌گذاری مستقیم ضرب در فاکتور دیاگرام شماره م ۱۱	۳،۱۳۷،۰۰۰
هزینه‌های پیشبینی نشده ۱۰ درصد	۳،۲۰۱،۰۰۰
جمع کل هزینه‌های استهلاکی	**۴۵،۵۷۱،۰۰۰ (الف)**
سرمایه در حال کار که عبارت است از یک ششم جمع هزینه‌های سالانه	$\frac{۱}{۶}$ × ۳،۲۶۸،۰۰۰=۵۴۵،۰۰۰
سرمایه غیر استهلاکی	**۵۴۵،۰۰۰ (ب)**
جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری	**۴۵،۱۱۶،۰۰۰ (الف + ب)**
هزینه‌های سالانه	**هزینه تخمینی (دلار درسال)**
هزینه نیروی انسانی بهره‌برداری و نگهداری	۳۱۰،۰۰۰
ترکیبهای شیمیایی	۴۵۰،۰۰۰
برق	۱،۸۰۰،۰۰۰
تعمیر و تعویض	۴۸۰،۰۰۰
بیمه	۲۲۸،۰۰۰
جمع کل هزینه‌های سالیانه بهره‌برداری و نگهداری	**۳،۲۶۸،۰۰۰**
بازپرداخت سالانه سرمایه‌گذاری با توجه به تعویض ممبران ها که جدا محاسبه شده است و باید کسر شود.	۳،۸۸۲،۰۰۰
بازپرداخت سرمایه‌های غیر استهلاکی	۴۷،۵۰۰
جمع کل بازپرداخت‌های سالانه	**۳،۹۳۰،۰۰۰**
هزینه تعویض سالانه ممبران	۲۱۱،۲۰۰
هزینه کل سالانه- بهره برداری، نگهداری و بازپرداختها	**۷،۴۰۹،۲۰۰**
تولید سالانه آب معادل	۶،۶۰۰،۰۰۰ متر مکعب
قیمت تمام شده آب عبارت است از:	**۱/۱۲ دلار برای هر متر مکعب**

دیاگرام شماره م-۱۱



قیمت تمام شده برمبنای قیمت‌های سال ۲۰۰۰ است. بعضی ردیف‌ها در طی ۱۰سال گذشته افزایش و بعضی کاهش یافته است که برای بهنگام کردن قیمت آب تولیدی آنالیزهای بیشتری ضرورت دارد.

مثال شماره ۸-۷: تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای

هدف این پروژه تولید ۳۰ میلیون مترمکعب در سال با استفاده از فرایند تبخیر ناگهانی است منبع آب خام، آب دریای آرام است و قرار است تاسیسات در فاصله ۱،۰۰۰ متری نصب شود. شهر مورد نظر از نظر آب کمبودی ندارد و آب تولیدی مستقیم از محل تولید به شبکه توزیع تزریق می‌گردد. نفت با قیمت ۲/۸۴۱ دلار برای هر مگاژول و انرژی الکتریکی نیز با قیمت ۰/۰۹ دلار برای هر کیلو وات ساعت در دسترس است. از دیگ بخار با مصرف نفت استفاده خواهد شد. مقامات مسئول نیاز دارند با فروش سهام و با نرخ ۷ درصد بودجه لازم را تامین کنند. ضمنا قیمت زمین ۷۴،۱۳۰ دلار برای هر هکتار است. عمر مفید طرح ۳۰ سال، نرخ بهره ۷ درصد در سال، هزینه بیمه تاسیسات ۰/۵ درصد مجموع سرمایه‌گذاری‌های اسقاط شونده، تناسب عملکرد ۵/۱۷ کیلوگرم آب تولیدی برای هر مگاژول است.

اطلاعات کلی

۱. هدف طرح، تامین آب اضافی برای شهر مورد نظر؛

۲. میزان تولید ۳۰ میلیون مترمکعب درسال با مجموع املاح محلول کمتر از ۵۰۰ گرم در مترمکعب و تحویل در محل تولید، درجه اعتماد به تولید ۹۰ درصد؛

۳. بخش‌های بنیادی پروژه عبارتند از آبگیری مستقیم از دریا، پیش‌تصفیه، نمک‌زدایی و تصفیه نهایی. کیفیت آب خام از نظر املاح محلول ۳۴۵۰۰ گرم در مترمکعب؛

۴. خصوصیات تاسیسات:

- فرایند مورد نظر عبارت است از تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای؛
- دفع پساب از طریق لوله به دریا؛
- تناسب عملکرد ۵/۱۷ کیلوگرم برای هر مگاژول؛
- دفعه‌های تعویض عناصر تاسیسات، متعارف در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه‌های مثال شماره ۸-۷

۱. ظرفیت ۳۰ میلیون مترمکعب در سال و با توجه به درجه اعتماد ۹۰ درصد میزان تولید آب برحسب متر مکعب در روز عبارت است از: $\frac{۳۰،۰۰۰،۰۰۰}{۳۶۵ \times ۰/۹} = ۹۱،۵۰۰$

۲. هزینه اجرایی تاسیسات فرایند نمک‌زدایی بر مبنای دیاگرام شماره م - ۱۲عبارت است از:

۱۳۰،۰۰۰،۰۰۰ دلار

۳. هزینه اجرایی تاسیسات دفع پساب بر مبنای دیاگرام شماره م - ۱۳ عبارت است از ۱،۳۰۰،۰۰۰ دلار

۴. هزینه اجرایی تاسیسات پیش تصفیه بر مبنای دیاگرام شماره م - ۱۴ عبارت است از ۲،۶۰۰،۰۰۰ دلار

۵. هزینه اجرایی آبگیر بر مبنای دیاگرام شماره م - ۱۵ عبارت است از ۵،۲۰۰،۰۰۰ دلار

۶. هزینه اجرایی لوله انتقال آب خام. بر مبنای دیاگرام شماره م - ۱۶ برای ۷۶۲ متر ۲/۱ دلار در متر برای ۱۰۰۰ متر عبارت است از دلار $۲،۷۶۰،۰۰۰ = \frac{۱،۰۰۰}{۷۶۲} \times ۲،۱۰۰،۰۰۰$

۷. هزینه تهیه دیگ بخار بر مبنای دیاگرام شماره م - ۱۷ عبارت است از ۱،۱۰۰،۰۰۰ دلار

۸. هزینه عملیات محوطه‌سازی و تاسیسات سایت طبق دیاگرام م - ۱۸ عبارت است از ۴۷۰،۰۰۰ دلار

۹. هزینه اجرای کارهای تصفیه نهایی طبق دیاگرام شماره م - ۱۹ عبارت است از ۲۳۰،۰۰۰ دلار

۱۰. هزینه اجرایی تاسیسات کمکی شامل ایستگاه ترانسفورماتور کاهنده فشار عبارت است از ۶۵۰،۰۰۰ دلار

۱۱. هزینه اجرایی عملیات ساختمانی طبق دیاگرام شماره م - ۲۰ عبارت است از ۱،۰۰۰،۰۰۰ دلار برای قیمت واحد ۱/۰۷۶ دلار مترمربع

۱۲. سود در دوران اجرای کار

= نصف مدت اجرای طرح × نرخ بانکی × هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم

دلار $۱۴۵،۳۱۰،۰۰۰ \times ۰/۰۷ \times \frac{۱}{۲} \times ۲ = ۱۰،۱۷۲،۰۰۰$

۱۳. هزینه استملاک زمین بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۱ مقدار زمین لازم ۱/۲ هکتار و لذا

دلار $۱/۲ \times ۷۴،۱۳۰ = ۸۹،۰۰۰$

۱۴. هزینه‌های سالانه نیروی انسانی بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۲ ۶۸۰،۰۰۰ دلار

۱۵. هزینه‌های سالانه ترکیبات شیمیایی لازم بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۳ ۵،۱۰۰،۰۰۰ دلار

۱۶. هزینه‌های سالانه تولید بخار لازم بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۴ ۱۸،۰۰۰،۰۰۰ دلار

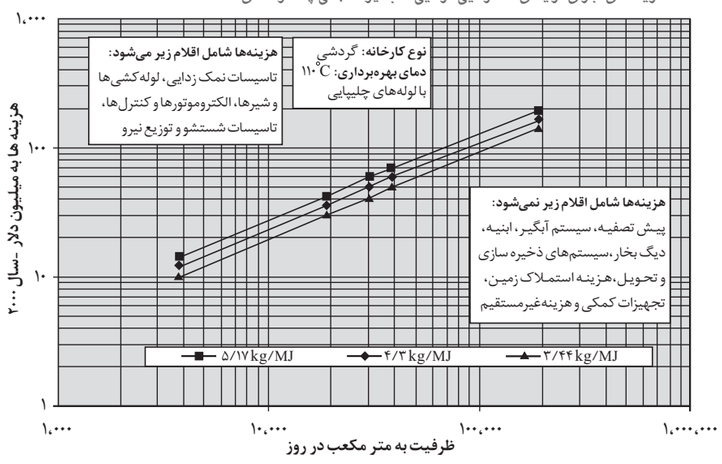
۱۷. هزینه‌های سالانه برق مصرفی بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۵ ۵،۵۵۰،۰۰۰ دلار

۱۸. هزینه تهیه پست ترانسفورماتور بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۶ ۶۵۰،۰۰۰ دلار

۱۹. هزینه‌های سالانه تعمیر و تعویض بر مبنای دیاگرام شماره م - ۲۷ ۴،۳۰۰،۰۰۰ دلار

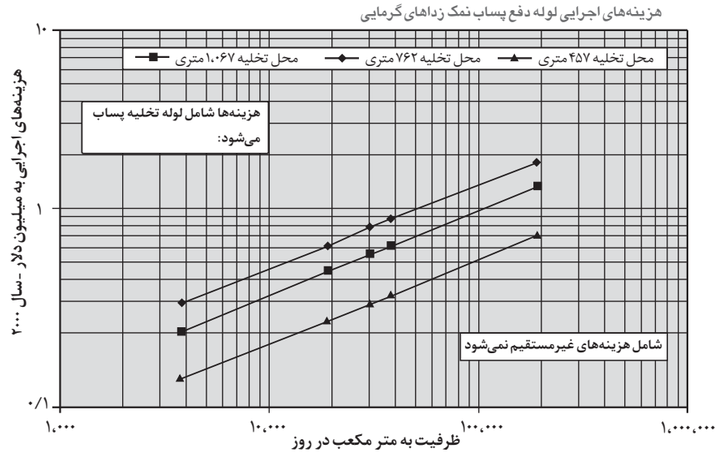
دیاگرام شماره م - ۱۲

هزینه‌های اجرای فرایندی نمک زدایی گرمایی - تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای



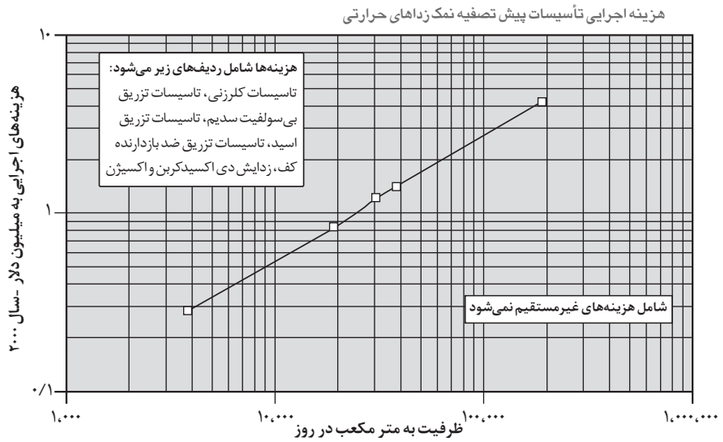
دیاگرام شماره م-۱۳

هزینه‌های اجرایی لوله دفع پساب نمک زداهای گرمایی



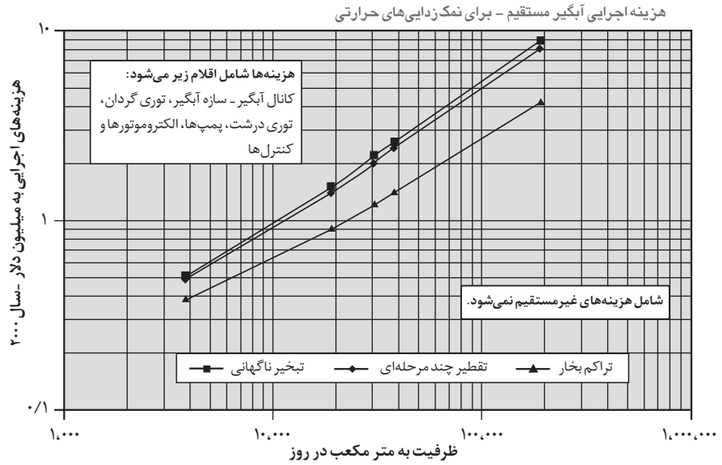
دیاگرام شماره م-۱۴

هزینه اجرایی تأسیسات پیش تصفیه نمک زداهای حرارتی



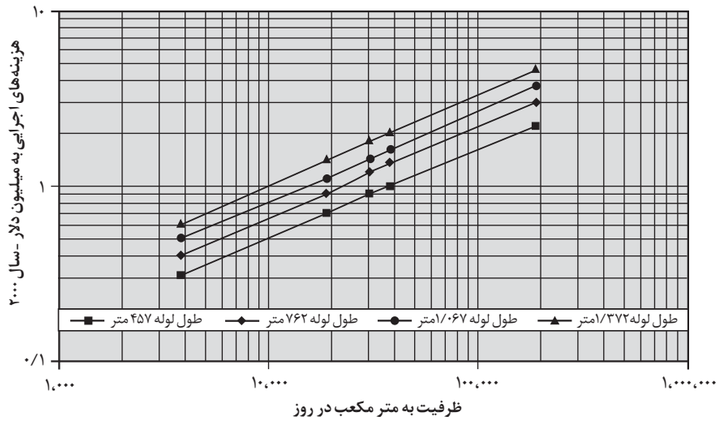
دیاگرام شماره م-۱۵

هزینه اجرایی آبگیر مستقیم - برای نمک زدایی‌های حرارتی



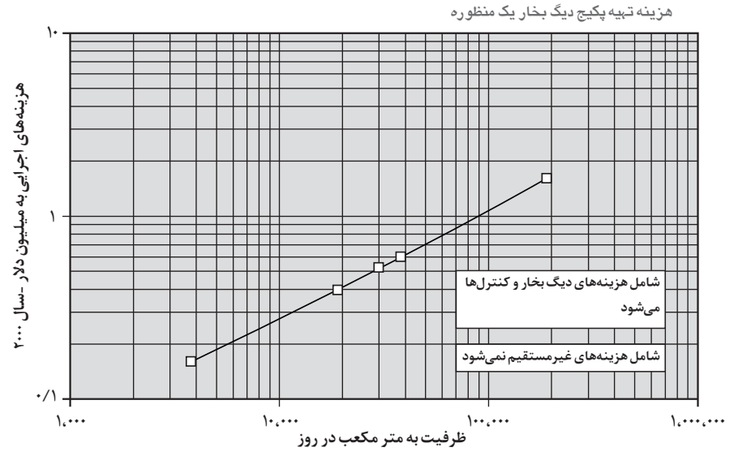
دیاگرام شماره م-۱۶

هزینه اجرای لوله انتقال آب خام برای فرایندهای حرارتی



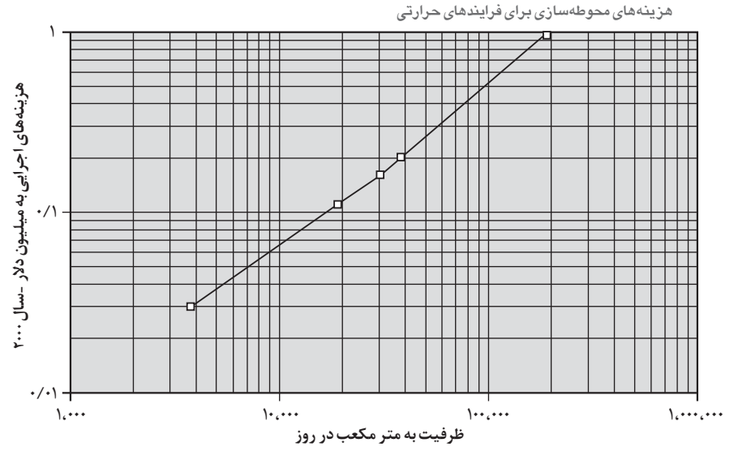
دیاگرام شماره م-۱۷

هزینه تهیه پکیج دیگ بخار یک منظوره



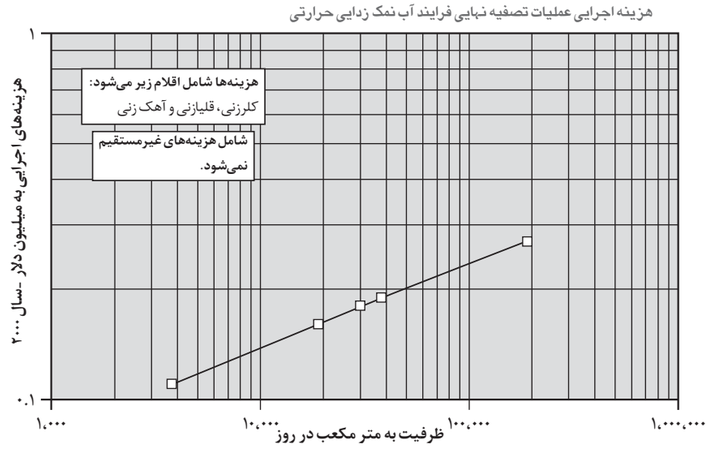
دیاگرام شماره م-۱۸

هزینه‌های محوطه‌سازی برای فرایندهای حرارتی



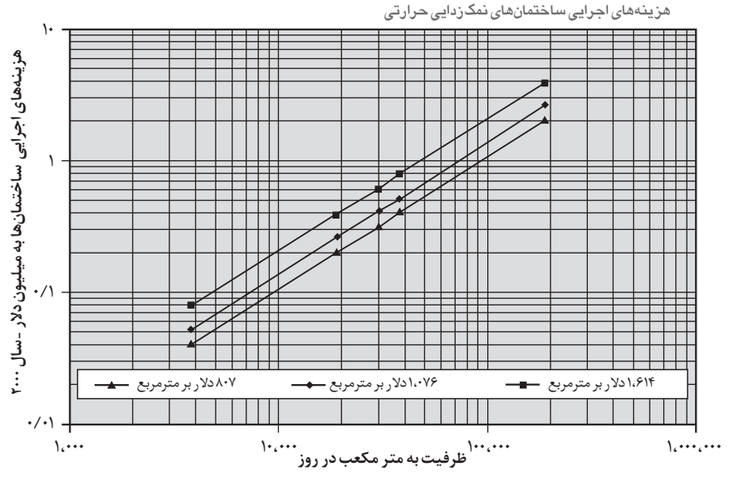
دیاگرام شماره م-۱۹

هزینه اجرایی عملیات تصفیه نهایی فرایند آب نمک زدایی حرارتی



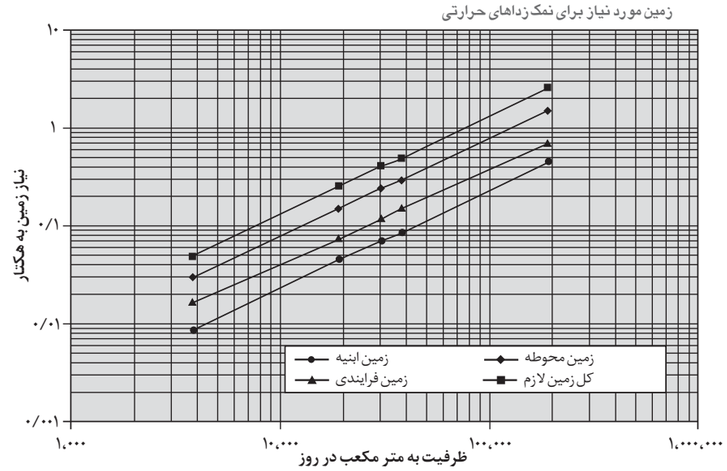
دیاگرام شماره م-۲۰

هزینه‌های اجرایی ساختمان‌های نمک‌زدایی حرارتی



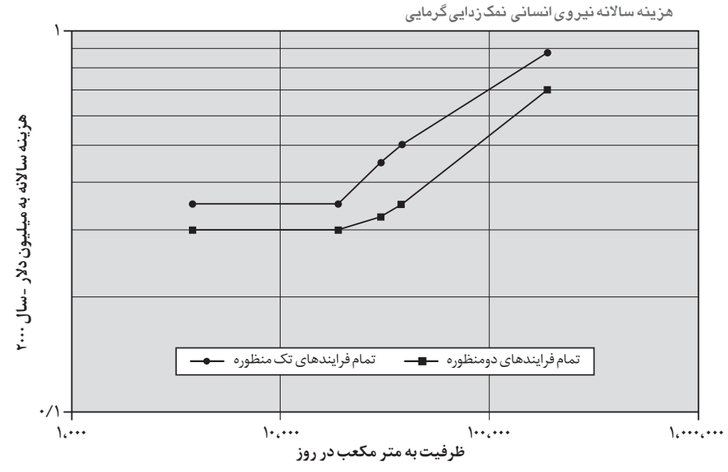
دیاگرام شماره م-۲۱

زمین مورد نیاز برای نمک‌زداهای حرارتی



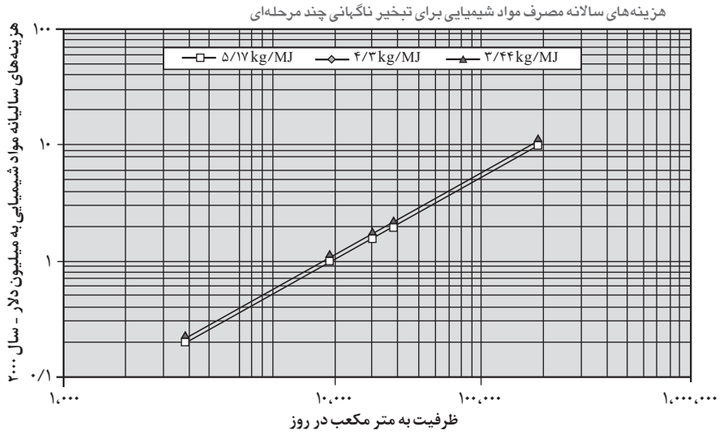
دیاگرام شماره م-۲۲

هزینه سالانه نیروی انسانی نمک‌زدایی گرمایی



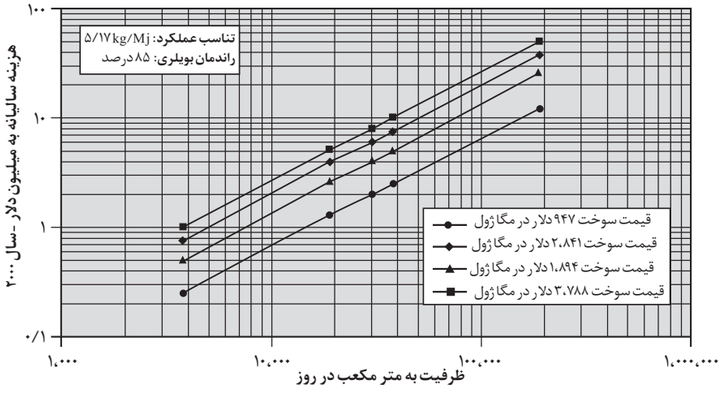
دیاگرام شماره م-۲۳

هزینه‌های سالانه مصرف مواد شیمیایی برای تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای



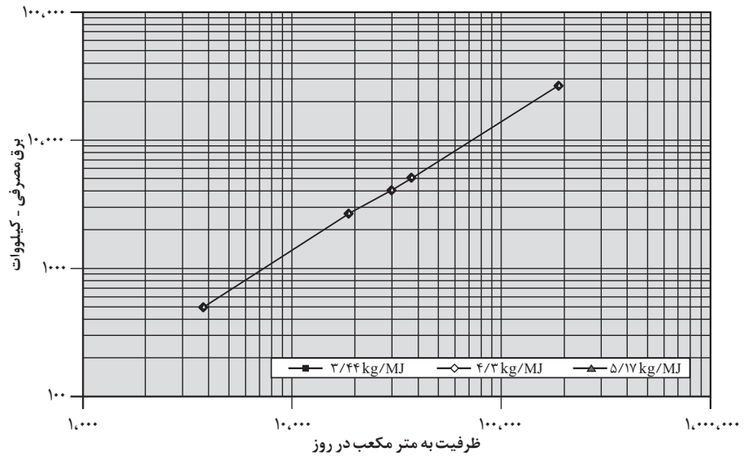
دیاگرام شماره م-۲۴

هزینه سالانه تولید بخار برای تولید آب



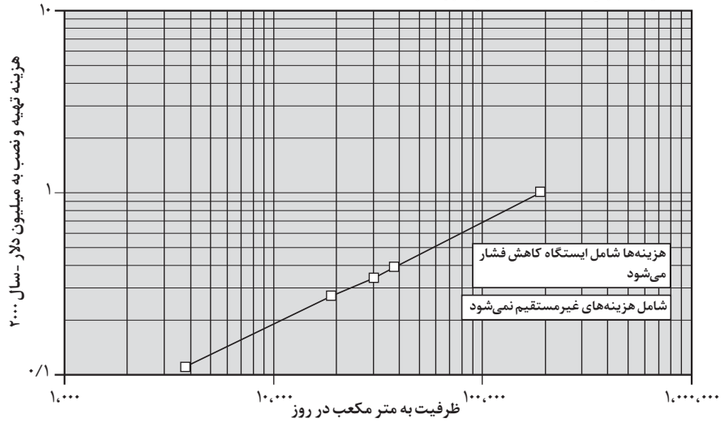
دیاگرام شماره م-۲۵

هزینه سالانه برق مصرفی فرایند تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای برای تناسب عملکردهای مختلف



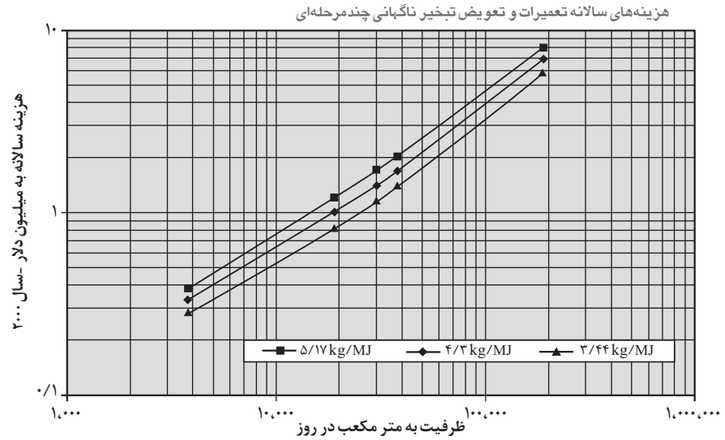
دیاگرام شماره م-۲۶

هزینه اجرای ایستگاه کاهش فشار نیرو



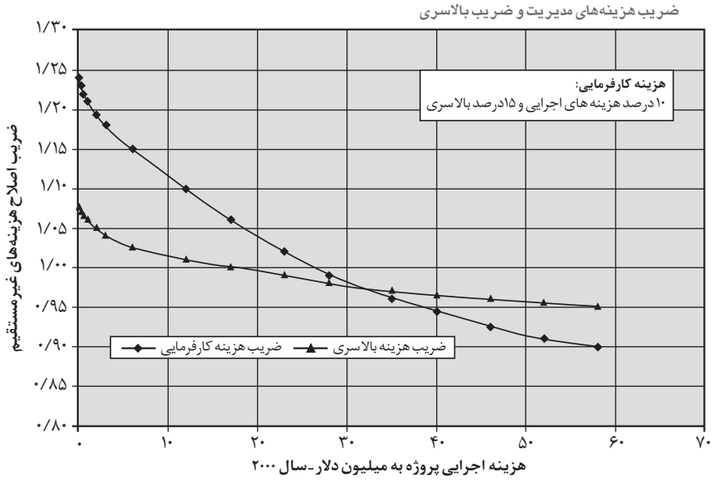
دیاگرام شماره م-۲۷

هزینه‌های سالانه تعمیرات و تعویض تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای



دیاگرام شماره م-۲۸

ضریب هزینه‌های مدیریت و ضریب بالاسری



لیست خلاصه هزینه‌های مثال شماره ۸-۷

هزینه‌های سرمایه‌ای

هزینه‌های اولیه

۱. تاسیسات نمک‌زدایی تبخیر ناگهانی	۱۳۰،۰۰۰،۰۰۰ دلار
۲. دفع پساب	۱،۳۰۰،۰۰۰ دلار
۳. تاسیسات پیش تصفیه	۲،۶۰۰،۰۰۰ دلار
۴. تاسیسات آبگیری	۵،۲۰۰،۰۰۰ دلار
۵. لوله انتقال آب خام	۲،۷۶۰،۰۰۰ دلار
۶. هزینه تهیه بخار	۱،۱۰۰،۰۰۰ دلار
۷. عملیات محوطه سازی	۴۷۰،۰۰۰ دلار
۸. تصفیه نهایی آب تولیدی	۲۳۰،۰۰۰ دلار
۹. هزینه‌های تاسیسات کمکی پست ترانس	۶۵۰،۰۰۰ دلار
۱۰. بناها و سازه‌ها	۱،۰۰۰،۰۰۰ دلار
جمع کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم	۱۴۵،۳۱۰،۰۰۰ دلار
۱۱. حمل و بیمه ۵ درصد رقم فوق	۷،۲۶۶،۰۰۰ دلار
۱۲. سود در دوران اجرای عملیات	دلار ۱۰،۱۷۲،۰۰۰ = ۱×۰/۰۷ × ۱۴۵،۳۱۰،۰۰۰
۱۳. هزینه‌های بالاسری عملیات اجرا	
۱۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری مستقیم در ضریب حاصل از منحنی م-۲۸	
	۲۰،۷۰۷،۰۰۰ دلار
۱۴. هزینه‌های مستقیم مدیریت	
۱۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم ضرب در ۰/۹ حاصل از منحنی م-۲۸	
	۱۳،۰۷۸،۰۰۰ دلار
۱۵. هزینه‌های پیشبینی نشده ۱۰ درصد هزینه‌های سرمایه‌گذاری مستقیم	۱۴۵،۳۱۰،۰۰۰ دلار
جمع هزینه‌های سرمایه‌ای مستهلک شونده	۲۱۱،۰۶۴،۰۰۰ دلار
۱۶. هزینه استملاک زمین	۸۹،۰۰۰ دلار
۱۷. سرمایه در حال کار یک ششم ردیف های ۱۸ تا ۲۳	۵،۷۸۵،۰۰۰ دلار
جمع سرمایه بدون استهلاک	۵،۸۷۴،۰۰۰ دلار
جمع هزینه‌های سرمایه‌ای	۲۱۶،۹۳۸،۰۰۰ دلار

هزینه‌ی سالانه:

۱۸. نیروی انسانی بهره بردار و نگهدار	۶۸۰،۰۰۰ دلار
۱۹. ترکیبهای شیمیایی	۵،۱۰۰،۰۰۰ دلار
۲۰. هزینه تولید بخار	۱۸،۰۰۰،۰۰۰ دلار
۲۱. هزینه تامین نیروی الکتریسیته	۵،۵۵۰،۰۰۰ دلار
۲۲. تعمیر و تعویض	۴،۳۰۰،۰۰۰ دلار
۲۳. بیمه تاسیسات (۵ درصد سرمایه‌های استهلاکی)	۱،۰۷۷،۰۰۰ دلار
جمع هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری	۳۴،۷۰۷،۰۰۰ دلار
۲۴. هزینه‌های سالانه سرمایه‌های استهلاکی ضرب در	
دلار ۱۷،۰۱۲،۰۰۰ = ۰/۰۸۰۶ × ۲۱۱،۰۶۴،۰۰۰	
۲۵. هزینه‌های سالانه سرمایه‌های غیر استهلاکی	
۵،۸۷۴،۰۰۰×۰/۰۸۰۶=۴۷۳،۰۰۰	
جمع کل هزینه‌های سالانه سرمایه‌ای	۱۷،۴۸۵،۰۰۰ دلار
۲۶. جمع کل هزینه‌های سالانه که عبارتست هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سالانه به علاوه	
بازپرداخت‌های سالانه که عبارت است از جمع	۱۷،۴۸۵،۰۰۰+۳۴،۷۰۷،۰۰۰=۵۲،۱۹۲،۰۰۰
۲۷. قیمت تمام شده آب به ازای هر متر مکعب عبارت است از	۱/۷۴ دلار

همان طور که در دیاگرام‌های مورد استفاده نشان داده شده است، دیاگرام‌ها بر اساس قیمت‌های سال ۲۰۰۰ تهیه شده است و با توجه به تغییر قیمت هزینه‌ها در طی ۱۰ سال گذشته، ارقام باید اصلاح بشوند. اما برای مطالعات مرحله اول و یا توجیهی که براوردها برای مقایسه گزینه‌هاست منحنی‌ها دارای کاربرد هستند.

مثال شماره ۸-۸: نمک‌زدایی از آب لب‌شور با صنعت الکترودیالیز ریورسال

در طرحی مقدار آب مورد نیاز ۱۰،۰۰۰ مترمکعب در روز است و مجموع املاح محلول آب خام در دسترس ۳،۰۰۰ میلی گرم در لیتر بوده و آب مورد نیاز باید دارای املاح محلول کمتر از ۵۰۰ میلی گرم در لیتر باشد. مطالعات مربوط به کیفیت آب خام نشان داد که به علت غلظت بالای سیلیس روش الکترودیالیز ریورسال صنعت مناسبی برای نمک‌زدایی این آب است. مبانی طرح عبارت است از:

- فاصله منبع آب تا محل تاسیسات نمک‌زدایی عبارت است از ۱۰۰۰ متر
- فاصله تاسیسات نمک‌زدایی تا مخازن ذخیره آب پاک عبارت است از ۳۵۰۰ متر
- قیمت زمین عبارت است از ۲۵،۰۰۰ دلار برای هر هکتار
- دفع پساب از طریق استفاده از برکه تبخیر به مساحت ۳۰ هکتار و در فاصله ۱۴۰۰ متری تاسیسات است.
- عمر مفید تاسیسات ۲۰ سال، نرخ بهره ۶ درصد و هزینه سالانه بیمه ۰/۵ درصد سرمایه‌گذاری
- تاسیسات پیش تصفیه وجود دارد
- تصفیه نهایی آب تولیدی عبارت است از: تنظیم پی اچ، کنترل خوردگی آب و کلرزنی
- سال انجام محاسبات ۲۰۰۲
- ضریب ایمنی تصفیه خانه ۹۵ درصد
- قیمت برق ۰/۰۶ دلار برای کیلووات ساعت
- حقوق سالانه نیروی انسانی ۲۵،۰۰۰ دلار برای هر نفر
- هزینه‌های پیشبینی نشده ۱۰ درصد
- بالاسری پیمانکار ۱۵ درصد
- خدمات مهندسی ۱۰ درصد
- حمل وبیمه تجهیزات ۵ درصد
- هزینه تعویض ممبرانها ۱۰ درصد در سال با فرض عمر ۱۰ سال
- تعمیرات و نگهداری ۱ درصد
- بیمه تجهیزات در سال ۰/۵ درصد

- نیاز آب در سال ۳/۵ میلیون مترمکعب و با ضریب ۹۵ درصد

$$\frac{۳/۵ \times ۱۰^{۶}}{۳۶۵ \times ۰/۹۵} = ۱۰،۰۰۰ \, m^{۳}/d$$

۱. هزینه تاسیسات فرایندی ۸،۱۰۰،۰۰۰ دلار

۲. هزینه تاسیسات برکه تبخیر ۲،۳۳۰،۰۰۰ دلار

۳. هزینه تاسیسات پیش تصفیه ۱،۵۰۰،۰۰۰ دلار

۴. هزینه تاسیسات آبگیری رودخانه ۶۰۰،۰۰۰ دلار

۵. هزینه تاسیسات آب خام ۱،۰۰۰،۰۰۰ دلار

۶. هزینه محوطه‌سازی ۶۵،۰۰۰ دلار

۷. هزینه اصلاح آب تولیدی در ردیف ۱ پیشبینی شده است.

۸. دیزل مولد برق اضطراری، پست تراس و ... ۱،۴۲۵،۰۰۰ دلار

۹. سود سرمایه در دوران عملیات اجرایی ۴۵۱،۰۰۰ دلار

۱۰. هزینه خرید زمین ۳۰/۲ هکتار ۷۵۵،۰۰۰ دلار

۱۱. هزینه سالانه نیروی انسانی ۲۱۰،۰۰۰ دلار

۱۲. هزینه مواد شیمیایی ۱۸۰،۰۰۰ دلار

۱۳. هزینه نیروی الکتریسیته ۲۸۰،۰۰۰ دلار

۱۴. هزینه تعمیر و تعویض ۱۵۰،۰۰۰ دلار

۱۵. هزینه تعویض ممبرانها ۱۳۶،۵۰۰ دلار

تمام ارقام بر مبنای سال ۲۰۰۰ می‌باشد که از دیاگرام‌هایی شبیه دیاگرام‌های مسائل ۸-۶ و ۸-۷ به دست آمده است.

جمع هزینه‌های مستقیم سرمایه‌گذاری شامل ردیف های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ می‌باشد و عبارت است از ۱۵،۰۲۰،۰۰۰ دلار

با در نظر گرفتن هزینه‌های حمل و بیمه آن، سود سرمایه در دوره اجرا، هزینه‌های خدمات مهندسی، بالاسری پیمانکار و ۱۰ درصد پیشبینی نشده‌ها، جمع سرمایه‌گذاری مشمول تنزیل عبارت است از: ۲۱،۶۰۹،۰۰۰ دلار

و با در نظر گرفتن قیمت تهیه زمین و ۱۶ درصد سرمایه در حال کار شامل هزینه‌های ردیف‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۰۸،۰۰۰ دلار بیمه عبارت است از ۹۱۰،۰۰۰ دلار

لذا جمع سرمایه‌گذاری عبارت است از ۲۲،۵۱۹،۰۰۰ دلار

جمع هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری شامل برق، مواد شیمیایی، تعمیرات و بیمه عبارت است از ۹۲۸،۰۰۰ دلار

لذا هزینه سالانه عبارت است از:

هزینه بهره‌برداری و نگهداری، استهلاک سرمایه و تعویض ممبرانها معادل ۱،۷۶۵،۰۰۰ دلار

هزینه سالانه و یا هزینه بازگشت سرمایه‌های حساب شده بالا ۹۱۰،۰۰۰×۰/۰۸۷۲=۷۹،۳۵۲

لذا جمع هزینه‌های سالانه سرمایه‌ای ۱،۸۴۴،۰۰۰ دلار

هزینه سالانه تعویض ممبرانها ۱۳۶،۵۰۰ دلار

جمع هزینه‌های سالانه ۲،۹۰۹،۰۰۰ دلار

لذا قیمت تمام شده ۱ مترمکعب آب عبارت است از: ۰/۸۳ دلار

فصل نهم ◀ استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی

آنچه در این فصل می‌خوانید:

- مقدمه
- آیینه‌های انعکاس و تمرکز نور خورشید
- ذخیره انرژی حرارتی
- تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی
- تمرکز انرژی خورشیدی برای توربین‌های بخاری
- تمرکز نورهای خورشیدی برای توربین های گازی
- تمرکز نورهای خورشیدی برای تولید برق و حرارت
- انتخاب اولیه صنایع تمرکز انرژی خورشیدی
- تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک‌زدایی آب دریا در مقیاس بزرگ
- مقایسه فنی عملکردها طبق گزارش های موجود
- مقایسه اقتصادی عملکردها در یک مورد خاص
- هزینه‌ها و قیمت‌ها
- تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک‌زدایی آب دریا در مقیاس کوچک
- تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی در جهان
- سازندگان تاسیسات این صنعت

مقدمه

می‌توان با اطمینان گفت که فراوانترین و مطمئنترین انرژی تجدیدشونده در دسترس توان حرارتی انوار خورشیدی است. گرچه نمی توان اندیشه استفاده از انرژی باد و انرژی حرارتی زیرزمینی را برای نمک زدایی آب نادیده گرفت. دو انرژی اخیر در طرح های کوچک و متوسط و نقاط دوردست نسبت به اجتماعات شهری جایگاه کاربردی خود را دارا هستند.

اما خصوصیات انرژی حرارتی تمرکز یافته انوار خورشیدی نقش اصلی را در استفاده از انرژی‌های تجدید شونده برای تولید برق و در صورت لزوم نمک زدایی آب دریا دارد. استفاده از توان حرارتی انوار خورشیدی بر این مبنا قرار دارد که با تمرکز انوار خورشیدی می توان گرمای با دمای زیاد جمع آوری کرد که برای تولید انرژی حرارتی و انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد. این گرمای با دمای زیاد برای به کار اندازی توربین‌های بخاری، گازی و یا ماشین معروف به استرلینگ به کار می‌رود.

بیشتر تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی بر مبنای استفاده از صفحات آیینه مانند قرار دارند که موقعیت خود را با حرکت خورشید تنظیم می کنند تا بیشترین انرژی حرارتی را دریافت نمایند.

در این تاسیسات سعی بر این است که در فرایندهای دریافت و انتقال و استفاده از انرژی حرارتی خورشید کمترین اتلاف رخ دهد. بدین ترتیب که سیال جاری در دستگاه دریافت انرژی حرارتی، گرمای دریافتی را به دستگاه بعدی می‌رساند که در آن بخار با فشار زیاد تولید می‌شود که از آن برای راه‌اندازی توربین بخار استفاده می‌شود و توربین بخار هم مولد مربوط را به کار می‌اندازد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود. سیال جاری در دستگاه می‌تواند هوا، آب، روغن و املاح مذاب باشد.

در شرایط فعلی چهار صنعت اصلی در استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد که عبارتند از:

۱. صفحات آیینه‌ای پارابولیک (مقعر)[1]

۲. آیینه و یا صفحه‌های تقریبا مسطح طولی فرزنل[2]

۳. برج های حرارتی و یا خورشیدی[3]

---

1. Parabolic Trough Collector
2. Linear Fresnel System
3. Solar or Heat Tower

۴. بشقاب مقعر استرلینگ[1].

سه صنعت اول در بخش تولید الکتریسیته با توان ۵۰-۲۰۰ مگاوات و بیشتر کاربرد پیدا کرده‌اند. بشقاب مقعر استرلینگ برای طرح‌های کوچک و در نقاط دور افتاده و برای تولید انرژی الکتریکی تا حدود ۱۰ مگا وات مورد استفاده قرار گرفته است.

آیینه‌های انعکاس و تمرکز نور خورشید

اساس کار این صنعت بر تمرکز انوار حرارتی خورشید روی لوله‌های فولادی حاوی سیالی است که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم تولید بخار آب تحت فشار یا استیم می‌نماید. این بخار تحت فشار توربینی را به چرخش در می‌آورد و بدین ترتیب مولد الکتریسیته به کار می‌افتد. لذا انرژی حرارتی خورشید ابتدا به انرژی مکانیکی تبدیل می شود و سپس انرژی الکتریکی از آن به وجود می‌آید. بخش های اساسی این صنعت عبارتند از:

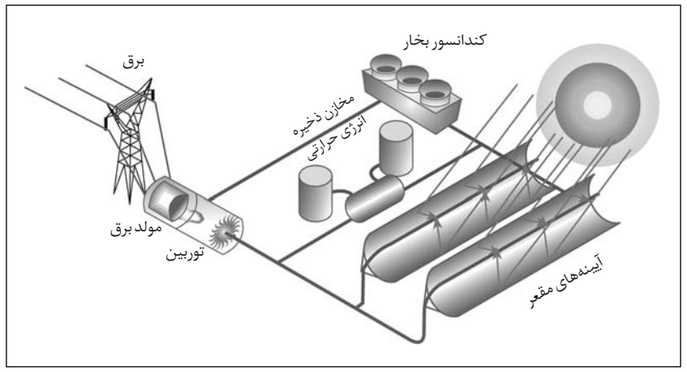
- **آیینه‌های طولی مقعر:** که بنام آیینه‌های پارابولیک نامیده می‌شود. این آیینه‌ها انوار تابیده خورشید را به کانون خود منعکس کرده و لذا در آنجا انوار حرارتی خورشید متمرکز می‌شوند و به همین علت این صنعت به‌نام تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی[2] شناخته می‌شود.
- **لوله‌های فولادی و یا مشابه آن:** حاوی سیالی مانند آب، نمک مذاب و روغن که در کانون طولی آیینه‌ها قرار دارند و با دریافت انرژی حرارتی خورشید افزایش دما پیدا می کنند.
- **تاسیسات مبادله حرارت و تولید بخار:** سیال گرم شده اگر آب باشد مستقیما تولید بخار تحت فشار می نماید و یا روغن با دمای زیاد در واحد مبادله حرارت بخار آب تحت فشار تولید می‌کند.
- **توربین بخار:** بخار آب تحت فشار توربینی را به چرخش در می آورد که میل لنگ آن مولد الکتریسیته را به کار می اندازد.

دیاگرام شماره ۹-۱ تاسیسات اصلی تمرکز انرژی خورشید را به وسیله آیینه‌های مقعر نشان می‌دهد.

1. Stirling Dish-engine
2. Concentrating Solar Power (CSP)

دیاگرام شماره ۹-۱

تاسیسات اصلی تمرکز انرژی خورشیدی توسط آیینه‌های پارابولیک



تاسیسات فوق می تواند با مصرف انرژی‌های فسیلی به کار تولید بخار و برق ادامه دهد لذا با پیشبینی تمهیدهای لازم تاسیسات را دوگانه سوز[1] نامند. با پیشبینی تجهیزات ردیاب اتوماتیک وضعیت خورشید، کارایی آن بیشتر می‌شود. زیرا آیینه‌ها با دریافت نور مستقیم خورشید کار انعکاس و تمرکز را می‌توانند بطور مستمر انجام بدهند.

عملکرد تبدیل انرژی حرارتی فوق به الکتریسیته در آمریکا تا حدود ۲۱/۵ درصد هم در ظرفیت های ۸۰-۲۵۰ مگاوات گزارش شده است.

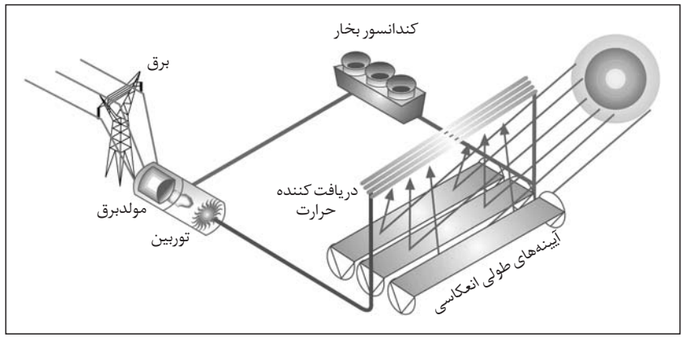
در دگرگونه ای از این صنعت آیینه‌های دریافت انوار و منعکس کننده آن صاف بوده و یا دارای انحنای کم هستند و انوار دریافتی را به لوله‌های حاوی سیال جاذب حرارت منصوب در بالای خود می تابانند که به نام صفحات فرزنل شناخته می‌شوند.

طبق گزارشهای موجود یک واحد ۲۵۰ کیلوواتی از این صنعت توسط سازمان انرژی‌های نو ایران در سال ۱۳۸۷ در شیراز به طور آزمایشی راه اندازی شده است. در این تاسیسات پیلوت به جز لوله های فولادی با روکش سرامیک بقیه تاسیسات در داخل کشور ساخته شده است. در دیاگرام شماره ۹-۲ تاسیسات فرزنل نشان داده شده است.

1. Hybrid

دیاگرام شماره ۹-۲

تاسیسات اصلی تمرکز انوار حرارتی خورشیدی با آیینه‌های صاف فرزنل



صنعت دیگری برای تمرکز و استفاده از انرژی حرارتی خورشید توسعه یافته است که برج قدرت[1] نامیده می شود. برج های قدرت قادر به تولید حرارت با دمای زیاد تا حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد هستند و بدین ترتیب هوای بسیار داغ را برای توربین‌های گازی تهیه می کنند. توربین‌های گازی نیز قادر به استفاده از این حرارت تا سقف سودمندی حدود ۵۰ درصد می‌باشند. بدین ترتیب که سیال دریافت کننده انرژی حرارتی در بخش دیگری بخار آب تحت فشار تولید می‌نماید و مانند دو صنعت دیگر بخار تحت فشار توربین و در نتیجه مولدی را به کار می اندازد. تاسیساتی با ظرفیت ۲۰۰ مگاوات از این صنعت به صورت تجارتی قابل ساخت است از امتیازات این صنعت عملکرد بهتر تبدیل انرژی حرارتی به انرژی الکتریسیته است. در دیاگرام شماره ۹-۳ تاسیسات برج قدرت نشان داده شده است.

صنعت چهارم که در استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی و تولید الکتریسیته کاربرد یافته است تاسیسات بشقاب و یا دیش[2] استرلینگ است.

ظرفیت تولید این صنعت محدود است به حدود ۵-۲۵ کیلووات ساعت و تاسیسات اصلی آن عبارتند از:

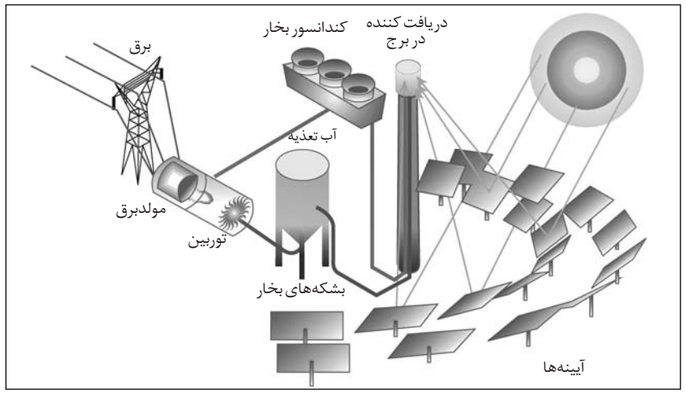
۱. بشقاب و یا دیش که انوار حرارتی خورشید را در کانون خود متمرکز می کند.

1. Power Tower System

2. Dish-Engine System

دیاگرام شماره ۹-۳

تاسیسات اصلی برج قدرت



۲. دریافت کننده انرژی حرارتی که باعث به حرکت در آوردن پیستون‌های ماشینی می‌شود.

۳. موتور محرکه که به کمک حرکت پیستونها میل لنگی را به چرخش در می آورد.

۴. مولد برق که توسط میل لنگ فوق برق تولید می کند.

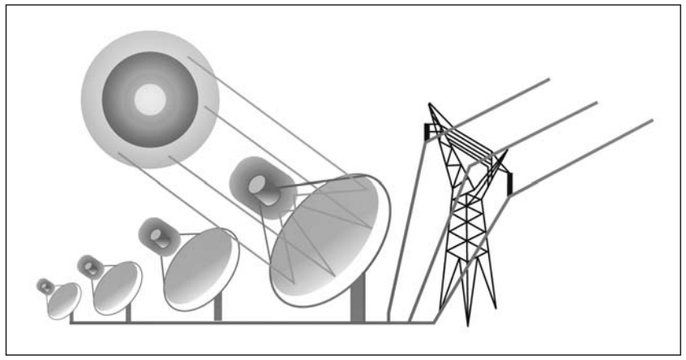
دریافت کننده و تمرکز انرژی حرارتی این صنعت گاز هیدروژن و یا هلیوم است. در گزینه دیگر صنعت چهارم سیال مورد استفاده با دریافت انرژی حرارتی تبخیر شده و با ایجاد فشار پیستونهای موتور مربوط را به حرکت در می آورد و با از دست دادن انرژی خود مایع می گردد و باز مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از این صنعت در اجتماعات روستایی و مؤسسه‌های دور از شبکه‌های توزیع برق بسیار امیدوارکننده بوده و کاربرد آن نویدبخش است. استفاده از حرارت جمع شده در کانون دیش می‌تواند مورد استفاده‌های دیگری نیز قرار گیرد. در دیاگرام شماره ۹-۴ این تاسیسات نشان داده شده است.

ذخیره انرژی حرارتی[1]

در روزهای ابری و مه آلود و در شبها که انوار خورشید کاهش یافته و یا در دسترس نیست کار

1. Thermal Energy Storage (TES)

دیاگرام شماره ۹-۴
دیش استرلینگ



تولید برق این نوع تاسیسات متوقف می شود. برای رفع این نقیصه از تاسیسات ذخیره انرژی حرارتی دریافتی بهره گیری می شود. در این صورت لازم است که تاسیسات دریافت انرژی با توجه به این هدف طراحی شوند که مستلزم افزایش ظرفیت تاسیسات دریافت انرژی برای تولید برق و ذخیره انرژی حرارتی مازاد است که در شبها و اوقات دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

در این صورت در لوله های فولادی واقع در کانون آیینه‌ها سیالی مانند روغن و یا نمک مذاب پیشبینی می‌شود که کار دریافت و انتقال انرژی حرارتی را انجام می‌دهد. تاسیسات ذخیره و استفاده پس از آن در سه نوع صنعت درخور بهره‌برداری است که عبارتند از:

۱. تاسیسات مستقیم دو مخزن[1]
۲. تاسیسات غیرمستقیم دو مخزن[2]
۳. تاسیسات تک مخزنه[3]

در نوع اول سیال جاری در لوله های فولادی کانونی هم دریافت کننده انرژی حرارتی است و هم در دو مخزن نگهداری و ذخیره می شود. مخزن اول حاوی سیال با دمای بالا و مخزن دوم حاوی سیال با دمای پایین است.

1. Two-Tank Direct System 2. Two-Tank Indirect System 3. Single-Tank System

جابه‌جایی سیال با دمای پایین به طرف لوله‌های کانونی برای دریافت انرژی حرارتی است که پس از دریافت به مخزن با دمای بالا هدایت می‌شود و سیال با دمای بالا به تاسیسات تبادل انرژی حرارتی هدایت شده و تولید بخار آب تحت فشار می کند و بخار تولید شده توربین و مولد برق را به حرکت وا می‌دارد.

سیال پس از مبادله حرارت و کاهش دما به مخزن حاوی سیال با دمای کم جاری می‌شود. چنین تاسیساتی در کالیفرنیا با استفاده از یک نوع روغن معدنی کار می کند در نوع دوم ذخیره انرژی حرارتی خورشیدی، جریان انتقال سیال گرم و سرد مانند نوع اول است اما با این تفاوت که سیال دریافت کننده انرژی حرارتی با سیال ذخیره انرژی متفاوت است و لذا از دو نوع سیال استفاده می‌شود. زیرا یا سیال انتقال انرژی حرارتی گران است و تهیه آن برای ذخیره توجیه اقتصادی ندارد و یا ظرفیت ذخیره حرارتی آن مطلوب نیست. در این صنعت سیال ذخیره انرژی حرارتی یک نمک مذاب و مشابه آن است و حرارت را از سیال انتقال انرژی حرارتی دریافت می کند و به مخزن حاوی سیال با دمای بالا منتقل می‌شود.

در نتیجه در این تاسیسات علاوه بر دو مخزن، دو واحد مبادله انرژی حرارتی[1] هم باید پیشبینی شود اولی برای مبادله حرارت بین دو سیال و دومی برای مبادله حرارت به آب و تولید بخار آب تحت فشار. در نوع سوم ذخیره انرژی حرارتی خورشیدی تنها از یک مخزن که در آن یک ماده مانند ماسه سیلیسی قرار دارد بهره گیری می‌شود و در مواردی به جای ماسه سیلیسی از یک روغن معدنی برای مبادله حرارت و تولید بخار آب بهره گیری می‌شود.

تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی

سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ همراه با این انرژی حرارتی تجدیدشونده می‌توانند در کارخانه‌های تولید الکتریسیته جایگزین یکدیگر شوند و لذا می‌توان تولید را طبق نیازها برنامه‌ریزی کرد. این خط فکری در تاسیسات نمک زدایی از آب‌های شور دارای اهمیت کاربردی است به دلیل اینکه فرایند تولید آب باید به طور مستمر انجام گیرد و در صورت نبود و یا کمبود نور خورشید، انرژی فسیلی جایگزین آن می‌شود.

1. Heat Exchanger

جدول شماره ۹-۱: **اطلاعات مقایسه ای درباره عملکرد صنایع مختلف تمرکز انرژی حرارتی خورشید**

نوع صنعت	ظرفیت برحسب مگاوات	تمرکز حرارت و دمای ایجاد شده	حداکثر راندمان حرارتی (درصد)	سودمندی سالیانه انرژی خورشیدی (درصد)	سودمندی سیکل حرارتی (درصد)	ضریب ظرفیت خورشیدی (درصد)	نیاز به زمین $m^2/mwh/year$
آیینه‌های پارابولیک	۲۰۰-۱۰	۸۰-۷۰	۲۱D	۱۵-۱۰D ۱۸-۱۷P	۴۰-۳۰ST	۲۴D ۹۰-۲۵P	۸-۶
آیینه‌های مسطح فرزنل	۲۰۰-۱۰	۱۰۰-۲۵	۲۰P	۱۱-۹P	۴۰-۳۰ST	۹۰-۲۵P	۶-۴
برج خورشیدی	۱۵۰-۱۰	۱۰۰۰-۳۰۰	۲۰D ۳۵P	۱۰-۸D ۲۵-۱۵P	۴۰-۳۰ST ۵۵-۴۵CC	۹۰-۲۵P	۱۲-۸
بشقاب استرلینگ	۰/۴-۰/۰۱	۳۰۰۰-۱۰۰۰	۲۹D	۱۸-۱۶D ۲۳-۱۸P	۴۰-۳۰ST ۳۰-۲۰GT	۲۵p	۱۲-۸

D = در عمل نشان داده شده است P = پیش بینی شده است ST = توربین بخار GT = توربین گازی CC = سیکل ترکیبی

از طرف دیگر می‌توان بخار آب تولیدی در بخش دریافت انرژی خورشیدی را مستقیما به تاسیسات نمک‌زدایی هدایت و استقلال تولید برق و آب را نیز حفظ نمود. در جدول شماره ۹-۱ عملکرد صنایع مختلف تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی را می‌توان مشاهده کرد و قابل توجه است که برای ۱ مگاوات ساعت برق در سال نیاز به حدود ۴ - ۱۲ مترمربع زمین است و لذا یک قطعه زمین از صحرا معادل یک کیلومتر مربع می تواند به طور مستمر و بدون توقف معادل یک نیروگاه زغال سنگی ۵۰ مگاواتی برق تولید کند. به زبان دیگر از هر کیلومترمربع صحراها می‌توان ۲۵۰ گیگاوات ساعت انرژی الکتریکی از طریق تمرکز انرژی حرارتی خورشید به دست آورد و این تقریبا پنج برابر توانی است که تاسیسات مشابه باد و آب می‌توانند تولید کنند. طبق گزارشهای موجود انرژی خورشیدی در مناطق جنوبی کشور ما معادل ۵ کیلووات ساعت در متر مربع در روز است و شرکت توسعه برق ایران دست اندرکار انجام مطالعات و استفاده از این تکنولوژی‌هاست.

جهان در زمینه استفاده از تاسیسات فتوولتاییک[1] یعنی تولید مستقیم برق به موفقیت‌های کاربردی فراوانی رسیده است که به اجمال می‌توان گفت طبق مدارک موجود در یک پارک

1. Photovoltaic

مخصوص پانل های فتوولتاییک در اسپانیا بیشتر از ۱۶۰،۰۰۰ پانل نصب شده و حدود ۶۰ مگاوات برق تولید می‌کند. به طوری که اندیشه تولید الکتریسیته برای تغذیه شبکه‌های سراسری توزیع برق دیگر جنبه نظری ندارد.

کشور مراکش در نظر دارد تا سال ۲۰۲۰ حدود ۲۰۰۰ مگاوات الکتریسیته از طریق تاسیسات خورشیدی تولید کند و اولین واحد آن تا سال ۲۰۱۵ وارد مدار خواهد شد.

طبق گزارشهایی پیشبینی می‌شود که تا سال ۲۰۴۰ میلادی حدود ۵۰ درصد انرژی مورد نیاز مردم جهان از منابع تجدیدشونده چون باد، خورشید و حرارت درونی زمین تامین خواهد شد. تولید الکتریسیته و حرارت برای مصرف‌های خانگی، اتومبیل‌ها و اتوبوس‌های درون شهری راه رشد خود را طی کرده و جنبه کاربردی یافته است.

به دلیل قیمت بالای سیلیکون مورد نیاز ساخت سلولهای خورشیدی، تحقیقات زیادی برای جایگزینی آن در حال انجام است و لذا احتمال تولید الکتریسیته ارزانتر از این روش در آینده نزدیک وجود دارد و کم کم با تولید برق انرژی فسیلی رقابت خواهد کرد.

استفاده از سلولهای فتوولتاییک که انرژی خورشید مستقیما به الکتریسیته تبدیل می‌شود و نیازی به توربین و ژنراتور نیست دارای جذبه‌های زیادی است به خصوص از نقطه‌نظر این کتاب که نمک زدایی آبهای شور و لب شور در آن مطرح است، زیرا فرایندهای نانوفیلتر و اسمزمعکوس می تواند مستقیما به تاسیسات فوق متصل شود.

با نصب پانل های لازم می توان نیازهای روشنایی، گرمایش و تهویه مطبوع ساختمان‌های کوچک و بزرگ را از نظر انرژی تامین کرد و ساختمان های معروفی چون واتیکان از این تکنولوژی بهره می‌برد. در کشورهایی مانند آلمان، اسپانیا، آمریکا، تایوان و چین در راه تولید الکتریسیته از طریق نور خورشید قدم های بزرگی برداشته شده است.

به هر حال از نقطه نظر استفاده از این انرژی برای نمک زدایی آب می توان چنین گفت که تاسیسات تمرکز حرارتی ایجاد شده در یک کیلومتر مربع صحرا می تواند در تمام روزهای سال روزانه حدود ۱۶۵،۰۰۰ متر مکعب آب تولید کند که نیاز جمعیتی حدود ۸۵۰،۰۰۰ نفر را جوابگوست. از خصوصیات مهم صنعت تمرکز انرژی خورشیدی که آن را صنعت آینده در بخش انرژی‌های تجدیدشونده باید نامید و در صنعت نمک زدایی آبهای شور مورد توجه است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. می‌تواند طبق نیاز، انرژی الکتریکی درخور اعتمادی تولید کند.

۲. یک منبع انرژی طبیعی تجدیدشونده و در دسترس و فراوان است.

۳. از این انرژی می‌توان برای تولید برق و حرارت و تهویه مطبوع و نمک‌زدایی آب و غیره بهره گرفت.

۴. در بسیاری از شرایط قیمت تمام شده برق تولیدی آن کمتر از سوخت‌های فسیلی بوده و در آینده ارزانتر هم خواهد شد و با توجه به تولید نشدن گازهای گلخانه‌ای اهمیت آن بیشتر و بیشتر خواهد شد.

اولین نمونه‌های این نوع تاسیسات در دهه ۸۰، در کالیفرنیا نصب شد و آن زمانی بود که قیمت نفت بالا بود و باعث گردید تا ۹ کارخانه از این دست با ظرفیت‌های ۱۴ تا ۸۰ مگاوات نصب و راه اندازی شوند. قیمت تمام شده برق تولیدی این تاسیسات از ۲۷ سنت دلار برای هر کیلووات ساعت دهه ۸۰، به ۱۲ سنت دلار آمریکا در سال ۱۹۹۱ رسید.

در سال ۱۹۹۱ ظرفیت تاسیسات استفاده از تمرکز حرارتی انرژی خورشیدی برای تولید برق به ۳۵۴ مگاوات رسید. با کاهش قیمت نفت، جذابیت اقتصادی این نوع تاسیسات در امریکا کاهش یافت و تا ۱۵ سال، تاسیسات جدیدی ایجاد نشد.

با افزایش دوباره قیمت نفت در حدود سال‌های ۲۰۰۰ چندین کارخانه از این دست برای اجرا به قرارداد رسیده است و طبق مدارک موجود تا سال ۲۰۱۵ برای تولید ۵۰۰۰ مگاوات ظرفیت، تاسیساتی نصب خواهد شد.

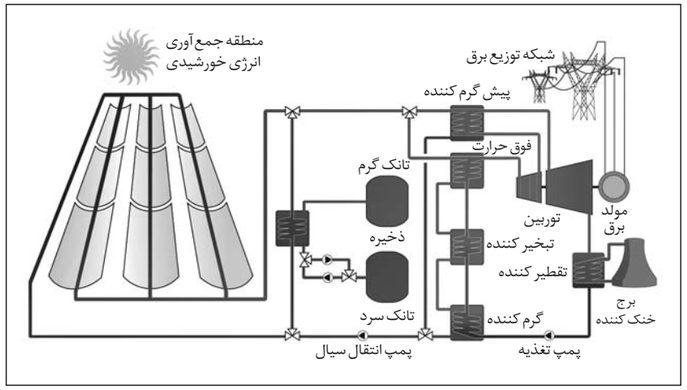
به نظر می‌رسد که قیمت برق تولیدی این صنعت تا آن زمان رقیب تاسیسات با سوخت فسیلی خواهد شد. و به هر حال در کشورهایی که تابش انرژی حرارتی خورشید زیاد است این صنعت رقیب صنعت متعارف تولید الکتریسیته از سوخت‌های فسیلی خواهد بود.

همزمان با رشد توجه به انرژی‌های تجدیدشونده ناشی از تغییرات آب و هوایی جهان همراه با افزایش قیمت انرژی‌های فسیلی و افزایش ریسک ناشی از توسعه انرژی‌های هسته‌ای به نظر می رسد که جایگاه صنعت تمرکز انرژی حرارتی خورشید گزینه بدون رقیب خواهد بود.

طبق گزارشهای موجود طرح های تحقیقاتی چندی در زمینه‌های مختلف انرژی خورشیدی در سازمان انرژی های نو ایران در دست اجراست که امید می رود در آینده راهکارهای مناسب تدوین شود.

دیاگرام شماره ۹-۵

صفحات تمرکز حرارت خورشیدی و اتصال آن به توربین تاسیسات تولید الکتریسیته



تمرکز انرژی خورشیدی برای توربین های بخاری

همان‌طور که در دیاگرام شماره ۹-۵ نشان داده شده است با تمرکز انوار خورشیدی، دمای ایجاد شده در حدود ۳۵۰-۵۵۰ درجه سانتیگراد بوده و می توان کارخانه‌هایی با توان تولید ۲۰۰ مگاوات برق ایجاد کرد. به علاوه تاسیسات ترکیبی دوگانه یعنی استفاده از انرژی خورشیدی و انرژی فسیلی از گزینه‌های دیگر این صنعت رو به رشد است. همان‌طور که گفته شد با طرح مناسب تاسیسات جمع آوری انرژی خورشیدی می توان مقدار دریافت را بیشتر از نیاز روزانه توربین‌ها قرار داد و در نتیجه در ساعت‌های کمبود و یا نبود انرژی خورشیدی توربین‌ها از انرژی ذخیره‌شده استفاده کنند.

در نوادا کارخانه‌ای با چنین تاسیساتی با ظرفیت ۵۰ مگاوات قدرت، با استفاده از روغن سنتتیک به عنوان حامل انرژی حرارتی و نمک مذاب برای ذخیره آن برای ۷/۵ ساعت تولید با نبود نور خورشید ساخته شده است.

در چند سال اخیر تاسیسات مشابه دیگری به مرحله اجرا رسیده است. طرح‌های اخیر با استفاده از آیینه‌های پارابولیک و روغن سنتتیک انتقال حرارت به تاسیسات مولد برق انجام می‌شود. امکان استفاده از انرژی خورشید و تولید مستقیم بخار یکی از امیدهای آینده است که هزینه‌های مربوط به انتقال حرارت را کاهش خواهد داد.

چندین موسسه برای کاهش هزینه‌های مربوط به ساخت و نصب صفحات فوق و کاهش مساحت لازم نوع سطوح افقی طولی فرزنل اقدام کرده‌اند و اولین نیروگاه از این دست در مرحله طراحی است و پیش‌بینی می‌شود که این تکنولوژی در سال‌های ۲۰۱۰ برای فروش به بازارهای دنیا عرضه شود که گزارشی از آن در دسترس نیست.

در سیستم فرزنل صفحه مقعر تبدیل شده است به چندین قطعه کوچک صفحه تقریبا مسطح. این قطعات روی محورهایی نصب می‌شوند و محورها با حرکت خود موقعیت زاویه ای صفحات را با خورشید حفظ می کنند. با این ترتیب حرکت لوله‌های حامل حرارت دستخوش تغییر و جابه‌جایی نمی‌شوند. تاسیسات نوع فرزنل از امتیازات چشمگیری برخوردار است.

در مدل طراحی شده توسط موسسه نواتک[1] صفحات دارای وزنی حدود ۸۰ درصد کمتر از نوع آیینه‌های پارابولیک است که هزینه‌های ساخت را کاهش می‌دهد. اما طرح ساده دریافت نور سیستم فرزنل باعث کاهش عملکرد دریافت انرژی حرارتی می‌شود و برای جبران آن باید حدود ۳۳ درصد سطوح صفحات آن نسبت به آیینه‌های پارابولیک بیشتر شود. از نقطه نظر هماهنگی محوطه تاسیسات دریافت نور، با محیط اطراف تاسیسات فرزنل امتیازات بیشتری نسبت به نوع آیینه‌های پارابولیک دارد. چنانکه صفحات مسطح آن به هم نزدیکترند و زمین کمتری را اشغال می کنند بدین ترتیب که در نوع فرزنل تاسیسات دریافت‌کننده انرژی حدود ۸۰ درصد اراضی محوطه را پر می کنند، در حالی که در نوع آیینه‌های پارابولیک این عدد حدود ۳۰ درصد است. زیرا در نوع آیینه‌های پارابولیک برای جلوگیری از ایجاد سایه ردیف صفحات باید نسبت به هم فاصله بیشتری داشته باشند در نتیجه استفاده از زمین در تاسیسات فرزنل سه برابر بیشتر از آیینه‌های طولی پارابولیک است. حال با توجه به اینکه عملکرد سیستم فرزنل دو سوم نوع آیینه‌های پارابولیک است و از طرفی به زمین کمتری نیاز دارد لذا برای هر متر مربع زمین محوطه تقریبا دو برابر انرژی بیشتری می توان دریافت کرد. این امر در مناطق صحرایی با زمین فراوان ممکن است دارای اهمیت نباشد اما در صورتی که برای تاسیسات توریستی و یا مناطق شهری باید برق تولید کرد دارای اهمیت می‌شود.

1. Novatec-Biosol

در مناطق گرم صحرایی سایه ایجاد شده در زیر تاسیسات فرزنل خود امتیازی درخور ملاحظه است زیرا از این سایه می‌توان برای هدفهای دیگر مانند حفاظت انبارها از آفتاب، پارکینگ اتومبیل‌ها، کشاورزی در سایه و مصرف کمتر آب بهره برد.

در سایت دریافت انرژی حرارتی خورشید به‌وسیله تاسیسات آیینه‌های پارابولیک نباید گل و گیاه وجود داشته باشد زیرا تمرکز انوار خورشیدی ممکن است باعث آتش گرفتن آن‌ها شود، به خصوص در تاسیساتی که از روغن سنتتیک برای انتقال حرارت استفاده می‌شود. در تاسیسات فرزنل این وضعیت پیش نمی آید و برعکس در زیر تاسیسات آن می توان همان‌طور که گفته شد کشاورزی هم نمود. در شکل شماره ۹-۱ نمونه‌ای از تاسیسات فرزنل مستقر در کشور اسپانیا نشان داده شده است.

تمرکز نورهای خورشیدی برای توربین‌های گازی

در برج های خورشیدی از آیینه‌های گردان دو محوره استفاده می شود و در نتیجه انوار خورشید به یک مرکز دریافت کننده واقع در بالای برج منعکس می شود و در آنجا انرژی متمرکز شده خورشید به حرارت با دمای زیاد تبدیل می شود(شکل شماره ۹-۲) ضریب تمرکز آن ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ بوده و ایجاد تاسیسات تولید برق ۵ تا ۱۵۰ مگاوات امکانپذیر است.

انرژی نورانی زیاد که به سطوح آیینه‌ها می‌رسد(۳۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلووات بر متر مربع) این امکان را فراهم می کند که دمایی حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد ایجاد شود که یا برای تولید بخار تحت فشار به کار رود و یا به توربین گازی هدایت شود و یا در ترکیبی از هر دو صنعت.

برج های خورشیدی همراه با تاسیسات دریافت مرکزی را می توان با تاسیسات تولید

شکل شماره ۹-۱: نمونه تاسیسات فرزنل در اسپانیا

شکل شماره ۹-۲

اصول تمرکز انرژی خورشیدی در تاسیسات برج خورشیدی

برق انرژی‌های فسیلی ترکیب کرد و با پیشبینی تاسیسات ذخیره انرژی حرارتی ضریب تولید الکتریسیته آنها را افزایش درخور ملاحظه‌ای داد.

از برج های خورشیدی می‌توان برای تولید بخار آب تحت فشار بهره گرفت. در اسپانیا برای ایجاد چنین واحدی با ظرفیت ۱۰ مگاوات اقدام شده است، لیکن اطلاعات درخور اعتمادی در مورد عملکرد سیستم در دسترس نویسندگان نبود.

بخش صنعت سیکل بخار تحت فشار این فرایند راه درازی برای رقابت با صنعت آیینه‌های پارابولیک در پیش دارد و برای افزایش عملکرد آن نیز مسیر طولانی در راه است. با استفاده از این انرژی و توربین های گازی می توان به عملکردهای بالایی دست یافت و با ترکیب فرایندهای دیگر انرژی باز هم عملکرد را افزایش داد (دیاگرام شماره ۹-۶).

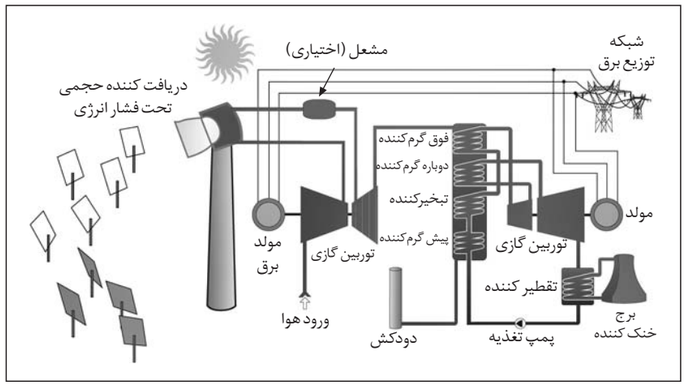
از امتیازات دیگر این صنعت باید گفت که در شروع و یا در کمبود انرژی خورشیدی می‌توان از گاز طبیعی بهره گرفت و طبیعی است که عملکرد تبدیل انرژی فسیلی به الکتریسیته در این مرحله مطلوبتر خواهد بود. در نتیجه امکانات ذخیره انرژی فسیلی ضروری نمی‌شود و ضریب ظرفیت تولید سالانه در حد بالا حفظ می‌شود. به علاوه مصرف آب خنک کننده‌ها کاهش می‌یابد. دمای بالای مورد نیاز در بهره برداری از توربین گازی و انتقال حرارت توسط هوا، نیاز به تاسیسات دیگر جذب انرژی حرارتی دارد. یعنی لوله‌های جاذب حرارت کاربرد ندارد.

دریافت‌کننده‌های حجمی[1] گرمای تمرکز یافته را در بدنه خود جذب می کنند و با

1. Volumetric Receivers

دیاگرام شماره ۹-۶

برج خورشیدی برای استفاده توربین گازی که با نیروگاه بخاری ترکیب شده است.



سرعت آن را منتقل می‌نمایند و به همین دلیل خصوصیات عالی انتقال حرارت، اتلاف انرژی حرارتی ناچیزی خواهند داشت. هوا می‌تواند به عنوان حامل انرژی حرارتی به کار رود که از داخل فضاهای خالی دریافت‌کننده حرارت عبور می کند همچنین فلاکس گرمای آن می‌تواند بیشتر از دریافت کننده‌های لوله‌ای باشد.

چون مصالح مجوف مورد نیاز می‌تواند یک سیم پیچ برای حرارت‌های تا دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد و یا سرامیک برای حرارت‌های بیشتر باشد لذا نوع دریافت‌کننده تابع نوع تاسیسات است. در نوع دریافت کننده های حجمی باز و یا با فشار آتمسفر هوای محیط خارج از برج به داخل دریافت کننده مکیده می شود و هوای گرم شده به داخل دستگاه مولد بخار آب با سیکل رانکلین هدایت می شود که سیکل ایده آل در نیروگاه بخاری است.

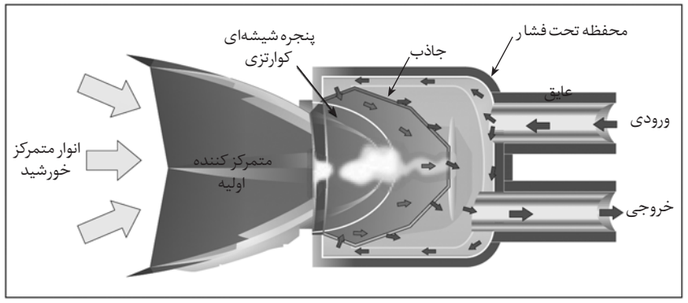
در نوع دوم که نوع بسته است دریافت کننده از هوای تحت فشار بهره می گیرد و این در حالی است که دریافت کننده به‌وسیله پنجره‌های کوارتزی بسته است (دیاگرام شماره ۹-۷).

در این سیستم هوای تحت فشار مربوط به کمپرسور توربین گازی به داخل دریافت کننده جریان یافته و گرم می‌شود. اولین نوع آن در اسپانیا به صورت پیلوت با خصوصیات زیر ساخته شده است.

- دمای هوای خروجی از دریافت کننده حدود ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد و با فشار ۱۵ آتمسفر است؛

دیاگرام شماره ۹-۷

استفاده از دریافت کننده حجمی برای تولید هوای گرم و تحت فشار



- سودمندی تمرکزکننده دوم حدود ۹۰ درصد است؛
- خنک کردن پنجره شیشه ای آن در حد حفظ دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد از بیرون و با حداقل اتلاف حرارتی است؛
- در عمل نشان داده شد که در شرایط بهره‌برداری کنترل شده می‌توان تا ۲۳۰ کیلووات نیرو تولید کرد؛

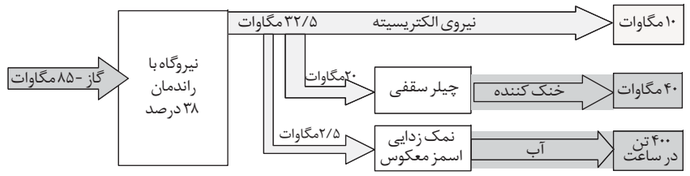
تمرکز نورهای خورشیدی برای تولید برق و حرارت

در پایان سال ۲۰۰۶ یک مطالعه امکانسنجی به وسیلهٔ کنسرسیومی اردنی - آلمانی برای ارزیابی طرح جامع تولید ۱۰ مگاوات برق و ۱۰،۰۰۰ متر مکعب آب در روز از طریق نمک زدایی و ۴۰ مگاوات ظرفیت تهویه مطبوع برای یک مجتمع تفریحی در عقبه انجام شد. منبع انرژی طرح سوخت فسیلی و تمرکز انرژی حرارتی خورشید به عنوان صرفه جویی در مصرف سوخت فسیلی بود. یک محوطه ۱۱ هکتاری برای تاسیسات دریافت انرژی خورشیدی در نظر گرفته شد و صنعت انتخابی عبارت بود از تاسیسات طولی فرزنل زیرا شرایط نصب صفحه‌های صاف فرزنل مناسبتر از آیینه‌های پارابولیک و میزان انرژی خورشیدی دریافتی توسط آن تقریبا دو برابر نوع آیینه‌های پارابولیک تشخیص داده شد (دیاگرام شماره ۹- ۸).

راه حل متعارف برای چنین مجتمعی خرید آب و برق از تاسیسات عمومی بود و به دلیل کمبود آب و برق در منطقه عقبه ایجاد تاسیسات تولید در محل مصرف ضروری تشخیص

دیاگرام شماره ۹-۸

راه حل متعارف تامین برق، آب و انرژی تاسیسات تهویه مطبوع برای تاسیسات جهانگردی عقبه

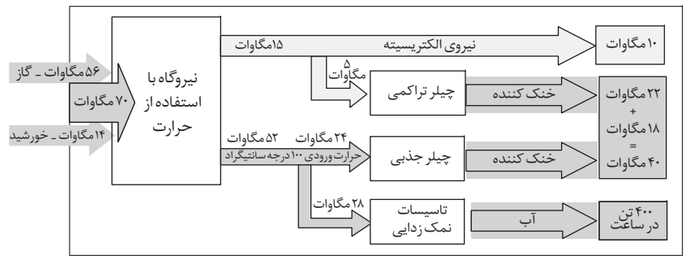


داده شد. طبق دیاگرام شماره ۹-۸ تامین دو نیاز فوق مستلزم مصرف گاز طبیعی معادل ۸۵ مگاوات انرژی بود. و به دلیل بی‌اعتماد به قیمت‌های سوخت‌های فسیلی در آینده تصمیم گرفته شد که مطالعات امکانسنجی ایجاد تاسیسات برق و آب از طریق تقطیر چندمرحله‌ای انجام گیرد. ظرفیت چیلرهای جذبی در فصول تعطیلی مبنای حداقل انرژی لازم انتخاب شد و چیلرهای فشاری برای شرایط حداکثر مصرف. به هرحال تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که فرایندهای جامع تولید آب و برق با هم و استفاده از انرژی خورشیدی باعث صرفه جویی حدود ۳۵ درصد سوخت فسیلی خواهد شد (دیاگرام شماره ۹-۹).

از امتیازات اصلی تولید نیازمندیهای برق و آب در محل مصرف این است که می‌تواند باعث کاهش قیمت تمام شده آن نسبت به خرید از تاسیسات عمومی موجود در منطقه باشد. به‌طورکلی در منطقه در حالی که نیاز به تاسیسات تهویه مطبوع زیادی است انرژی خورشیدی فراوانی هم در دسترس است لذا استفاده از آن، مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش خواهد داد. قرار بود که این تاسیسات در سال ۲۰۱۰ راه‌اندازی شود.

دیاگرام شماره ۹-۹

تجمیع روش‌های تولید آب، برق و تهویه مطبوع با تمرکز انرژی خورشیدی و گاز طبیعی



انتخاب اولیه صنایع تمرکز انرژی خورشیدی

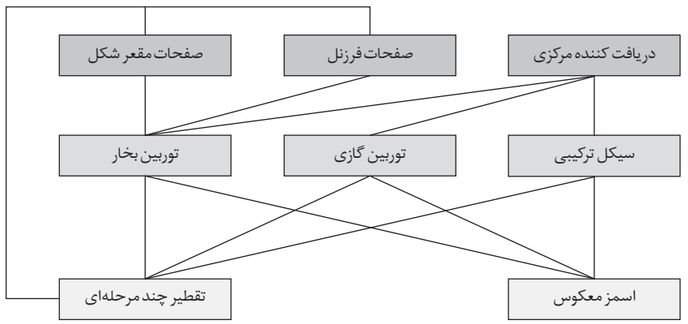
به طور کلی تمام انواع صنایع تمرکز انرژی خورشیدی می تواند برای تولید برق و آب از طریق نمک زدایی به کار رود. جدول شماره ۹-۲ و دیاگرام شماره ۹-۱۰ این پتانسیل‌ها را نشان می‌دهد. طرح انجام مطالعه‌ای تهیه شد که حدود مطالعات عبارت بود از تعریف و تعیین تکنولوژی مناسب تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک زدایی آب دریا، از نظر عملکرد و هزینه آن تا بتوان برای ایجاد جاذبه‌های بازار تجارت برنامه‌ای دراز مدت تدوین کرد.

رشد صنعت تمرکز نقطه ای[1] انرژی خورشیدی به حد صنعت صفحات خطی نرسیده است و به رغم اولین پروژه‌های دهه ۱۹۷۰ اروپا با دریافت کننده‌های انرژی حرارتی مرکزی تنها تاسیسات با آیینه‌های پارابولیک با تمرکز خطی دارای بازار تجارتی هستند و هنوز این تردید وجود دارد که آیا انواع تاسیسات مرکزی دریافت انرژی قادر به رقابت با انواع خطی در دماهای پایین ۵۵۰ درجه سانتیگراد برای تولید بخار تحت فشار هستند یا خیر. فعلا تاسیسات خطی تمرکز حرارتی از امتیاز اصلی هزینه‌های کمتر برخوردارند به علاوه مصالح کمتر و عملیات سازه ساده‌تر و عملکرد بهتر از مشخصات آن است و شاید سال‌های زیاد رقیبی در این بازار نداشته باشد.

از طرف دیگر نه آیینه‌های پارابولیک و نه تاسیسات فرزنل هچیک نمی‌توانند مورد

دیاگرام شماره ۹-۱۰

تجمیع گزینه‌های ترکیب صنعت تمرکز انرژی خورشید با صنعت نمک زدایی از آب لب شور



1. Point Concentration

استفاده برای تاسیسات توربین گازی گردند. در دماهای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد و بیشتر دریافت کننده‌های مرکزی تنها گزینه درخور استفاده برای تامین حرارت خورشیدی جهت توربین‌های گازی و تاسیسات ترکیبی هستند. اما به هر حال امید نمی رود که مشکلات آن به زودی در حد مطلوب حل شود و در اندازه بزرگ و متوسط وارد بازار تجارت این رشته گردد. گرچه مطالعات امکانسنجی آن به جواب‌های مثبت رسیده است لیکن هنوز ابهامهایی در زمینه هزینه، درجه

جدول شماره ۹-۲: خصوصیات صنایع تمرکز انرژی حرارتی خورشید

روش تمرکز	سیستم تمرکز خطی		سیستم تمرکز نقطه‌ای	
نوع میدان دریافت انرژی	آئینه پارابولیک	صفحه صاف فرزنل	دریافت کننده مرکزی	بشقاب مقعر
سطح صنعت	تجارتی	قبل از تجارتی	مرحله آزمایشی	مرحله آزمایشی
هزینه‌های تمرکز انرژی خورشیدی (یورو در متر مربع)	۲۰۰-۲۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۲۵۰-۳۰۰	بیش از ۳۰۰
تولید متعارف (مگاوات)	۵-۲۰۰	۱-۲۰۰	۱۰-۱۰۰	۰/۰۱
نیازهای ساختمانی	نیاز دارد	ساده است	نیاز دارد	نسبتا نیاز دارد
دمای بهره‌برداری	۳۹۰-۵۵۰	۲۷۰-۵۵۰	۵۵۰-۱۰۰۰	۸۰۰-۹۰۰
سیال انتقال انرژی حرارت	روغن سنتتیک، آب، بخار آب	روغن سنتتیک، آب، بخار آب	هوا، نمک مذاب، آب ، بخار آب	هوا
سیکل ترمودینامیکی قدرت	رنکین[1]	رنکین	بریتون[2] - رنکین	استرلینگ - بریتون
دستگاه تولید قدرت	توربین بخار	توربین بخار	توربین گازی توربین بخار	ماشین استرلینگ
تجربه موجود	عالی	کم	متوسط	متوسط
اعتمادپذیری	عالی	نامعلوم	متوسط	عالی
مایع ذخیره انرژی حرارتی	نمک مذاب - بتن - مواد تغییر فاز یافته	نمک مذاب - بتن - مواد تغییر فاز یافته	نمک مذاب - سرامیک - مواد تغییر فاز یافته	نمک مذاب - سرامیک - مواد تغییر فاز یافته
ترکیب یا صنعت نمک زدایی	ساده	ساده	ساده	ساده
هماهنگی با محیط	مشکل	ساده	متوسط	متوسط
نیازهای بهره برداری	مشکل	ساده	متوسط	ساده
زمین لازم	زیاد	کم	زیاد	متوسط

1. Rankine
2. Brayton

اعتماد و اندازه مناسب بازار وجود دارد. به طوری که سیستم با دریافت کننده مرکزی تمرکز حرارت از میدان مقایسه روشها دور شده است اما بدین معنی نیست که در آینده نتواند دوباره رقیب روش‌های دیگر شود.

در انجام یک مطالعه موردی برای تولید انرژی و مصرف آن برای نمک زدایی آب، روش استفاده از بشقاب مقعر و یا بشقاب استرلینگ از گزینه‌های مورد توجه حذف شده است زیرا تولید قدرت آن از نظر کیلووات کم است اما برای مناطق دور دست و نیاز کم انرژی هنوز مورد توجه قرار دارد. این صنعت در طرح های کوچک آینده‌ای روشن دارد. در هندوستان در سطح پیلوت استفاده از بشقاب تمرکز حرارتی برای زندگی روزمره مانند آشپزی هم به کار رفته است.

لذا دو صنعت صفحات پارابولیک طولی و صفحات افقی فرزنل دو تکنولوژی مناسب برای تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی مناسب تشخیص داده شده است.

با نگاهی به جدول شماره ۹-۲ می توان مشاهده کرد که صفحات مسطح فرزنل در اکثر ردیف‌ها بهتر از گزینه‌های صفحات پارابولیک است به جز در دو مورد، تجارب به دست آمده از صنعت صفحات پارابولیک به مراتب بیشتر از صفحات افقی فرزنل است و در نتیجه از نقطه نظر درجه اعتماد هنوز صفحات پارابولیک به مراتب قابل اعتمادتر از سیستم فرزنل است.

با نگاهی به دورنمای آینده صنعت تمرکز حرارت خورشید صفحات طولی فرزنل بسیار امیدوار کننده است زیرا با هزینه‌های نسبتا کمتر نیازمندیهای ساختمانی کمتر و سادگی صنعت و هماهنگی با محیط زیست از امتیازات درخور توجه آن است. در حقیقت به این صنعت می‌توان به چشم نسل دوم صفحه‌های پارابولیک نگریست مشروط بر اینکه اعتمادپذیری آن افزایش یابد. زیرا این صنعت از نظر عملکرد استفاده از قوانین نور و مکانیسم ردیابی خورشید با صفحه‌های پارابولیک اختلاف تکنیک دارد و بقیه مشخصات آن از جریان گردش حرارت تا سیکل ایجاد بخار تقریبا مشابه آن است. این وضعیت موجب می‌شود که بتوان بخش‌هایی از تجربه کار با آیینه‌های پارابولیک را در صفحه‌های فرزنل مورد استفاده قرار دارد.

حال با توجه به رابطه این صنعت با صنعت نمک زدایی آب باید بیشتر و عمیقتر تحقیق و ارزیابی صورت گیرد. البته این بدان معنا نیست که صنایع دیگر در رابطه با نمک زدایی آب دریا نادیده گرفته شود. در واقع انواع صنایع استفاده از این انرژی در آینده رقیبان هم خواهند بود که در بخش‌های آینده به اختصار مورد بحث قرار گرفته است.

تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک زدایی آب دریا در مقیاس بزرگ

در صفحه‌های قبل نشان داده شده که انرژی خورشیدی می تواند تولید الکتریسیته کند و از آن برای نمک‌زدایی آب به روش اسمزمعکوس بهره گرفته شود. به علاوه این ایستگاه دریافت انرژی حرارتی می‌تواند حرارت و برق تولید کند و لذا در صنعت نمک‌زداهای گرمایی هم می‌تواند به کار رود و در نتیجه یک مرکز تولید آب و برق باشد.

در مطالعات موردی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر نشان داده شده است که درصد استفاده از انرژی خورشیدی خیلی بیشتر از انرژی باد است و شرایط نیاز به استفاده از برق شبکه به مراتب کمتر از مورد استفاده از باد است. در این مطالعه موردی انرژی تجدیدشونده تامین شده به وسیلهٔ تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی ۹۱ درصد و تاسیسات سلول‌های خورشیدی[1] ۲۵ درصد و باد ۳۷ درصد انرژی مورد نیاز طرح بوده است. البته ارقام مربوط به شرایط خاصی است، اما می‌تواند کلیات استفاده از ۳ روش را نشان دهد. در نتیجه تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی چه از نظر مصرف سوخت و چه از نظر حفظ ظرفیت تولید بهتر از تاسیسات سلولهای خورشیدی عمل کرده است.

در هر ۳ روش می‌توان برق تولید شده را در باتریهای مناسب ذخیره کرد و فرایند تولید آب را استمرار بخشید. در این صورت تاسیسات ذخیره انرژی الکتریکی برای تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی ضرورت پیدا می کند اما ظرفیت آن به مراتب کمتر از تاسیسات سلولهای خورشیدی است.

باید توجه داشت که در طرح های نمک زدایی با ظرفیت بالا اگر میزان تولید آب به دلایل کمبود انرژی دچار نوسان شود عملکرد اقتصادی طرح را کاهش می‌دهد زیرا با توقف و یا کاهش میزان تولید آب شرایط تولید گرفتگی ممبرانها و خوردگی تاسیسات تسریع می‌شود و خود باعث افزایش مصرف انرژی خواهد شد.

در بخش های زیر بحث استفاده از انرژی حرارتی خورشیدی برای تولید همزمان برق و آب با روش‌های گرمایی و ممبرانی ارائه می‌شود.

---

1. Photovoltaics(PV)

مقایسه فنی عملکردها طبق گزارش های موجود

در این بخش با استفاده از تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی به کمک صفحه‌های افقی فرزنل برای نمک‌زدایی به روش اسمزمعکوس و تقطیر چندمرحله‌ای و با سیکل رانکین طبق دیاگرام شماره ۹-۱۱ مسئله مورد بحث قرار می گیرد.

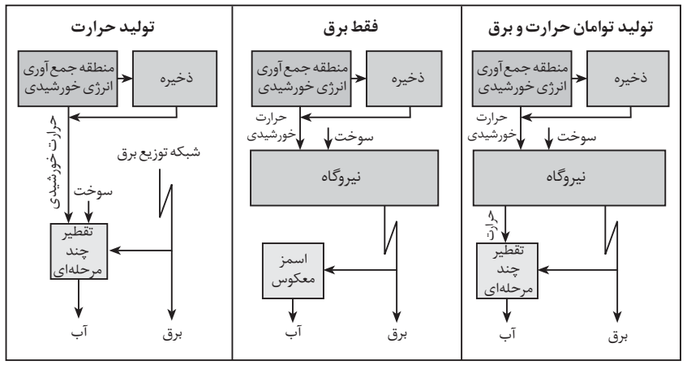
۷ محل در خاورمیانه و شمال آفریقا به عنوان محل های مرجع انتخاب شدند که برای شرایط مورد نظر گزینه های فنی تعریف گردیدند این مناطق عبارتند از: دریای سرخ در عقبه در اردن، سواحل آتلانتیک، اقادیر مراکش، خلیج فارس در ابوظبی؛ دریای مدیترانه، منطقه والتا (مالتا)، بخش جنوبی دریای سرخ در منطقه‌ای در یمن، دریای مدیترانه در سینا نزدیک غزه و غرب دریای سرخ در هورقدا در مصر.

شرایط دما، غلظت املاح آب دریا، شدت انوار خورشید و عوامل دیگر محیطی در آنها متغیر است و لذا مورد مطالعه مقایسه‌ای قرار گرفتند.

برای مقایسه صنعت نمک‌زدایی ممبرانی و تبخیر ناگهانی در ترکیب با تکنولوژی تمرکز انرژی خورشیدی در مناطق مختلف هر دو روش برای تولید یکسان همزمان برق و آب معادل ۲۰-۲۵ مگاوات و ۲۴۰۰۰ متر مکعب در روز طراحی گردیدند. بدین ترتیب که با محاسبه میزان انرژی حرارتی لازم و ابعاد مورد نیاز تاسیسات دریافت و تمرکز انرژی خورشیدی اختلاف

دیاگرام شماره ۹-۱۱

گزینه‌های مختلف نمک زدایی از آب و با استفاده از انرژی متمرکز خورشیدی



عملکردها ارزیابی شدند. فاکتورهای اساسی طرح برای مناطق مختلف یکسان نبودند مهمترین فاکتورهای مورد توجه، عملکرد دریافت انرژی خورشیدی ناشی از شرایط محلی و کیفیت آب خام از نظر مجموع املاح محلول بودند که در بالا به آنها اشاره شد.

فاکتورهای دیگر مانند دما و رطوبت نسبی منطقه روی عملکرد تاسیسات اثر داشت زیرا سودمندی و نیاز الکتریکی را تغییر می‌دادند ولی به هر حال دو اصل اول فاکتورهای غالب مورد محاسبه بودند. از هر دو سیستم این انتظار می‌رفت که آبی مطلوب و با کیفیت تعریف شده سازمان بهداشت جهانی با مجموع املاح ۲۰۰ میلی گرم در لیتر تولید کنند. اما از طرف دیگر تاسیسات تبخیر ناگهانی می‌تواند آبی با مجموع املاح حدود ۱۰ میلی گرم در لیتر تولید کند که مناسب شرب نیست و نیاز به افزودن ترکیبات معدنی دارد. تولید الکتریسیته به عنوان یک محصول جانبی مورد توجه قرار گرفت و برای تولید آب توسط اسمزمعکوس نیاز به چند مرحله نمک‌زدایی بود.

طراحی طوری انجام گرفت که تمام تاسیسات از نظر تولید آب و برق یکسان باشند و طبیعتا فضاهای تمرکز انرژی خورشیدی و مصرف سوخت فسیلی متفاوت مورد نیاز بود. بررسی‌های مدارک و گزارشهای مربوط به تاسیسات نمک زدایی ممبرانی و گرمایی حاکی از این است که عملکرد تاسیسات نمک زدایی ممبرانی بهتر از تاسیسات گرمایی است لیکن محاسبه‌های مربوط به استفاده از تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشید در این مطالعه، نتایج دیگری نشان داد.

بدین‌ترتیب که در تمام ۷ مورد مطالعه ترکیب تاسیسات انرژی خورشیدی با تاسیسات‌تبخیر ناگهانی حدود ۴-۱۱ درصد نیاز کمتری به انرژی نسبت به تاسیسات انرژی خورشیدی و ممبرانی داشت.

دلیل اصلی این به اصطلاح تضاد نتیجه، در طرح استفاده از دو نوع انرژی است زیرا در طراحی استفاده از سوخت‌های فسیلی گران تجدیدناپذیر و مخرب محیط زیست سعی در افزایش سودمندی استفاده از آن است اما از طرف دیگر تاسیسات استفاده از انرژی خورشیدی طوری طراحی می‌شوند که از حداکثر انرژی رسیده بهره‌گیری شود و تبدیل این انرژی به تولید در درجه دوم اهمیت قرار دارد. زیرا می‌توان مشاهده کرد که با افزایش سودمندی استفاده از سوخت‌های فسیلی دستاوردهای ناچیزی حاصل می‌شود اما با جایگزینی انرژی تجدیدشونده

این دستاورد درخور ملاحظه است. در حالی که تولید همزمان آب و برق ما را به طرف افزایش سودمندی بیشتر هدایت می کند.

اختلاف عملکرد دو نوع سیستم گرچه زیاد نیست اما شفاف و معلوم است مطالعه‌ها نشان داد که انرژی ویژه مورد مصرف فرایند تبخیر ناگهانی در حد چشمگیری کمتر از روش اسمزمعکوس است که بستگی به املاح آب خام دارد.

از جدول می‌توان مشاهده کرد که در ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی با تبخیر ناگهانی، تولید برق کمتر است زیرا دمای نهایی بخار خروجی از توربین گازی بیشتر است و در نتیجه حدود ۱۰ درصد انرژی مکانیکی کمتری به بخش مولد برق منتقل می‌شود. زیرا در مورد مولد برق که با توربین بخاری کار می کند و بخار تحت فشار پس از دادن انرژی خود تقطیر می‌شود دارای دمای ۳۵-۴۵ درجه سانتیگراد است در حالی که در ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی با تبخیر ناگهانی دمای بخار خروجی از توربین حدود ۷۰ درجه سانتیگراد است و این امر در مورد تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی و نمک زدایی ممبرانی بهتر است.

به طور خلاصه مصرف برق تاسیسات اسمز معکوس خیلی بیشتر از تاسیسات تبخیر ناگهانی است زیرا تاسیسات تبخیر ناگهانی جایگزین تاسیسات خنک کننده نیروگاه می‌شود. هر چه املاح محلول آب خام بیشتر می‌شود امتیازات ترکیب تبخیر ناگهانی با تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی بیشتر است. گرچه ترکیب نمک زدایی ممبرانی با تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی دارای امتیازات دیگری است. جدول شماره ۹-۳ نکته‌های در خور توجهی را از نظر مقایسه نشان می‌دهد. برای مثال محل تاسیسات نمک زدایی ممبرانی می تواند کاملا جدا از تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی باشد زیرا محل استقرار تاسیسات تمرکز خورشیدی تابع شرایط زاویه تابش و غیره است در حالی که تاسیسات نمک زدایی باید کنار دریا باشد و از طریق شبکه توزیع، برق لازم را دریافت کند. چنین تاسیساتی اکنون در کالیفرنیا وجود دارد.

چنانکه چندین کارخانه نمک زدایی با صنعت ممبرانی در سواحل دریا فعال است و مرکز معروف تمرکز انرژی خورشیدی در صحرای موجاو[1] قرار دارد. جدایی دو بخش در سواحل پر جمعیت که استملاک زمین نیاز به سرمایه گذاری زیاد دارد بهتر خواهد بود. و یا اگر توپوگرافی

1. Mojave

جدول شماره ۹-۳:

خصوصیات انتخاب دو ترکیب انرژی خورشیدی- تقطیر ناگهانی و انرژی خورشیدی- اسمزمعکوس

نوع ترکیب	انرژی خورشیدی- تقطیر ناگهانی	انرژی خورشیدی- اسمز معکوس
انتخاب محل	محدود به سواحل و در نزدیکی منبع آب	تاسیسات اسمز معکوس باید کنار دریا باشد لیکن تاسیسات تمرکز انرژی هر کجا مشروط به امکان اتصال به شبکه برق عمومی است.
انعطاف‌پذیری	وابستگی عملیات دو فرایند زیاد است.	استقلال عملیات مشروط به اتصال به شبکه برق عمومی است.
شرایط مطلوب دریافت انرژی	محدود است به سواحل دریا	هر جا که انرژی خورشید بیشتر است اما اتلاف آن در مسیر انتقال مطرح است.
گزینه ذخیره انرژی	نمک مذاب- بتن- مواد تغییر فاز یافته - آب گرم	نمک مذاب - بتن - مواد تغییر فاز یافته
کیفیت آب	مستقل از کیفیت آب خام- آب تولیدی در حد عالی است	برای آب های لب شور مناسبتر است.
کاربردهای دیگر	تولید همزمان حرارت لازم، تهویه مطبوع تولید برق، تولید آب	فقط تولید برق

اراضی سواحل برای نصب آیینه‌ها مناسب نباشد و یا صدور مجوزهای لازم با مانع برخورد کند وجود فاصله بین محل تاسیسات جمع آوری انرژی حرارتی و تولید الکتریسیته با محل مصرف آب مشکل ایجاد نمی کند. چنانکه در سواحل غرب آمریکای جنوبی و آفریقای جنوبی که پدیده بروز مه در چندین ماه سال و در عرض چندین کیلومتر ساحل را تحت تاثیر قرار داده و میزان دریافت انرژی حرارتی خورشید را کاهش می‌دهد، طبیعی است محل تمرکز باید به دور از ساحل انتخاب شود.

تاسیسات نمک زدایی بهتر است با میزان ثابت تولید آب کار کند اما میزان دریافت انرژی خورشید به دلیل بروز شب و روز و ابر وغیره ثابت نیست. از طرف دیگر اتصال مستقیم تاسیسات حرارتی با مرکز انرژی نیاز به تاسیسات ذخیره انرژی دارد و یا باید از امکانات دیگر تولید انرژی هم بهره بگیرد. اما اتصال تاسیسات اسمز معکوس به شبکه برق منطقه این ضعف را ندارد. لیکن انتقال برق از تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی دور از ساحل به تاسیسات نمک زدایی ممبرانی کنار سواحل باعث مصرف انرژی الکتریکی برای انتقال خواهد شد.

اتصال مستقیم تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی با تبخیر ناگهانی از امتیازات خاص خود برخوردار است. در درجه اول مصرف انرژی کمتر و لذا آثار تخریب محیط زیستی آن هم کمتر است. به علاوه این نوع تاسیسات برای مشتریان با نیاز زیاد آب و برق مانند تاسیسات بزرگ جهانگردی دارای جاذبه‌هایی است.

گرچه صنایع مربوط به نمک‌زدایی ممبرانی و تقطیری با سرعت رو به توسعه بوده و برای افزایش سودمندی عملکردها و کاهش هزینه‌ها کارهای زیادی در حال انجام است. لیکن ترکیب آنها با تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی در مراحل امکانسنجی است لذا نمی‌توان هیچ یک از دو ترکیب را بدون توجه به شرایط محیط طرح برتر دانست. شرایط محلی، توجهات اقتصادی و عوامل دیگر باید برای انتخاب مورد نظر تجزیه و تحلیل شود. در مواردی می‌توان حتی ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی و هر دو فرایند نمک‌زدایی را مدنظر قرار داد که منجر به عملکرد بهتر استفاده از انرژی می‌شود.

به طور کلی اختلاف اقتصادی و تکنیکی دو روش تبخیر ناگهانی و اسمزمعکوس زیاد نیست بلکه بستگی به شرایط محلی دارد و هر دو با هم در رقابت هستند. مسلم است که تاسیسات پیشگفته در آینده به مسایل محیط زیست مانند مشکلات آبگیرها و تخلیه پساب حاوی بازدارنده‌ها گره می‌خورد که باعث افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و غیره می شود که در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفته است.

برای مثال با کاربرد نانوفیلتر به عنوان تاسیسات پیش تصفیه مسائل کاربرد بازدارنده‌ها بسیار کمرنگتر خواهد شد گرچه نیاز به سرمایه‌گذاری‌ها را افزایش می‌دهد.

مقایسه اقتصادی عملکردها در یک مورد خاص

یادآوری شد که به دلیل عملکرد بهتر صنعت ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی با تبخیر ناگهانی نسبت به تمرکز انرژی خورشیدی با اسمزمعکوس در حدود ۱۰ درصد تاسیسات جمع‌آوری انرژی خورشیدی کمتر مورد نیاز خواهد بود. هم چنین به دلیل جایگزینی تاسیسات تبخیر ناگهانی به جای سردکننده‌ها خود باعث کاهش ۱۰ درصد سرمایه گذاری تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی می‌شود. اما از طرف دیگر سرمایه‌گذاری اولیه برای تاسیسات تبخیر ناگهانی حدود ۵۰ درصد بیشتر از تاسیسات ممبرانی است و برروی هم رفته با توجه به هزینه‌های دیگر سرمایه‌گذاری

برای ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی با تبخیر ناگهانی حدود ۱۰ درصد بیشتر از نوع ممبرانی است. خلاصه ،سرمایه‌گذاری ها در یک مطالعه موردی ترکیب ۲ طرح در جدول شماره ۹-۴ نشان داده شده است. مبنای قیمت‌ها صفحات مسطح فرزنل در سال ۲۰۰۷ است.

محوطه جمع‌آوری انرژی خورشیدی برای تبخیر ناگهانی و اسمز معکوس به ترتیب ۱۲ و ۱۳ هکتار و تولید آب و برق به ترتیب ۲۴،۰۰۰ متر مکعب و ۲۵ مگاوات در روز بوده است.

عملکرد درازمدت ۲ طرح فوق بر مبنای استفاده از مدل ریاضی برای شرایط زیر مورد بررسی بیشتر قرار گرفت. تشعشع خورشیدی منطقه معادل ۲۴۰۰ کیلو وات ساعت در سال و غلظت املاح آب دریا ۴۰،۰۰۰ میلی گرم در لیتر و در تحت چنین شرایطی و بدون در نظر گرفتن تاسیسات ذخیره انرژی حرارتی سهم استفاده از انرژی خورشیدی ۱۹ درصد بوده است.

ابعاد منطقه جذب انرژی خورشیدی در ۴ مرحله هر کدام معادل ۱ واحد در نظر گرفته شد و امکانات ذخیره انرژی در ۶ مرحله تا اینکه تولید آب به طور مستمر انجام گیرد. در این صورت سهم استفاده از انرژی خورشیدی به ۷۵ درصد رسید (جدول شماره ۹-۵).

هزینه سالانه سرمایه‌گذاری برمبنای ۵ درصد نرخ تنزیل و عمر مفید ۲۵ سال محاسبه شده است که نرخ ثابت سالانه هزینه‌ها ۷/۱ درصد را نشان می‌دهد. به علاوه ردیف‌های هزینه‌های سالانه برای بهره برداری و نگهداری ۲ درصد سرمایه‌گذاری و پوشش بیمه ای معادل ۱ درصد سرمایه‌گذاری برای هر دو نوع تاسیسات در نظر گرفته شده است. کارخانه ها برمبنای ۲ نوع سوخت انرژی خورشیدی و سوخت فسیلی به علاوه گاز طبیعی مورد بهره برداری قرار داشت و ارزش سوخت هیبرید برمبنای ۲۵ یورو برای هر مگاوات ساعت براورد شد.

جدول شماره ۹-۴: سرمایه‌گذاری‌ها برحسب میلیون یورو

نوع ترکیب / بخش‌های اصلی	انرژی خورشیدی و اسمز معکوس	انرژی خورشیدی و تبخیر ناگهانی
تاسیسات جمع آوری انرژی خورشیدی	۲۷/۹	۲۵/۷
بخش تولید برق	۲۳/۶	۲۱/۵
تاسیسات نمک‌زدایی	۲۴/۹	۳۷/۷
جمع	۷۶/۴	۸۴/۹

مصرف سوخت و هزینه سالانه آن بستگی به سهم سالانه انرژی خورشیدی دارد که خود تابعی از اندازه و سرمایه‌گذاری تاسیسات تمرکز انرژی و تاسیسات ذخیره و برمبنای قیمت‌های روز محاسبه‌ها انجام گرفت. و بالاخره برای تعویض ممبران‌ها، برمبنای ۵ سال عمر مفید، معادل ۲۰ درصد از سرمایه‌گذاری مربوط در هزینه‌های سالانه منظور شد. عملکرد اقتصادی تاسیسات تولید همزمان آب و برق بدین ترتیب مورد آنالیز قرار گرفت که در آمد ناشی از فروش برق برمبنای ۰/۰۷ یورو برای هر کیلووات ساعت که معادل قیمت برق تولیدی از تاسیسات حرارتی است و کاهش در آمد حاصل از فروش آن از هزینه‌های سالانه سرمایه گذاری، هزینه‌های سالانه مازاد بر فروش فوق برای محاسبه قیمت تمام شده آب تولیدی به کار رفت و این هزینه در حدود ۱/۵۵-۱/۸۵ یورو برای هر متر مکعب آب تولیدی است.

در تمام موارد هزینه تمام شده آب با ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی و تبخیر ناگهانی کمتر از ترکیب تمرکز انرژی خورشیدی - اسمز معکوس است زیرا عملکرد ترکیب اول بهتر است. با توجه به اینکه هزینه سرمایه گذاری اولیه ترکیب انرژی خورشیدی با تبخیر ناگهانی بیشتر از مدل اسمز معکوس است اما عملکرد اقتصادی آن مطلوبتر است لذا خلاف نظریه عمومی ارزانتر بودن آب تولیدی اسمزمعکوس را نشان می دهد در نتیجه برای هر مورد خاص مطالعات مفصل اقتصادی لازم است تا گزینه برتر اقتصادی تعیین و تعریف شود.

در آنالیزهای اقتصادی مطالعات فوق قیمت سوخت ۲۵ یورو برای مگاوات ساعت و ارزش امروز تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی ۲۱۵ یورو برای هر مترمربع در نظر گرفته شده است. همچنین هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای تاسیسات تبخیر ناگهانی ۱۶۰۰ یورو بر مترمکعب تولید آب در روز فرض شده است.

قیمت تمام شده ۱/۵۵-۱/۸۵ یورو در مترمکعب هنوز ارقام بالایی است در حالی که قیمت تمام شده آب از طریق تبخیر ناگهانی و اسمز معکوس متعارف در حدود ۰/۴-۲ یورو در مترمکعب گزارش شده است که حاکی از وجود تغییرات اساسی در شرایط محلی، کیفیت آب و معیارهای اقتصادی پروژه‌هاست. در تمام این توجهات قیمت سوخت نقش اصلی دارد و با تغییر قیمت سوخت قیمت آب تولیدی هم تغییر می کند.

به اجمال می توان گفت در بسیاری از شرایط مشابه موارد مورد بحث این فصل، دیر یا زود تولید نمک زدایی با استفاده از انرژی خورشیدی از نظر اقتصادی گزینه های قابل مطالعه

خواهد شد. زیرا مسئله اصلی تجدیدشوندگی انرژی مورد مصرف و بدون ویرانی محیط زیست است. در صورتی که به روند قابل انتظار کاهش هزینه های سرمایه گذاری تاسیسات جمع آوری انرژی حرارتی خورشیدی توجه شود و رقم ۱۱۰ به جای ۲۱۵ یورو در سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شود، قیمت تمام شده برق تولیدی کاهش درخور ملاحظه‌ای خواهد یافت و در نتیجه هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای تاسیسات اسمز معکوس به حدود ۹۰۰ یورو برای هر مترمکعب آب تولیدی در روز می رسد. این کاهش برای تاسیسات گرمایی هم از ۱۶۰۰ یورو به حدود ۱۱۵۰ یورو خواهد رسید. حال اگر با تمهیدهای لازم در طرح جمع آوری انرژی خورشیدی برای ۹۵ درصد طراحی انجام گیرد قیمت تمام شده آب تولیدی به حدود ۰/۱۹-۰/۲۶ یورو در مترمکعب می رسد که در انتهای جدول شماره ۹-۵ ارائه شده است.

از گفتگو در مورد جزئیات گزارش موردی خودداری شد و تنها به دستاوردهای آن بسنده گردید. در یک مطالعه امکانسنجی دیگر در مورد پتانسیل انرژی حرارتی خورشید در منطقه شمال افریقا چنین نتیجه‌گیری شده است که این منطقه می تواند حدود ۱۵ درصد برق مورد نیاز کشورهای اروپایی را تامین کند و در این صورت نیاز به کابل انتقال نیروی تولید شده به طول حدود ۳۶۰۰ کیلومتر است.

هزینه‌ها و قیمت‌ها

در ارزیابی‌های انجام شده هزینه نهایی تولید برق، شامل سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و نگهداری، توسط سلول‌های خورشیدی که بر بام خانه‌ها نصب شده است برای هر کیلووات ساعت حدود ۰/۲-۰/۸ دلار بوده است و این رقم برای تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی ۰/۰۱۸-۰/۲ دلار است. طیف درخور ملاحظه ۰/۲ تا ۰/۸ به علت تغییرات شرایط محل نصب و تشعشع خورشیدی است. اما به‌طور کلی حدود آن ۰/۲-۰/۴ دلار برای هر کیلووات ساعت برای اراضی با رقوم ارتفاعی کم و با تشعشع خورشیدی حدود ۲۵۰۰ کیلووات ساعت در متر مربع درسال (حدود ۷ کیلووات ساعت در متر مربع در روز) است. در صورتی که تشعشع خورشیدی به حدود ۱۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلووات ساعت در متر مربع در سال برسد، هزینه نهایی فوق به ترتیب عبارت خواهد بود از ۰/۳-۰/۵ و ۰/۵-۰/۸ دلار. البته هزینه‌های فوق برای تاسیسات تجاری کمتر از تاسیسات ساختمان‌های مسکونی است.

جدول شماره ۹-۵: **محاسبات هزینه های سالانه و تولید برق و آب در تاسیسات نمک‌زدایی و استفاده از انرژی خورشیدی (شرایط سال ۲۰۰۷)**

معیارهای اقتصادی	واحد	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای
ظرفیت نامی تولید برق	مگا وات	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱	۲۱
ظرفیت تولید آب	متر مکعب در روز	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰	۲۴،۰۰۰
سرمایه گذاری	میلیون یورو	۷۶/۴	۸۴/۹	۱۱۰/۶	۱۱۷/۰	۱۵۱/۱	۱۵۵/۳	۱۹۷/۹	۲۰۰/۰
نرخ سود بانکی	درصد	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
عمر مفید	سال	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
نرخ هزینه های ثابت	درصد در سال	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱	۷/۱
هزینه های ذخیره انرژی	یورو در کیلووات ساعت	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
ظرفیت ذخیره	ساعت	۰	۰	۶	۶	۱۲	۱۲	۱۸	۱۸
زمین برای جذب انرژی	متر مربع	۱۳۰،۰۰۰	۱۲۰،۰۰۰	۲۶۰،۰۰۰	۲۴۰،۰۰۰	۳۹۰،۰۰۰	۳۶۰،۰۰۰	۵۲۰،۰۰۰	۴۸۰،۰۰۰
هزینه‌های بهره برداری و نگهداری	درصد در سال	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
میزان بیمه سالانه	درصد در سال	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
تشعشع سالانه خورشیدی	کیلووات ساعت - متر مربع در سال	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰	۲،۴۰۰
سهم سالانه انرژی خورشیدی	درصد	۱۹	۱۹	۳۸/۰	۳۸/۰	۵۷/۰	۵۷/۰	۷۶/۰	۷۶/۰
تولید سالانه آب	متر مکعب در سال	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰	۷،۴۴۶،۰۰۰
تولید سالانه برق	گیگاوات ساعت در سال	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴	۱۵۶/۴

ادامه جدول شماره ۹-۵: **محاسبات هزینه‌های سالانه و تولید برق و آب در تاسیسات نمک‌زدایی و استفاده از انرژی خورشیدی (شرایط سال ۲۰۰۷)**

معیارهای اقتصادی	واحد	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای	تمرکز خورشیدی و اسمز معکوس	تمرکز خورشیدی و تقطیر چند مرحله‌ای
مصرف سالانه انرژی حرارتی	گیگاوات ساعت در سال	۷۰۴/۹	۶۵۱/۲	۷۰۴/۹	۶۵۱/۲	۷۰۴/۹	۶۵۱/۲	۷۰۴/۹	۶۵۱/۲
مصرف سالانه سوخت	گیگاوات ساعت در سال	۵۷۱/۰	۵۲۷/۴	۴۳۷/۱	۴۰۳/۷	۳۰۳/۱	۲۸۰/۰	۱۶۹/۲	۱۵۶/۳
انرژی حرارتی خورشید	گیگاوات ساعت در سال	۱۳۳/۹	۱۲۳/۷	۲۶۷/۹	۲۴۷/۴	۴۰۱/۸	۳۷۱/۲	۵۳۵/۸	۴۹۴/۹
هزینه سوخت دراز مدت	یورو در مگاوات ساعت	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
هزینه سالانه کارخانه	میلیون یورو در سال	۲۲/۴۹	۲۱/۷۶	۲۲/۵۹	۲۱/۹۰	۲۳/۳۳	۲۲/۶۸	۲۴/۷۰	۲۴/۱۰
هزینه سالانه سرمایه‌گذاری‌ها	میلیون یورو در سال	۵/۴۲	۶/۰۳	۷/۸۵	۸/۳۰	۱۰/۷۲	۱۱/۰۲	۱۴/۰۴	۱۴/۱۹
هزینه بهره‌برداری و نگهداری	میلیون یورو در سال	۱/۵۳	۱/۷۰	۲/۲۱	۲/۳۴	۳/۰۲	۳/۱۱	۳/۹۶	۴/۰۰
هزینه تعویض ممبران‌ها	میلیون یورو در سال	۰/۵۰	-	۰/۵۰	-	۰/۵۰	-	۰/۵۰	-
هزینه بیمه سالانه	میلیون یورو در سال	۰/۷۶	۰/۸۵	۱/۱۱	۱/۱۷	۱/۵۱	۱/۵۵	۱/۹۸	۲/۰۰
هزینه سوخت	میلیون یورو در سال	۱۴/۲۸	۱۳/۱۹	۱۰/۹۳	۱۰/۰۹	۷/۵۸	۷/۰۰	۴/۲۳	۳/۹۱
قیمت فروش برق	یورو بر کیلووات ساعت	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۰
در آمد فروش برق	میلیون یورو در سال	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵	۱۰/۹۵
قیمت آب	یورو بر مترمکعب	۱/۵۵	۱/۴۵	۱/۵۶	۱/۴۷	۱/۶۶	۱/۵۸	۱/۸۵	۱/۷۷
مطالعات بالا که در جدول شماره ۹-۵ و برای سال ۲۰۰۷ خلاصه شده است، برای سال ۲۰۲۰ نیز تکرار گردید و قیمت نهایی آب عبارت است از:									
قیمت آب سال ۲۰۲۰	یورو بر مترمکعب	۱/۴۲	۱/۲۴	۱/۰۹	۰/۹۴	۰/۶۶	۰/۵۵	۰/۲۶	۰/۱۹

سلولهای خورشیدی از نور مستقیم و غیرمستقیم بهره می گیرند در حالی که تاسیسات تمرکز حرارتی تنها از تابش مستقیم استفاده می کنند. در نتیجه تاسیسات سلول‌های خورشیدی نیازی به تجهیزات ردیابی خورشید ندارند و به همین دلیل شرایط جغرافیایی روی عملکرد آنها موثر است.

ضریب تولید: ضریب تولید عبارت است از تناسب بین میزان انرژی واقعی تولید شده به پتانسیل میزان تولیدپذیر یا میزان تولید اسمی تاسیسات. برای مثال اگر تاسیساتی در تمام روزهای سال با ظرفیت اسمی خود تولید برق کند، ضریب ظرفیت و یا تولید آن ۱۰۰ درصد است.

چون تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی و سلول های خورشیدی در روزهای ابری و در عصرها و شرایطی که میزان تابش کاهش می یابد در حد اسمی خود نمی توانند برق تولید کنند ضریب تولید آنها کمتر از ۱۰۰ درصد است. با تجهیز مناسبتر تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی می‌توان ضریب تولید آنها را بالا برد. به هر حال این ضریب برای تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی حدود ۲۰ درصد است که با پیشبینی تاسیسات ذخیره انرژی حرارتی، معادل ۶ ساعت این ضریب به ۴۰ درصد افزایش می یابد.

ضریب ظرفیت سلول‌های خورشید در بعضی از نقاط آمریکا ۱۴ تا ۲۴ درصد گزارش شده است. علاوه بر میزان تابش خورشیدی و ضریب ظرفیت تاسیسات، مقدار برق تولیدی توسط سلول‌های خورشیدی به خصوصیات زیر بستگی دارد:

- نوع و یا جنس مواد ساخت سلول و بازده آن
- بازده مدول
- بازده تاسیسات
- درجه اعتماد به مدول
- بهره‌برداری و نگهداری

که از گفتگو درباره آنها خودداری می‌شود زیرا مقوله‌ای است خارج از حوزه مورد توجه این فصل از کتاب اما در مورد بهره‌برداری و نگهداری و روند تغییر هزینه‌های تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی گفتگو خواهد شد.

جدول شماره ۹-۶: **توزیع نسبی هزینه های تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشید**

بخش‌های اساسی	درصد هزینه	بخش‌های اساسی	درصد هزینه
۱. زمین	۲	۷. ابزار دقیق	۳
۲. شالوده و پی	۴	۸. کابل کشی‌ها	۲
۳. پمپ‌ها	۳	۹. لوله کشی‌ها	۲
۴. آیینه‌ها	۱۰	۱۰. ذخیره	۸
۵. سازه‌ها	۱۲	۱۱. تولید برق	۲۲
۶. دریافت کننده‌ها	۱۱	۱۲. پیشبینی نشده و متفرقه	۲۱

براساس ارقام سال ۲۰۰۸ هزینه سرمایه گذاری برای تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی در آمریکا، در حدود ۴۰۰۰ دلار برای تولید هر کیلووات ساعت برق می‌باشد چنانکه برای تاسیسات ۶۴ مگاواتی نوادا[1] حدود ۲۶۰ میلیون دلار سرمایه لازم آمد. باید توجه داشت که هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری استفاده از تاسیسات بهره‌وری از انرژی خورشیدی به دلیل بی‌نیازی به انرژی فسیلی بسیار ناچیز خواهد بود.

جدول شماره ۹-۶ توزیع نسبی هزینه های لازم برای تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی با استفاده از صنعت آیینه‌های پارابولیک را نشان می‌دهد. طبق ارقام جدول حدود ۵۰ درصد هزینه‌ها مربوط به تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی است.

تمرکز انرژی خورشیدی برای نمک زدایی آب دریا در مقیاس کوچک

ترکیب تاسیسات نشان داده شده در دیاگرام شماره ۹-۱۱ برای طرح های کوچک در حد ۱۰۰۰ مترمکعب در روز تولید آب از طریق نمک زدایی هم کاربرد دارد. موارد زیادی وجود دارد که حرارت حاصل از تاسیسات آیینه‌های پارابولیک و یا صفحات مسطح فرزنل برای نمک‌زدایی حرارتی به روش تبخیر ناگهانی به طور مستقیم به کار رفته است و یا حتی برای تولید همزمان برق در حد ۱۰ کیلو وات.

1. Nevada (USA)

نکته اساسی در مورد تاسیسات کوچک حاکی از آن است که با کوچکتر شدن تاسیسات هزینه‌ها افزایش می‌یابد و برای ظرفیت‌های کمتر از ۱ مگاوات آیینه‌های پارابولیک متعارف و یا دریافت کننده های مرکزی دارای توجیه اقتصادی نیستند.

در این بخش باید با انرژی باد مورد مقایسه قرار گیرند. به هر حال به طور کلی استفاده از آیینه‌های پارابولیک و صفحات فرزنل برای کار با دمای کمتر گزینه‌های این بخش از طرح‌هاست زیرا نیاز به سرمایه گذاری کم و استفاده از آب گرم با دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتیگراد برای ذخیره انرژی حرارتی هستند.

باید توجه داشت حدود ۳۵ کیلووات ساعت انرژی حرارتی در مترمکعب آب تا حدود دمای ۹۵ درجه سانتیگراد قابل ذخیره شدن است و در نظر داشتن اینکه فرایند تبخیر ناگهانی در حدود دمای ۶۵ درجه سانتیگراد عملی است می توان آب خام دریا را بدین ترتیب گرم کرد و در اوقاتی که حرارت خورشید وجود ندارد فرایند تبخیر و تقطیر را ادامه داد. لذا تغییر میزان انرژی حرارتی خورشید روی استمرار تولید آب دخالت ندارد. از بخش کوچکی از تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشید نیز می توان الکتریسیته لازم تاسیسات تبخیر ناگهانی را تامین کرد.

تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی در جهان

در پایان سال ۲۰۰۸ جمع تاسیسات تمرکز انرژی خورشیدی که تولید برق آنها به شبکه‌های توزیع تحویل شده است دارای ظرفیت حدود ۴۳۰ مگاوات بوده است که حدود ۹۵ درصد آن در بخش های جنوبی ایالات متحد امریکا قرار دارد.

تا ژوئیه سال ۲۰۰۹ ظرفیت جهانی تولید برق این صنعت به ۵۵۰ مگاوات رسید که ناشی از افزایش تولید ۱۲۰ مگاواتی در اسپانیا بوده است که ۱۰۰ مگاوات آن در ۲ واحد ۵۰ مگاواتی توسط صنعت آیینه‌های پارابولیک و یک صنعت ۲۰ مگاواتی توسط برج قدرت بوده است.

از ۵۵۰ مگاوات فوق حدود ۵۱۹ مگاوات آن، معادل ۹۴ درصد کل، توسط تاسیسات آیینه‌های پارابولیک تولید می‌شود و بقیه آن یعنی ۶ درصد معادل ۳۱ مگاوات به وسیلهٔ تاسیسات برج قدرت.

در جدول شماره ۹-۷ کارخانه‌های تمرکز انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۰۸ و در جدول شماره ۹-۸ تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی در دست اجرا نشان داده شده است.

جدول شماره ۹-۷: **تاسیسات نصب شده در جهان**

محل نصب	نوع صنعت	سال نصب	ظرفیت به مگاوات
کالیفرنیا- امریکا	آیینه‌های پارابولیک	۱۹۹۱-۱۹۸۵	۳۵۴
آریزونا- امریکا	آیینه‌های پارابولیک	۲۰۰۵	۱
نوادا- امریکا	آیینه‌های پارابولیک	۲۰۰۷	۶۴
اسپانیا	برج قدرت	۲۰۰۷	۱۱
اسپانیا	آیینه‌های پارابولیک	۲۰۰۹	۵۰
اسپانیا	آیینه‌های پارابولیک	۲۰۰۹	۵۰
اسپانیا	برج قدرت	۲۰۰۹	۲۰

جدول شماره ۹-۸: **تاسیسات در دست اجرا در جهان**

نام کشور	نوع صنعت	ظرفیت به مگاوات
الجزایر	آیینه‌های پارابولیک	۴۳
استرالیا	آیینه‌های فرزنل	۱
چین	آیینه‌های پارابولیک	۵۰
مصر	برج قدرت	۳۱
مکزیک	آیینه‌های پارابولیک	۲۹
مراکش	آیینه‌های پارابولیک	۳۰
اسپانیا	آیینه‌های پارابولیک	۳۵۰
اسپانیا	برج قدرت	۳۷
جمع		۵۷۱

طبق گزارش اداره انرژی آمریکا که در سال ۲۰۰۸ منتشر شد در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ مجموع سرمایه گذاری‌ها برای استفاده از انرژی خورشیدی در جهان ۳۹،۰۰۰ میلیون دلار بوده است که تنها در سال ۲۰۰۸ رقم ۱۶،۰۰۰ میلیون دلار را نشان می‌دهد.

این سرمایه گذاری در آمریکا عبارت است از حدود ۹۳۰۰ میلیون دلار که ۲۳ درصد سرمایه‌گذاری جهانی است. در جدول شماره ۹-۹ پروژه های صنعت تمرکز انرژی حرارتی خورشیدی را که تا سال ۲۰۱۵ قرار است در کشورها به اجرا در آید نشان داده شده است که گویای یک عزم جهانی برای استفاده از این انرژی پاک است.

جدول شماره ۹-۹: **پروژه‌هایی که قرار است تا سال ۲۰۱۵ به اجرا برسد**

نام کشور	ظرفیت - گیگاوات	نام کشور	ظرفیت - گیگاوات
امریکا	۶/۵	یونان	۰/۰۶۳
اسپانیا	۴/۲	مکزیک	۰/۰۵۲
هند	۰/۴۶	عمان	۰/۰۵۰
اردن	۰/۴	مصر	۰/۰۳
اسرائیل	۰/۴	الجزایر	۰/۰۲۵
ایتالیا	۰/۱۱	مراکش	۰/۰۲
چین	۰/۱	فرانسه	۰/۰۲
امارات متحده عربی	۰/۱	شیلی	۰/۰۱
استرالیا	۰/۰۸۳	**جمع**	**۱۲/۶۲۳**

و سهم کشورها در این سرمایه‌گذاری‌ها برای آمریکا، اسپانیا و بقیه جهان به ترتیب عبارت است از ۵۱، ۳۳ و ۱۶ درصد.

سازندگان تاسیسات این صنعت

عناصر اصلی تاسیسات تمرکز انرژی حرارتی خورشید برای تولید برق و گرما عبارت است از آیینه‌های منعکس و متمرکز کننده انوار خورشیدی، لوله‌ها و سیال دریافت و ذخیره انرژی حرارتی و توربین‌ها و مولدهای برق.

سازندگان تاسیسات این صنعت در امریکا

در جدول شماره ۹-۱۰ شرکت های سازنده این نوع تاسیسات در امریکا ارائه شده است. در طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷ مجموع آیینه‌های این صنعت که در امریکا ساخته شده است از سقف ۴۰۰ هزار متر مربع تجاوز کرده است.

از بزرگترین تاسیسات این صنعت که در نوادا قرار دارد شامل ۷۶۰ منعکس کننده نور است که در آنها ۲۱۹،۰۰۰ قطعه آیینه نصب شده است.

هدف از نوشتن فصل نهم تنها معرفی صنعت و گذشته آن و آینده‌ای است که جهان برای آن برنامه‌ریزی کرده است.

جدول شماره ۹-۱۰: **سازندگان تاسیسات در آمریکا**

منعکس کننده	دریافت کننده	توربین
3M	Schott Solar System	ABB
Alanod	Solel	Alston
Flubeg		GE-Thermodyn
PPG ind		Man Turbo
Reflectech		ORMAT
R10 glass		Siemens

امید است که به موازات رشد علم و صنعت نمک‌زدایی از آب های لب شور و شور در کشور، علم و صنعت بهره‌برداری از انرژی حرارتی خورشیدی هم توسعه پیدا کند. در حقیقت استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای تولید برق یک ضرورت است اما نمک‌زدایی از آب‌های لب شور و شور برای تولید آب متعارف با شرایطی ممکن است دارای توجیه گردد.

مراجع

1. Desalination: A National Perspective, Committee on Advancing Desalination Technology, National Research Council, National Academies Press, 2008.
2. Desalting Handbook for Planners, United States Department of Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center, 3rd edition, July 2003.
3. American Water Works Association, Water Treatment Plant Design, American Society of Civil Engineers, Forth Edition, 2005.
4. Ray K. Linsley, Joseph B. Frazini, Water Resources Engineering, McGraw-Hill Book Company, 1969.
5. Ernest W. Steel, Water Supply and Sewerage, McGraw- Hill Book Company, 1960.
6. Guideline for Water Reuse, U.S. Environmental Protection Agency, September 2004.
7. Gary Amy and Maria Kennedy, Low Pressure Membranes, UNESCO-IHE, Institute for Water Education, Tehran- Delft, 1387.
8. Jennifer Baismert and Laura Bloodgood, Private Sector Participation in the Water and Wastewater Services Industry, Office of Industries Working Paper, U.S. International Trade Commission, April 2009.
9. R.L. Stover, Low Energy Consumption SWRO, Energy Recovery Inc. San. Leando California U.S.A., stover@engergy-recovery.com
10. Desalination for Safe Water Supply, Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination, Public Health and Environment, World Health Organization, Geneva 2007.
11. Guidelines for Performance- Based Contracts Between Municipalities and Water Utilities in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia (EECCA).
12. IDA Desalination Year Book, 2008-2009, IDA, GWI, Desal Data.
13. Concentrating Solar Power for Seawater Desalination, Final Edition, German Aerospace Center (DLR), Institute of Technical Thermodynamics, Section Systems Analysis and Technology Assessment, 2007.
14. Al Gore, Our Choice A Plan to Solve the Climate Crisis Melcher Media, 2004.
15. Desalination Technology, Health and Environment Impacts, IWA Publishing, CRC Press, 2010.
16. L.Douglas James and Robert R.Lee, Economics of Water Resources Planning, McGraw-Hill Co, 1971.
17. American Water Works Association, Water Treatment Membrane Processes, McGraw-Hill

۱۶. معاونت تحقیقات و منابع انسانی وزارت نیرو، دفتر فناوری اطلاعات، گزارش عملکرد ۳۰ ساله بخش آب، بهمن ۱۳۸۷

۱۷. دکتر محمد حسن سبط و مهندس سهیل شایق، BOT (ساخت- بهره برداری- انتقال) و کاربرد آن در قراردادهای زیربنایی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، سال ۱۳۸۵.

۱۸. ادوارد کوئیز- اقتصاد طرح های منابع آب، ترجمه مهندس فرهنگ فحام زاده، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۴۴۱ سال ۱۳۵۳.