

# راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه خانه آب

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو

# راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه خانه آب

نشریه شماره ۱۷۷

معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها  
راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه خانه آب/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین  
معیارها، [با همکاری] وزارت نیرو، [طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور]- تهران: سازمان برنامه و  
بودجه، مرکز مدارک اقتصادی- اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۷.  
۲۰۴ ص: مصور- (سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۱۷۷) انتشارات  
سازمان برنامه و بودجه؛ ۷۷/۰۰/۳۹

ISBN 964-425-085-0

مربوط به بخشنامه ۱۵۵۱/۵۴-۱۶۷۸/۱۰۲ مورخ ۱۳۷۷/۴/۱۰

آب - تصفیه - ابزار و وسایل - نگهداری و تعمیر ۲. تاسیسات - حفاظت. ۳. آب - تصفیه - استانداردها.  
۴. آب - مهندسی - استانداردها. الف. ایران. وزارت نیرو. طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.  
ب. سازمان برنامه و بودجه. مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

ش. ۱۷۷ / س ۳۶۸ TA

ISBN 964-425-085-0

شابک ۰-۰۸۵-۴۲۵-۹۶۴

راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه خانه آب

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی- اجتماعی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۷۷

قیمت: ۱۴۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه

دفترترب

تاریخ: .....  
شماره: .....  
پرست: .....

بسمه تعالی

شماره: ۱۰۲/۱۶۷۸۵۴/۱۵۵۱	به: تمامی دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور
تاریخ: ۱۳۷۷/۴/۱۰	
موضوع: راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه‌خانه آب	
<p>به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین‌نامه استانداردهای اجرایی طرحهای عمرانی این دستورالعمل از نوع گروه <b>درم</b> مذکور در ماده هفت آئین‌نامه در <b>یک</b> صفحه صادر می‌گردد.</p> <p>تاریخ مندرج در ماده ۸ آئین‌نامه در مورد این دستورالعمل <b>۱۳۷۷/۸/۱</b> می‌باشد.</p> <p>به پیوست نشریه شماره ۱۷۷ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان "راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه‌خانه آب" ابلاغ می‌گردد.</p> <p>دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور می‌توانند مفاد نشریه مذکور و دستورالعمل‌های مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استناد قرار دهند.</p>	
<p>محمدعلی نجفی معاون رئیس‌جمهور و رئیس سازمان برنامه و بودجه</p>	

کد پستی: ۱۱۴۹۴، آدرس: گمرانی و تهرانبانار

تلفن: ۳۳۶۱

شماره گس: ۲۱۶۱۰۳، فاکس: ۲۱۶۱۰۳، پستی: ۲۱۶۶۴۲

## پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

نظام جدید فنی و اجرائی طرحهای عمرانی کشور (مصوب جلسه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۳ هیأت محترم وزیران) بکارگیری از معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراقبت فوق و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی.
- استفاده از منابع و ماخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها و نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت.
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری ارزشیابی طرحها.
- پرهیز از دوباره کاریها و اتلاف منابع مالی و غیر مالی کشور.
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کننده استاندارد.

ضمن تشکر از اساتید محترم دانشگاه صنعتی اصفهان، آقایان دکتر امیر تائبی هرنندی معاون پژوهشی دانشکده عمران، مهندس سید حسین مرتضوی لیسانس مهندسی مکانیک، دکتر محمد رضا حقیقی‌پوده دکترای مهندسی محیط زیست، دکتر بیژن بینا دکترای مهندسی بهداشت محیط، برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده، در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

دفتر امور فنی و تدوین معیارها

تابستان ۱۳۷۷

## ترکیب اعضای کمیته طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور

این استاندارد با مشارکت اعضای کمیته فنی شماره ۵-۳ (بهره برداری و نگهداری از تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب) تهیه شده که اسامی ایشان به شرح زیر است:

دکترای مهندسی عمران (آب و فاضلاب)	کارشناس آزاد	آقای پرویز ثمر
لیسانس مهندسی مکانیک	شرکت آب و فاضلاب استان تهران	آقای عباس حاج حریری
لیسانس مهندسی شیمی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	خانم مینا زمانی
دکترای مکانیک	مهندسین مشاور باز آب	آقای عبدالله عسگری
لیسانس مهندسی شیمی	کارشناس بازنشسته وزارت نیرو	آقای علی فتوحی
فوق لیسانس مهندسی بهسازی	مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب	آقای علی قیصری فر

اصفهان

## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۲	۱- هدف
۲	۲- دامنه کاربرد
۲	۳- فرآیندهای تصفیه آب
۲	۱-۳ تصفیه فیزیکی آب
۳	۲-۳ تصفیه شیمیایی آب
۳	۳-۳ سالم سازی آب
۳	۴- شرح مراحل، تاسیسات تصفیه و کاربرد آنها
۳	۱-۴ پیش تصفیه
۴	۱-۱-۴ آشغالگیری و حذف ماسه
۴	۲-۱-۴ کلرزنی آب خام
۵	۳-۱-۴ پیش ته نشینی
۶	۲-۴ تصفیه اصلی
۶	۱-۲-۴ حذف گازهای همراه آب
۱۴	۲-۲-۴ فرآیندهای انعقاد و لخته بندی
۲۱	۳-۲-۴ ته نشینی شیمیایی
۴۰	۴-۲-۴ صاف سازی
۴۹	۵-۲-۴ روشهای سالم سازی
۴۹	۱-۵-۲-۴ کلر
۷۹	۲-۵-۲-۴ هیپوکلریتها
۸۵	۳-۵-۲-۴ کلرآمینها
۸۸	۴-۵-۲-۴ دی اکسید کلر ( $\text{ClO}_2$ )
۹۴	۵-۵-۲-۴ اوزون
۱۱۰	۶-۵-۲-۴ استفاده از اشعه فرابنفش
۱۱۴	۵- مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی
۱۱۵	۱-۵ کلسیم و منیزیم

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۱۵	۲-۵ آهن و منگنز
۱۲۵	۳-۵ فلزات سنگین
۱۳۷	۴-۵ کلورها
۱۴۰	۵-۵ فلئورورها
۱۴۲	۶-۵ سولفات و سولفورها
۱۴۲	۷-۵ نیتراتها
۱۴۴	۸-۵ تری هالومتانها
۱۴۸	۹-۵ مواد فعال سطحی و پاک کننده‌ها (دترجنتها)
۱۵۵	۱۰-۵ سموم دفع آفات و علف کشها
۱۵۵	۱۱-۵ مواد رادیو اکتیو
۱۵۷	۱۲-۵ سیانور
۶- روشهای حذف مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی	
۱۵۸	۱-۶ سختی زدایی
۱۶۴	۲-۶ جذب سطحی (زغال فعال)
۱۶۷	۳-۶ نمکزدایی
۱۶۸	۱-۳-۶ نمکزدایی آبها با فرآیند گرمایش (تقطیر)
۱۶۹	۲-۳-۶ نمکزدایی آبها در حرارت پایین تر از نقطه جوش
۱۶۹	۳-۳-۶ نمکزدایی به کمک مواد شیمیایی رسوبدهنده
۱۷۰	۴-۳-۶ نمکزدایی با فرآیند تبادل یونی
۱۷۹	۵-۳-۶ نمکزدایی به روش اسمز معکوس
۱۹۳	۶-۳-۶ نمکزدایی با فرآیند الکترو دیالیز
۱۹۶	۷- ایجاد تعادل شیمیایی در آب
۲۰۳	۸- منابع و مآخذ



## مقدمه

مجموعه عملیاتی که به منظور آماده کردن آب برای مصارف مورد نظر اجرا می‌شود. «تصفیه آب» و مجموعه تاسیسات و تجهیزاتی که عملیات تصفیه را در بر می‌گیرد. «تصفیه خانه» نامیده می‌شود. بنابراین برای تهیه آبی مناسب برای شرب و مصارف عمومی شهری یک رشته عملیات در تصفیه خانه آب به مورد اجرا گذارده می‌شود تا آب دریافتی از منابع آب را با کیفیتی قابل قبول در چهارچوب استاندارد «آب آشامیدنی» تحویل نماید.

«آب آشامیدنی» استاندارد، به طور کلی آبی است که بیرنگ، بی بو و با طعم مطبوع و گوارا، که مصرف آن حتی در دراز مدت هم به لحاظ عاری بودن از مواد مضر، ضرری به سلامت مصرف کننده و خسارتی به تجهیزات انتقال، توزیع و مصرف وارد نمی‌آورد.

عملیاتی که در تصفیه خانه آب آشامیدنی در رابطه با تصحیح کیفیت آب اجرا می‌شود، بستگی به کیفیت آب منابعی دارد که برای تامین آب آشامیدنی در نظر گرفته می‌شود و طرح تاسیسات تصفیه خانه نیز با در نظر گرفتن اینکه آب تصفیه شده برای مصرف شرب و مصارف عمومی شهری به کار برده خواهد شد پیش‌بینی می‌شود و تجهیزات و تاسیسات تصفیه خانه نیز براساس طرح مصوب نصب می‌گردد.

منابع آب که به منظور تامین آب آشامیدنی و مصارف عمومی به کار گرفته می‌شوند، شامل:

منابع آبهای سطحی: دریاها و دریاچه‌ها، برکه‌ها، رودخانه‌ها، جویبارها

منابع آبهای زیرزمینی: چاهها، قنات و چشمه‌ها،

است و چه بسا در بعضی از تاسیسات تصفیه آب از یک یا چند منبع مختلف آب دریافت و تصفیه شود. به هر حال اقداماتی که در زمینه تصفیه آب منظور خواهد شد، آب دریافتی از منابع را به آب آشامیدنی تبدیل خواهد کرد و به همین جهت مطالعه کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی منابع مورد نظر تامین آب آشامیدنی، برای ایجاد یک سیستم تصفیه و توزیع آب سالم ضرورت پیدا می‌کند.

## ۱- هدف

هدف از تهیه این «راهنما» رایبه روشهای بهره‌برداری از تاسیسات تصفیه خانه و بالا بردن سطح اطلاعات فنی بهره‌برداران است که در تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی فعالیت دارند.

نظر به اینکه معیارهای تهیه شده در این دستورالعمل به خاطر تنوع تاسیسات، به صورتی است که در برگیرنده نکات عمومی و مشترک است و باید به صورت راهنمای کلی بتواند مورد استفاده متخصصان در رده‌های مختلف قرار گیرد. لازم است که در هر تصفیه‌خانه متخصصان امر با توجه به خطوط کلی ارائه شده در این مجموعه و دستورالعملهای طراح و سازنده تجهیزات تصفیه خانه، دستورالعملهای اجرایی مناسبی را که برای کارکنان بهره‌برداری و نگهداری قابل استفاده باشد، تهیه و به آنان ابلاغ و براساس برنامه‌ریزی‌های مناسب بر حسن اجرای کارها نظارت کنند.

## ۲- دامنه کاربرد

این دستورالعمل شامل کلیه تاسیساتی است که در تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که مسایل آبگیری و دفع لجن از مسایلی است که در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نیز مطرح است، لذا بحث در این زمینه در بخش بهره‌برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب پیگیری خواهد شد.

## ۳- فرآیندهای تصفیه آب

از نظر کلی تصفیه خانه آب آشامیدنی شامل گروهی از واحدها و تجهیزات زیر خواهند بود که براساس بررسی کیفیت آب که قبلاً انجام شد، ممکن است به کار گرفته شوند.

### ۳-۱ تصفیه فیزیکی آب

هرگونه تصفیه‌ای که در آن به وسیله روشهای فیزیکی عوامل آلودگی از آب حذف شوند، تصفیه فیزیکی آب نامیده می‌شود، از جمله دانه‌گیری، زلال‌سازی، صاف‌سازی و استفاده از اشعه ماورای بنفش در سالم سازی آب را می‌توان نام برد.

### ۲-۳ تصفیه شیمیایی آب

هرگونه تصفیه‌ای که در آن به کمک مواد شیمیایی عوامل آلودگی از آب حذف شوند، تصفیه شیمیایی آب نامیده می‌شود. انعقاد، سختی‌زدایی، کلرزنی و... نمونه‌ای از تصفیه شیمیایی است.

### ۳-۳ سالم سازی آب

هرگونه روش فیزیکی و یا شیمیایی که موجب حذف عوامل بیولوژیکی بیماریزا از آب گردد، روش سالم‌سازی نامیده می‌شود، صاف سازی، کلرزنی، استفاده از اشعه ماورای بنفش و... از این گروه است.

### ۴- شرح مراحل، تاسیسات تصفیه و کاربرد آنها

تجهیزات و تاسیساتی که برای تامین آب آشامیدنی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به کار گرفته می‌شوند، بر حسب نوع منبع متفاوت است و در عملیات تصفیه در بخشهای ذیل کاربرد دارند:

- پیش تصفیه
- تصفیه اصلی
- مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی
- روشهای حذف مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی
- ایجاد تعادل شیمیایی

### ۴-۱ پیش تصفیه

تاسیسات پیش تصفیه برای اجرای یک و یا چند رشته از عملیات زیر که به منظور بهبود کیفیت آب خام ورودی به تاسیسات تصفیه خانه‌های آب طرح شده است، پیش‌بینی می‌گردد. و ممکن است داخل یا خارج از تصفیه‌خانه قرار داشته باشد.

#### الف- آشغالگیری<sup>۱</sup>

در آبیگری از آبهای سطحی شاخ و برگ و الیاف و یا مواد دیگر شناور به وسیله شبکه‌های آشغالگیر از آب جدا می‌شوند. این شبکه‌ها مواد شناوری را که همراه آب است، در خود نگاه می‌دارند و مانع ورود آنها به بخش بعدی تصفیه خانه می‌شوند. آشغالگیر ممکن است در محل ورود آب به تصفیه‌خانه و یا ورود آب به تاسیسات انتقال آب به تصفیه‌خانه نصب شده باشد و در هر حال روزانه حداقل یک بار باید تمیز شود. موادی که روش آشغالگیر جمع می‌شوند، باید بعد از جمع‌آوری از نزدیکی آب دور برده شوند و بهتر است هر چه زودتر از تصفیه‌خانه به خارج حمل گردند.

#### ب- حذف ماسه

این بخش از تاسیسات در برداشت آبهای زیرزمینی در صورتی که چاه و یا چاههای مورد بهره‌برداری ماسه‌دهی داشته باشد، نصب می‌شود تا ماسه و نرمه ماسه را قبل از ورود آب به بخشهای دیگر تصفیه حذف کرده باشند، دستگاهی که معمولاً به کار برده می‌شود، به نام «سیکلون»<sup>۲</sup> خوانده شده و روزانه حداقل یک مرتبه شیر تخلیه تحتانی را که ماسه جمع‌آوری شده را بیرون می‌دهد باز و بسته می‌کنند. در مورد برداشت از آبهای سطحی از ته‌نشینی ساده برای حذف مواد قابل ته‌نشینی از جمله ماسه و نرمه ماسه استفاده می‌شود.

#### ۴-۱-۲ کلرزنی آب خام

هدف از کلرزنی آب خام، سالم سازی آب ورودی به تاسیسات به منظور اکسیداسیون و حذف نسبی آلاینده‌های آلی مولد بو و طعم نامطلوب، حذف نسبی آلاینده‌های معدنی مولد رنگ مانند: آهن، منگنز، فلزات سنگین و ته‌نشینی آنها در مرحله زلال‌سازی و جلوگیری از رشد بعدی میکرو ارگانیسم‌ها و گیاهان آبی در تاسیسات تصفیه‌خانه است.

کلرزنی آب خام باید در حدی انجام شود که در آب خروجی از فیلترها مقدار کلر آزاد باقیمانده در حدود ۰/۲ تا ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر در زیر صافیها موجود باشد.

در ارتباط با تجهیزات و بهره‌برداری این قسمت، موضوع به طور مشروح در بخش ۴-۲-۵ آمده است.

تبصره: در صورت احتمال ایجاد تری‌هالومتانها و ترکیبات کلره سمی و خطرناک، حتی‌المقدور از کلرزنی آب خام پرهیز گردد و از روشهای توضیح داده شده در بخش تری‌هالومتانها بهره‌گیری شود.

1 - Screening

2 - Cyclon

اصولاً سیستمهای زلال‌ساز از هر نوع مانند: پولساتورها، آکسیلاتورها و ... برای زلال‌سازی آب خام با کدورت مشخصی طراحی می‌شوند. چنانچه کدورت آب خام به بیش از حد طراحی سیستمهای زلال‌ساز برسد، نیاز به پیش‌ته‌نشینی است که این واحد پیش‌ته‌نشینی می‌تواند به صورت ته‌نشینی ساده فیزیکی یا با کمک مواد شیمیایی و فرایندهای زلال‌سازی طراحی گردد.

برای حذف مواد معلق بزرگتر از ۲۰۰ میکرون ته‌نشینی ساده و برای مواد معلق کوچکتر و با وزن مخصوص پایین معمولاً نیاز به ته‌نشینی به کمک مواد شیمیایی منعقد کننده است. حوضهای پیش‌ته‌نشینی ممکن است در محل آبیگری در جوار رودخانه و خارج از تصفیه‌خانه طراحی گردد، در این صورت از نظر دفع مواد شناور و مواد ته‌نشین شده در حوض پیش‌ته‌نشینی مشکلی وجود نخواهد داشت. مواد زاید را که همراه آب رودخانه است و در حوض پیش‌ته‌نشینی ته‌نشین شده است، می‌توان به طریق مقتضی دفع نمود. بدین منظور تعداد دو یا چند واحد حوض پیش‌ته‌نشینی طراحی می‌شود که یک یا چند واحد از آنها در حال بهره‌برداری و بقیه در حال شستشو یا در انتظار راه‌اندازی خواهند بود.

از آب خروجی از سرریز این واحدها که در حال بهره‌برداری است، مرتباً نمونه‌هایی آب، با استفاده از یک شیشه دهن گشاد، برداشت و آزمایش می‌شود، تا هر زمان که نمونه برداشت شده دارای ماسه نرم باشد، حوض در حال بهره‌برداری را از سرویس خارج کنند و به موازات آن یکی از حوضهای آماده بهره‌برداری را در سرویس قرار دهند.

حوضهای پیش‌ته‌نشینی مجهز به دریاچه ورود آب، شیر تخلیه و شیر آب شستشو هستند. حوضهای پیش‌ته‌نشینی ممکن است با مقطع دایره یا مستطیل با ابعاد متناسب طراحی شوند و اگر مستطیل باشند، کف حوض دارای شیب در عکس جهت حرکت آب خواهد بود. چنانچه این نوع حوضها در کنار رودخانه قرار داشته باشند، شیر تخلیه در عمیق‌ترین نقطه حوض قرار می‌گیرد.

اغلب حوضهای پیش‌ته‌نشینی دارای لجن روبر و سیستم تخلیه خودکار لجن هستند. در موقع شروع به بهره‌برداری از یک حوض پیش‌ته‌نشینی، آب را به تدریج در حوض وارد می‌کنند تا حوض به آرامی پر شود. در این حالت دریچه خروج آب از حوض پیش‌ته‌نشینی کاملاً باز می‌شود، برای شستشوی حوض پیش‌ته‌نشینی ابتدا شیر ورود به حوض را بسته و شیر تخلیه را باز می‌کنند، زمانی که سطح آب پایین رفت و گل و لای و ماسه ظاهر شد. شیر آب شستشو را که آب را، از حوضچه آب ته‌نشین شده یا از حوض مجاور که در حال

بهره‌برداری است دریافت می‌کند، باز می‌کنند تا جریان این آب گل و لای و ماسه ته‌نشسته را در امتداد شیب کف حوض به طرف مجرای خروجی براند و از شیر تخلیه خارج سازد. در بعضی از تاسیسات که شن و ماسه و نرمه ماسه همراه آب وارد حوض پیش‌ته‌نشینی می‌گردد، وسایل مکانیکی یا نیروی انسانی برای تخلیه رسوبات حوض پیش‌بینی شده است.

نگهداری ابنیه و شیرآلات و دریچه‌های ورودی آب، طبق راهنمای کلی نگهداری تاسیسات خواهد بود. مدت زمان بهره‌برداری از حوض پیش‌ته‌نشینی بستگی به میزان مواد معلق و کیفیت آن در آب خام دارد؛ زیرا به لحاظ جلوگیری از بروز مشکلات احتمالی بیولوژیکی و پر شدن لجن لازم است حوضها به تناوب برای شستشو از سرویس خارج شوند. این حوضها نیز با اشکال مختلف با مقاطع مستطیل و دایره طراحی می‌شوند و در هر حال وسیله لجن‌روبی و تغلیظ مواد معلق، به منظور کاهش میزان اتلاف آب در طرح پیش‌بینی می‌گردد. بهره‌برداری از حوض پیش‌ته‌نشینی چه با استفاده از عوامل انعقاد و چه بدون استفاده از آنها (ساده) طبق دستورالعمل و راهنمای بهره‌برداری تاسیسات تصفیه‌خانه خواهد بود که از طرف طراح یا سازنده تاسیسات تصفیه‌خانه ارائه می‌شود. (در بخشهای ۲-۲-۴ و ۳-۲-۴ در خصوص مکانیزمهای انعقاد، لخته‌بندی و ته‌نشینی به تفصیل توضیح داده شده است).

تجهیزاتی که در این گونه حوضها، معمولاً وجود دارد؛ عبارتند از:

- تاسیسات ورود و توزیع آب خام
- تاسیسات جمع‌آوری، تغلیظ و دفع لجن مازاد
- تاسیسات جمع‌آوری و انتقال آب ته‌نشین شده

## ۲-۴ تصفیه اصلی

منظور از تصفیه اصلی بهره‌گیری از فرایندهایی است که می‌تواند کیفیت آب خروجی از پیش‌ته‌نشینها و یا آب خام را در حد استانداردهای آب شرب ارتقا بخشد.

### ۱-۲-۴ حذف گازهای همراه آب

#### ۱-۱-۲-۴ مقدمه و تعاریف

اغلب گازهای طبیعی مانند: اکسیژن، دی اکسید کربن، آمونیاک، متان و سولفید هیدروژن در آب حل شده و در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب موثر واقع می‌شوند. هر کدام از این گازها با توجه به منشاء آب، آلوده‌کننده‌های آن و فرآیند تصفیه آب ممکن است وارد آب شده باشند. اکسیژن و ازت که به ترتیب ۲۱ و ۷۹ درصد از هوا را

تشکیل می‌دهند به تبعیت از قانون هانری در آبهای طبیعی و بخصوص آبهای سطحی به صورت بطئی حل می‌گردند؛ ولی با آب ترکیب نخواهند شد. چنانچه سطح تماس آب با هوا بر اثر تلاطم افزایش یابد، حل شدن این گازها در آب تشدید می‌گردد. گازهای  $\text{CO}_2$  و  $\text{NH}_3$  در اثر واکنش شیمیایی که بین آب و گاز صورت می‌گیرد، با آب ترکیب و در کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب موثر واقع می‌شوند. گاز متان ( $\text{CH}_4$ ) یا گاز مرداب در آب غیر محلول است و با آب ترکیب نمی‌شود. این گاز که حاصل فعالیتهای بیولوژیکی بی‌هوازی در لجن ته‌نشسته است، به تدریج از آب خارج و در بعضی از آبهای زیرزمینی نزدیک به مناطق مردابی نیز دیده می‌شود.

گاز کربنیک در آبهای زیرزمینی بیشتر و تا غلظت  $1700$  میلی‌گرم بر لیتر می‌تواند وجود داشته باشد. این گاز از یک طرف حاصل فعالیتهای حیاتی نباتات و حیوانات است و نیز از سوختن مواد آلی تولید و پس از پراکنده شدن در فضا با هوا مخلوط می‌گردد و به تبعیت از قانون هانری در آبهای سطحی حل می‌شود. از طرف دیگر این گاز محصول فعالیتهای حیاتی ارگانیسم‌ها و گیاهان کلروفیل‌دار آبی است که در داخل آب با استفاده از گاز کربنیک محلول و یا کربناتها و بیکربناتها با پدیده فتوسنتز مواد نشاسته‌ای مورد نیاز رشد و زندگی خود را تامین می‌کنند و در طول روز که آفتاب محیط آب را روشن نگه می‌دارد در مقابل دریافت گاز کربنیک، اکسیژن در آب رها می‌سازد و از این بابت اکسیژن محلول آب به حد فوق اشباع هم خواهد رسید و در تاریکی گاز اکسیژن (اکسیژن مولکولی) موجود در آب را مصرف می‌کند و گاز کربنیک در آب رها می‌سازد و بدین ترتیب تامین زندگی این موجودات در آب موقوف به این است که شرایط محیط در جهت تعادل اکسیژن حل شده و تولید شده در اثر فتوسنتز، با نیازمندیهای موجود در محیط تطبیق کند و گرنه بر اثر فراوانی مواد مغذی این گونه موجودات در آب و شکوفایی محیط برای زندگی آنها، تولید و تکثیر ارگانیسم‌ها که تشدید شده است، بر اثر کمبود اکسیژن محیط به تدریج یا دفعتی متوقف خواهد شد و ادامه کمبود اکسیژن سبب خواهد شد که فعالیت ارگانیسم‌های بی‌هوازی در جهت گازهای بد بود مانند: گاز سولفید هیدروژن، متان، آمونیاک و انواع گازهای آلی بودار، محیط آب به گنداب تبدیل شود.

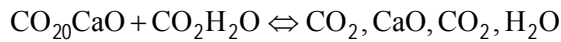
گاز کربنیک مهمترین گاز موثر در کیفیت آب است و این گاز ضمن انحلال در آب با آن ترکیب شده و واکنش شیمیایی منجر به تولید اسید کربنیک می‌گردد که در شرایط دمای محیط و pH آب نتیجه واکنشهای شیمیایی به صورتهای زیر در آب مشاهده می‌شود:

الف- انحلال گاز کربنیک در آب تولید  $\text{H}_2\text{CO}_3$  می‌نماید که می‌توان نوشت:  $\text{CO}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$

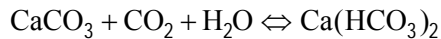
ب- بیکربنات کلسیم دارای ریشه بیکربنات است:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  یا  $\text{CO}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O}$ ،  $\text{CaO}$  و  $\text{CO}_2$

ج- کربنات کلسیم دارای ریشه کربناتها است:  $\text{CaCO}_3$  یا  $\text{CaO}$ ،  $\text{CO}_2$

با توجه به اینکه یون کلسیم از مهمترین ماده موجود در آبهای طبیعی است، حصول تعادل بین کربنات کلسیم که در آب کم محلول و بیکربنات کلسیم که در آب حل شده و گاز کربنیک موجود در محیط ماکول به این است که عوامل سه گانه فوق طبق رابطه شیمیایی زیر در حال تعادل باشند:



یعنی:



بنابراین گاز کربنیک را به چهار صورت در آب مشاهده می‌کنیم:

- گاز کربنیک کربناتها
- گاز کربنیک متعلق به بیکربناتها
- گاز کربنیک مورد نیاز برای تعادل کربناتی آب
- گاز کربنیک آزاد

گاز آمونیاک در آبهای سطحی بخصوص آنهایی که در تماس با فاضلابهای صنعتی و بهداشتی و همچنین پساب حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلابهاست، یافت می‌شود. گاز سولفید هیدروژن که عمدتاً بر اثر تجزیه بی‌هوازی بعضی از ترکیبات آلی و معدنی حاصل می‌شود، در بعضی از آبهای زیرزمینی که خاک آن مناطق حاوی مواد آلی و معدنی بخصوصی است وجود دارد. این گاز همچنین می‌تواند از پیوستن فاضلابهای گندیده و برخی از پسابها به آبهای سطحی و زیرزمینی وارد آنها شود.

#### ۴-۲-۱-۲ مشکلات ناشی از انحلال گازها در آب

گازهای محلول در آب ممکن است مستقیم یا غیر مستقیم مزاحمتهایی به شرح زیر به وجود آورند که در این صورت حذف آنها ضروری به نظر می‌رسد:

#### الف- ایجاد بو و طعم

بو و مزه در آبها معمولاً همراه یکدیگرند و عمدتاً از تجزیه و فساد مواد آلی حاصل می‌شوند. وجود سولفید هیدروژن، کلر، فنل و آمونیاک به آب بوی ناخوشایند می‌دهند. سولفید هیدروژن بوی تخم مرغ گندیده ایجاد می‌کند که در غلظتهای کم هم مشخص است. کلر علاوه بر آنکه بوی خاص خودش را دارد، با بعضی از ناخالصیهای آب مانند: فنل ترکیب شده و ایجاد کلرو فنل می‌کند که بوزاست.



### ب- خوردگی

تعداد زیادی از گازهای محلول از طرق مختلف (اکسیداسیون، ترکیب و...) اثر خوردگی در آب ایجاد می کنند و در تاسیسات مختلف تصفیه خانه های آب، فاضلاب و لوله های جمع آوری فاضلاب و توزیع آب موثر واقع شده و ایجاد اشکال می کنند. نقش اکسیژن و گاز کربنیک در خوردگی فلز آهن و سولفید هیدروژن برای بتن اهمیت بیشتری دارد. آمونیاک در pH بالاتر از ۹ باعث خوردگی وسایل مسی و برنجی می شود.

### ج- ایجاد رسوب

از واکنش بعضی گازهای محلول با فلز آهن رسوبی تولید می شود که به نوبه خود مشکل ایجاد می کند. اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) ضمن اینکه غیر محلول است و پیشرفت خوردگی را باعث می گردد، رنگ آب را نیز تغییر می دهد. رسوب سولفور آهن که بر اثر ترکیب سولفید هیدروژن با آهن حاصل می گردد باعث ضایع شدن رزینهای تعویض یونی می شود.

به غیر از آنچه که مختصراً توضیح داده شد، آثار مخرب دیگری من جمله اثر کلر روی رزینهای تعویض یونی نیز وجود دارد و حداکثر مقدار کلر باقیمانده آزاد موثر که در آب ورودی به دستگاههای سختی گیر می تواند مورد قبول باشد ۰/۵ میلیگرم بر لیتر است.

### ۴-۲-۱-۳ حذف گازهای مزاحم در آب

انحلال هر گازی در یک مایع توسط قانون هنری بیان می گردد. طبق این قانون میزان حلالیت هر گازی در داخل یک مایع بستگی به فشار جزیی آن گاز در اتمسفر مجاور آب دارد:

$$C_T = KP$$

$$C_T = \text{غلظت گاز در محلول}$$

$$P = \text{فشار گاز در بالای محلول}$$

$$K = \text{ثابت هنری}$$

برای مثال: در صورتی که فشار جزیی اکسیژن ۰/۲ اتمسفر باشد، میزان انحلال آن در آب برابر ۸ میلیگرم بر لیتر است و در صورتی که فشار جزیی آن ۰/۱ اتمسفر باشد، این مقدار به ۴ میلیگرم بر لیتر کاهش پیدا خواهد کرد. براساس قانون هنری می توان با کاهش فشار جزیی گاز مورد نظر را در هوا آن را از محلول حذف نمود. این کار را می توان با ایجاد خلاء انجام داد و یا فضای مجاور سطح آب را با وارد کردن گاز دلخواه آن چنان تغییر داد تا گاز مزاحم از سیستم خارج و گاز دیگری جایگزین گردد. باید گفت که برخی از گازها به علت یونیزه شدن از قانون هنری تبعیت نمی کنند. به مثالهای زیر توجه شود:



حذف این گازها را می‌توان به طور کامل از طریق هوادهی و ایجاد یون مشترک به کمک اسید و سود سوزآور انجام داد.

#### ۴-۱-۲-۴ روشهای حذف گازها از آب

معمولاً برای حذف گازها از دو روش فیزیکی (مکانیکی) و شیمیایی استفاده می‌شود. در تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی روش شیمیایی استفاده نمی‌شود و فقط بعضی روشهای مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولترین کاری که انجام می‌گیرد، هوادهی آب است. این کار برای تهیه آبهای صنعتی همراه با گرما و ایجاد خلاء انجام‌پذیر است، ولی برای تهیه آب شرب از روش معمولی استفاده می‌شود. غلظت نهایی اکسیژن، دی اکسید کربن باقیمانده به غلظت اولیه آنها و نیز روش گاز زدایی بستگی دارد.

#### ۴-۱-۲-۴-۱ هوادهی<sup>۱</sup>

روشی است که به وسیله آن آب در تماس به هوای تحت فشار جو و یا کمتر و یا بیشتر از جو به منظورهای زیر قرار می‌گیرد و کیفیت آن از لحاظ حذف بو، طعم و خورندگی اصلاح می‌شود.

- کاهش  $\text{H}_2\text{S}$  و سایر گازها و مواد فرار و قابل اسیداسیون که ایجاد طعم و بو و رنگ و یا خورندگی نامطبوع در آب می‌کنند و به راحتی با هوادهی از آب جدا می‌شوند.

- کاهش گازهایی نظیر: دی اکسیدکربن و سولفید هیدروژن که باعث افزایش خاصیت خورندگی آب می‌شوند. باید گفت گرچه اکسیژن نیز باعث افزایش خاصیت خورندگی آب می‌شود، لیکن با هوادهی معمولی غلظت آن در آب کاهش پیدا نمی‌کند و در مواردی افزایش می‌یابد.

- کاهش گازهایی که در افزایش مصرف مواد شیمیایی برای تصفیه یا تعدیل املاح آب دخالت می‌نمایند؛ مانند دی اکسید کربن در گرفتن سختی آب با آهک و سولفید هیدروژن در کلرینه کردن آب.

در صورتی که به قدر کافی اکسیژن محلول نداشته باشد با هوادهی میزان آن افزایش می‌یابد و در نتیجه:

الف- طعم و بوی آن اصلاح می‌شود.

ب- اکسیژن از فعالیت بی‌هوازی میکرو ارگانیسمها جلوگیری می‌کند و بالتجیه تولید گازهایی مانند: اکسید دو کربن و یا سولفید هیدروژن و آمونیاک کاهش پیدا می‌کند، pH آب تعدیل می‌شود و از خوردگی جلوگیری می‌گردد.

ج- آهن و منگنز و آمونیاک و برخی از مواد آلی آب اکسیده می‌شوند.

از اهداف فوق‌الذکر که برای هوادهی گفته شد، کاهش گاز کربنیک، آهن و منگنز از مهمترین و متداولترین آنهاست. از جمله عوامل موثر در هوادهی غیر از آنچه که قبلاً گفته شد، می‌توان به مدت هوادهی و تناسب  $\left(\frac{A}{V}\right)$  اشاره کرد (A سطح تماس و V حجم آب حامل گاز) که بدین ترتیب در زمان هوادهی موقعی که آب به قطره‌های ریز تبدیل می‌شود. هر چه قطره کوچکتر باشد، سطح تماس بیشتر می‌شود و سودمندی هوادهی افزایش می‌یابد.

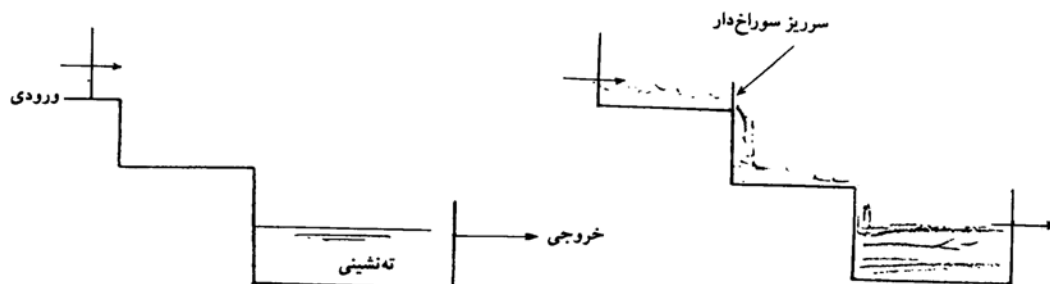
#### ۲-۴-۱-۲-۴ روشهای مختلف هوادهی

در تمام روشهای هوادهی آب آشامیدنی، که در زیر توضیح داده می‌شود بیشتر دو عامل مدت هوادهی و تناسب  $\left(\frac{A}{V}\right)$  مد نظر و تحت کنترل است. هوادهی معمولاً به دو روش به حرکت در آوردن آب و تزریق هوا به داخل آب انجام می‌پذیرد و براساس شرایط موجود باید روش آن انتخاب گردد.

#### الف- هوادهی با به حرکت در آوردن آب

##### • هوادهی آبشاری پله‌ای<sup>۱</sup>

در این روش هوادهی از پله‌هایی که از مصالح بنایی مخصوصاً بتن با ارتفاع ۱-۳ متر استفاده می‌شود. روی پله‌ها بندهایی وجود دارند که با جریان یافتن آب روی پله‌ها در سطح وسیعی با هوا تماس می‌یابند و مرتباً لایه سطحی آب شکسته شده و تماس با هوا بیشتر می‌شود شکل (۱-۴). ممکن است سرریزها را به صورت کانال سوراخداری ساخت که آب از این سوراخها ریزش کند. در این شرایط سودمندی برای کاهش CO<sub>2</sub> از ۲۰ تا ۶۰+ درصد است.



شکل ۱-۴- روش هوادهی آبشاری پله‌ای

### • هوادهی پاششی<sup>۱</sup>

در این روش که از تعدادی لوله سوراخدار تشکیل شده است، آب با فشار وارد لوله می‌شود و از طریق نازلها به هوا پرتاب و پخش می‌گردد. این روش نیاز به سطح و حجم زیاد دارد و ممکن است از لحاظ اقتصادی قابل توجیه نباشد.

### • هوادهی بشقابی (سینی)<sup>۲</sup>

در این روش هوادهی از تعدادی سینی استفاده می‌گردد که در کف آنها روزنه‌هایی وجود دارد و درون آنها ممکن است از کک، سرامیک و یا پلاستیک پر شده باشد تا هنگام عبور آب از آنها تماس بیشتری با هوا پیدا نماید.

با افزایش تعداد سینی‌ها می‌توان زمان تماس را افزایش داد. سطح مورد نیاز سینی‌ها  $0/7$  تا  $2$  متر مربع برای هر  $1000$  متر مکعب آب در روز است.

### • هوادهی سطحی<sup>۳</sup>

روش دیگر هوادهی که این روزها معمولاً بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و از جهاتی مناسبتر هم است، استفاده از هوادهی‌های سطحی معمولی است که مشخصات آنها همانند هوادهی‌های سطحی تصفیه فاضلاب است و بر روی مخازنی که بر حسب زمان مانند هوادهی طراحی می‌گردند، نصب می‌شوند.

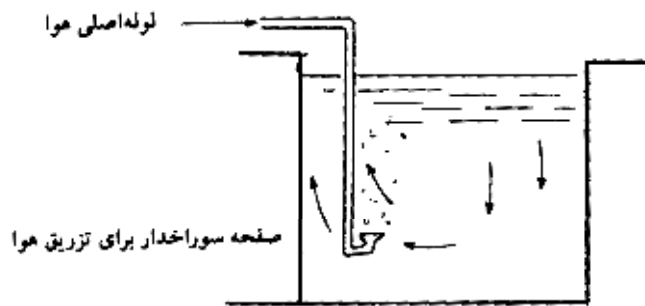
### ب- هوادهی با تزریق هوا<sup>۴</sup>

در این روش هوادهی از یک مخزن بتونی که در نزدیکی کف آن لوله‌های سوراخدار و یا صفحات سوراخدار است، استفاده می‌شود. (شکل ۴-۲) هوا پس از عبور از سوراخها به صورت حبابهای ریز به طرف سطح آب حرکت می‌نمایند. چون در این روش سرعت صعود حبابهای هوا کمتر از سرعت سقوط قطره‌های آب در هوادهی آبشاری است، لذا سودمندی آن بیشتر است. حبابهای هوا در حین بالا آمدن باعث به هم زدن آب می‌شود و مترتب سطح تماس آب و هوا را بیشتر کرده و تبادل انجام می‌گیرد.

زمان ماند در این واحد حدود ۱۵ دقیقه و عمق مورد نظر ۳ تا ۴ متر توصیه شده است، عمق کمتر باعث کاهش سودمندی تبادل گاز می‌گردد.

- 
- 1 - Spray Aeration
  - 2 - Tray Aeration
  - 3 - Surface Aeration
  - 4 - Indepth Aeration (Diffused Air Aeration)

متوسط انرژی لازم برای این نوع هوادهی ۰/۳۳ کیلووات برای هر ۱۰۰۰ متر مکعب آب در روز است. این نوع هوادها از هوادهی های بشقابی سطح کمتر از هوادهی های پاششی سطح بیشتری لازم دارند و بر عکس روشهای نامبرده نیاز به پوشیده بودن واحد نیست و در شرایط یخبندان نیز عمل می کند و از هدر رفتن ارتفاع یا فشار آب جلوگیری می کند.



شکل ۴-۲- روش هوادهی با تزریق هوا

#### ۳-۴-۱-۲-۴ بهره برداری و نگهداری و تعمیرات دستگاههای هوادهی

- بهترین راندمان از این دستگاهها زمانی حاصل می گردد که دستورالعمل شرکت سازنده رعایت شود؛ ولی در هر حال ذکر نکات زیر و رعایت آنها ضروری است.
- در هوادهی های پاششی امکان گرفتگی سوراخها (نازلها) وجود دارد که باید اولاً قطر سوراخها متناسب انتخاب شود و ثانیاً در فواصل زمانی مناسب با توجه به کیفیت آب این سوراخها سرویس و تمیز گردند.
  - سیستمهای هوادهی (مخصوصاً آبخاری) که در محیط باز قرار دارند، مواجه با رشد سریع جلبکهاست که ضمن مسدود کردن سوراخهای منظره نامناسبی نیز ایجاد می نمایند، لذا لازم است با توجه به این امر در مورد تمیز کردن زمانبندی شده سیستم اقدام نمود.
  - اگر واحد هوادهی آبخاری در محیطی قرار داشته باشد که هوا آلوده است و یا در مناطقی که امکان یخبندان وجود دارد، باید به صورت سرپوشیده باشد.
  - در سیستمهای هوادهی عمقی باید قسمتی از تاسیسات که درون آب قرار دارند؛ مانند: لوله ها و صفحات سوراخدار (نازلها) مرتباً کنترل گردند (بخصوص مواقعی که سیستم برای مدتی خارج از بهره برداری بوده است) تا در صورت گرفتگی رفع اشکال گردد.
  - در بهره برداری از هوادها باید دقت شود که میزان اکسیژن محلول در آب زیاد نشود، چه در این صورت خاصیت خوردنگی آب تشدید خواهد شد.

- هوادهای عمقی که به کمک دمنده کار می‌کنند، معمولاً به نگهداری و تعمیرات بیشتری نیاز دارند، لذا توصیه می‌گردد مرتباً تمیزکاری نازلها و فیلتر دمنده انجام گیرد و دمنده نیز در فواصل زمانی مناسب سرویس شود.
- حتی‌الامکان آب ورودی به سیستم باید عاری از مواد معلق باشد تا سبب انسداد نازلها (سوراخها) نگردد.
- سختی و قلیائیت آب ورودی به سیستم نیز نباید در حدی باشد که باعث انسداد نازلها گردد.
- در تصفیه خانه‌هایی که از آهک استفاده می‌شود، هوادهای بهتر است قبل از تزریق آهک به سیستم انجام گیرد.

#### ۴-۲-۲ فرآیندهای انعقاد و لخته‌بندی

چنانچه در بخشهای پیش ذکر گردید، روشهای متعارف تصفیه فیزیکی و شیمیایی آب را: انعقاد، لخته‌بندی، ته‌نشینی، صاف‌سازی و بالاخره گندزدایی تشکیل می‌دهد. انعقاد و لخته‌بندی به تنهایی بخش قابل توجهی از هزینه کلی ساختمان، تاسیسات و بهره‌برداری در مدت زمان طرح را به خود تخصیص می‌دهد. بنابراین جمع‌آوری اطلاعات دقیق در مورد کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب مورد نظر، مقایسه انواع عوامل انعقاد و بالاخره بررسی مسائل کاربردی هر یک، از اقدامات اولیه در انتخاب و طرح روش قابل قبول تصفیه فیزیکی و شیمیایی محسوب می‌شود که چنین امری در جای خود جمع‌آوری و ارزیابی اطلاعات پایه را ناگزیر می‌سازد.

#### ۴-۲-۲-۱ فرآیند انعقاد

روش انعقاد را بی‌ثبات سازی سیستمهای کلوییدی غیر قابل برگشت<sup>۱</sup> و ایجاد لخته‌بندی ذرات معلق قابل ته‌نشینی تشکیل می‌دهد. تعریف سیستمهای کلوییدی مورد بحث و چگونگی تشکیل این سیستمها به مبحث شیمی سطحی مربوط می‌گردد که در غالب کتب و نشریات دانشگاهی در این زمینه موجود و در دسترس است. آنچه مسلم است انعقاد توسط چهار مدل ذیل صورت می‌پذیرد:

- o کاهش و حذف بار الکتریکی سطح کلویدها
- o جذب و خنثی‌سازی بار الکتریکی سطحی
- o دربرگیری ذرات در رسوبات
- o جذب و اتصال ذرات به هم

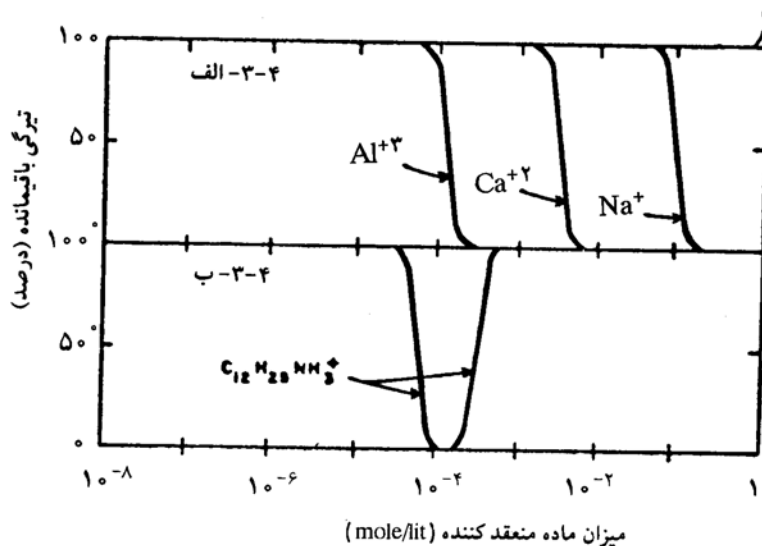
#### ۴-۲-۲-۱-۱ کاهش و حذف بار الکتریکی سطح کلویدها

در این مدل عامل اصلی در انعقاد خنثی شدن بار الکتریکی سطحی کلویدها به وسیله یونهای عوامل انعقاد است. بر این اساس عمل انعقاد صرفاً الکترو استاتیک فرض می‌شود و بر این پایه قدرت عوامل انعقاد با توجه به

---

1 - ThermodynamicAlly Irreversible (Unstable) ColloidAl Systems

بار الکتریکی آنها ارزیابی می‌گردد. در این زمینه شولتز هاردی<sup>۱</sup> را می‌توان نام برد که به عنوان مثال، غلظت  $Na^{+1}$ ،  $Ca^{+2}$ ،  $Al^{+3}$  برای خنثی سازی یک سیستم کلوییدی با بار منفی به ترتیب  $10^3:10^2:1$  ذکر شده است. شکل (۳-۴ الف).



شکل ۳-۴ منحنیهای انعقاد برای برخی از عوامل انعقاد

این مدل طبعاً جوابگوی انعقاد در برخی از سیستمهای کلوییدی طبیعی نیست؛ چرا که عمل انعقاد در این سیستمها منحصرأ به وسیله خنثی سازی بار الکتریکی کلوییدها انجام نمی‌شود؛ بلکه به وسیله سایر فعل و انفعالات فیزیکی شیمیایی ممکن می‌شود.

#### ۲-۱-۲-۲-۴ جذب و خنثی سازی بار الکتریکی سطحی

عامل اصلی در این مدل ترکیبی از تاثیر عوامل انعقاد و کلوییدها، عامل انعقاد و محیط کلوییدی، و بالاخره کلویید و محیط کلوییدی بیان شده است در شکل (۳-۴ ب). در این سیستم کلوییدی آزمایش عملکرد دو دسیل آمونیم<sup>۲</sup> به عنوان عامل انعقاد ترسیم شده است، دو تفاوت اساسی نسبت به یون سدیم شکل (۳-۴ الف) دیده می‌شود. اولاً، میزان عامل انعقاد لازم برای دو دسیل آمونیم برابر با  $6 \times 10^{-5}$  مول بر لیتر و در مورد سدیم  $10^{-1}$  مول بر لیتر به دست آمده، در حالی که بار الکتریکی هر دو عامل انعقاد یک بار مثبت است. ثانیاً سیستم کلوییدی با ازدیاد غلظت عامل انعقاد (دو دسیل آمونیم) از حالت ناپایدار خارج شده، مجدداً تثبیت شده است، در صورتی که تثبیت مجدد سیستم کلوییدی با ازدیاد یون سدیم امکانپذیر نبوده است.

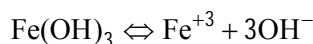
1 - Schultze , Hardy  
2 - Dodecylammonium

باید توجه داشت که علت تثبیت مجدد میل و افریونهای دو دسیل آمونیم برای جمع شدن در سطح ذرات کلوییدی است که نشاندهنده عدم تاثیر عامل انعقاد و محیط کلوییدی و تاثیر شدید عامل انعقاد و کلویدها است.

#### ۴-۲-۱-۳ دربرگیری کلویدها در رسوبات

استفاده از برخی از نمکها مانند: سولفات آلومینیوم و یا کلروفریک به عنوان عوامل انعقاد در صورتی که در غلظتی به کار روند که میزان هیدروکسید آهن و یا آلومینیوم حاصل از انحلال آنها بیش از درجه انحلال هیدروکسیدها باشد. رسوب هیدروکسید آهن و یا آلومینیوم را موجب می‌شود. این رسوبات نه تنها در خنثی‌سازی بار الکتریکی کلویدها نقش مهمی دارند، بلکه موجب در بر گرفتن ذرات کلوییدی و مآلاً ته‌نشین شدن آنها می‌گردند.

برای مثال در مورد کلور فریک تشکیل رسوب هیدروکسید آهن از رابطه ذیل متابعت می‌نماید:



که ضریب حلالیت آن:

$$[\text{Fe}^{+3}][\text{OH}^-]^3 = 10^{-38}$$

خواهد بود.

طبعاً در این سیستم هر چه میزان اشباع شدن محیط کلوییدی از عامل انعقاد بیشتر باشد، تشکیل رسوب سریعتر انجام خواهد پذیرفت، به عبارت دیگر نسبت  $\frac{[\text{Fe}^{+3}][\text{OH}^-]^3}{38}$  درجه اشباع شدن محیط را نشان خواهد داد و با سرعت رسوبگذاری در ارتباط است.

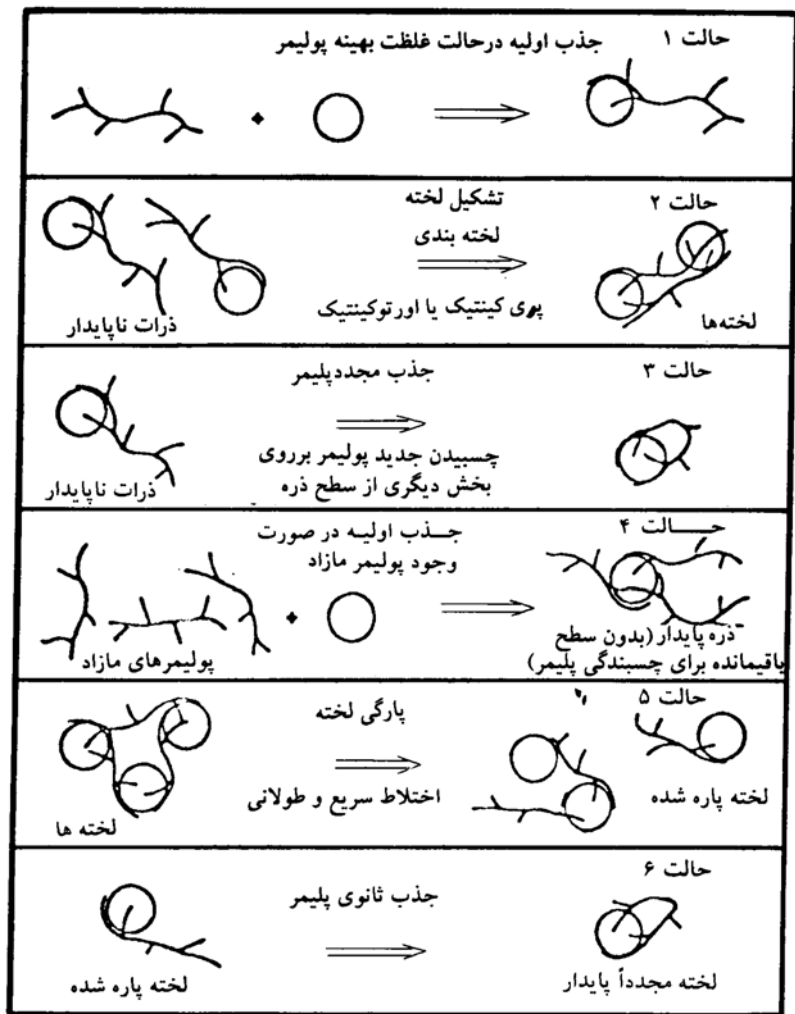
در پاره‌ای از موارد وجود ذرات کلوییدی زیاد به سرعت رسوبگذاری کمک می‌کند و حتی رابطه مستقیمی بین غلظت مواد کلوییدی و مناسبترین غلظت عامل انعقاد برقرار می‌گردد.

#### ۴-۲-۱-۴ جذب و اتصال ذرات به هم

استفاده از برخی پولیمرها به عنوان عامل انعقاد موجب ناپایداری سیستم کلوییدی می‌گردد، بدین شکل که برخی از گروههای عامل در پولیمرها با سطح ذرات کلوییدی فعل و انفعالاتی را موجب می‌شوند و مآلاً بین ذرات پلی از پولیمر به وجود خواهد آمد که در نهایت به هم پیوستگی و لخته‌بندی را سبب می‌شود. مکانیسم پل‌سازی<sup>۱</sup> در شکل ۴-۴ نشان داده شده است.

شایان توجه است که پلیمرهای انیونی علی‌رغم دارا بودن گروههای بار الکتریکی منفی راندمان مناسبتری در لخته‌بندی کلویدهای بار منفی از خود نشان می‌دهند که این راندمان را می‌توان تنها به فعل و انفعال شیمیایی بین گروههای بار الکتریکی منفی پولیمر و ذرات کلوییدی نسبت داد.





شکل ۴-۴ مدل پل سازی در عملکرد پلی الکترولیت ها به عنوان عامل انعقاد

#### ۲-۲-۲-۴ فرآیند لخته بندی

حرکت ذرات ناپایدار و اتصال ذرات به هم و ملاً تشکیل ذرات قابل ته نشینی در عملیات انعقاد اصطلاحاً لخته بندی نامیده می شود. تماس ذرات کلوییدی ناپایدار طی سه مکانیسم انجام می گردد.

الف- بر اثر انرژی حرارتی در درون محیط کلوییدی حرکات ایجاد شده موجب برخورد ذرات به یکدیگر می شوند. این پدیده نیز حرکت براونی<sup>۱</sup> و این طریق لخته بندی پری کیتیک<sup>۲</sup> نامیده می شود.

1 - Brownian Motion  
2 - Perikinetic

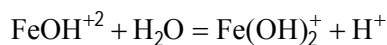
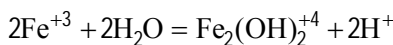
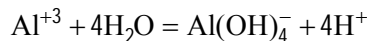
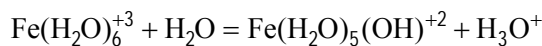


#### ۴-۲-۱-۳ عملکرد فیزیکی و شیمیایی سولفات آلومینیوم (آلوم) و کلرورفریک

در سیستم‌های آبی فلزات به صورت یونی وجود دارند و آلومینیوم  $(Al)^{+3}$  و آهن  $(Fe)^{+3}$  سه ظرفیتی نیز از این قانون کلی مستثنی نیستند. این یونها در محیط‌های آبی به صورت یون آکواتال  $Fe(H_2O)_6^{+3}$  و  $Al(H_2O)_6^{+3}$  وجود دارند که دارای خاصیت اسیدی نیز هستند.

اضافه کردن نمک‌های آلومینیوم و آهن به آب، مونومر، دایمر و پولیمرهایی از مجموعه هیدروکسومتال در کنار یون آکواتال ایجاد خواهد نمود. باید توجه داشت در یونهای آکواتال و هیدروکسومتال به ترتیب مولکول آب و عامل OH به صورت لیگاند عمل می‌کنند.

نحوه تشکیل یونهای نامبرده در فعل و انفعال ذیل خلاصه شده است:



این گونه فعل و انفعال اصطلاحاً فعل و انفعال هیدرولیتیک نامیده می‌شوند.

در واحدهای تصفیه آب معمولاً نمک‌های آلومینیوم و آهن در غلظت‌هایی مافوق حد انحلال هیدروکسید آهن و آلومینیوم به کار می‌روند. در شکل (۴-۵) الف (۴-۵) ب توازن انحلال این نمکها در درجه حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد در آب نشان داده شده است در این وضعیت فعل و انفعالات هیدرولیتیک متعددی از مجموعه‌های هیدروکسو (مانند:  $Al(OH)^{+2}$ ،  $Fe(OH)^{+3}$ ) تا پولیمرهای هیدروکسومتال در کنار رسوب هیدروکسید فلزات رخ می‌دهد.

مجموعه‌های هیدروکسومتال دارای گرایش سطحی‌اند در حالی که یونهای سه ظرفیتی آهن و آلومینیوم فاقد این خاصیت هستند. به همین سبب جذب این گونه ترکیبات ایجاد شده واسط در عمل انعقاد بر روی کلویدهای موجود، نقش با اهمیتی را در خنثی سازی بار الکتریکی کلویدها در عملیات انعقاد ایفا می‌نماید. در pHهایی کمتر از نقطه ایزوالکتریک<sup>۱</sup> هیدروکسید آهن و یا آلومینیوم یا پولیمرهای ایجاد شده دارای بار مثبت خواهند بود و بنابراین جذب آنها بر روی کلویدهای آبهای تیره سبب خنثی سازی بار الکتریکی کلویدهای منفی و ناپایداری سیستم کلوییدی خواهد شد. در pHهایی بیش از نقطه ایزوالکتریک این مکانیسم دقیقاً بعکس خواهد بود.

آنچه شایان توجه است، آنکه در عمل انعقاد با نمک‌های آلومینیوم و آهن سه ظرفیتی پولیمرهای هیدروکسومتال نقش عمده را در خنثی سازی به عهده دارند و نظر به گرایش سطحی این پولیمرها، سیستم کلوییدی بر حسب غلظت این گونه پولیمرها ناپایدار و یا پایدار خواهند گردید.

1 - Isoelectric Point

نمونه‌ای از رابطه کدورت باقیمانده با غلظت عامل انعقاد (نمکهای آلومینیوم و آهن سه ظرفیتی) برای غلظتهای مختلف سیستم کلوییدی در pH ثابت در شکل ۴-۶ الف نشان داده شده است. در این شکل چهار ناحیه مشخص دیده می‌شود.

ناحیه ۱ نشاندهنده استفاده از عامل انعقاد در حد غیر کافی است. در ناحیه ۲ غلظت عامل انعقاد افزایش یافته تا حدی که ناپایداری سیستم کلوییدی ظاهر شده است. در ناحیه ۳ اضافه کردن عامل انعقاد ادامه داده شده تا حدی که سیستم کلوییدی پایداری خود را باز یافته است. ناحیه ۴ نشاندهنده ایجاد رسوب هیدروکسید آلومینیوم و یا آهن است که بر اثر افزایش باز هم بیشتر عامل انعقاد تشکیل شده است.

شکل (۴-۶ ب) نشاندهنده رابطه غلظت عامل انعقاد با غلظت کلویدها در همان سیستمهای کلوییدی مورد نظر در شکل (۴-۶ الف) است.

در غلظت پایین مواد معلق،  $S_1$ ، به مقدار زیادی عامل انعقاد برای ایجاد رسوب هیدروکسید و در بر گیری کلویدها نیاز خواهد بود، چرا که میزان مواد معلق در حدی است که حتی ذرات ناپایدار و خنثی شده از نظر بار الکتریکی قادر به اتصال به یکدیگر و مالاته‌نشینی در مدت زمان متعارف نیستند.

در غلظتهای  $S_1$  و  $S_3$  به میزان کمتری از عامل انعقاد نسبت به حالت قبلی  $S_1$  نیاز خواهد بود و با افزایش غلظت کلویدها غلظت عامل انعقاد لازم نیز افزایش پیدا کرده است که نشاندهنده یک رابطه استوکیومتریک<sup>۱</sup> است، ناحیه ناپایدار سازی با ازدیاد غلظت کلویدها وسعت می‌یابد و امکان پایدار شدن مجدد سیستم محدودتر می‌گردد.

در غلظت بسیار زیاد کلویدها،  $S_4$  به میزان زیادی عامل انعقاد نیاز خواهد بود. این مقدار ممکن است تا حد میزان لازم برای انعقاد در حالت  $S_1$  رسیده و حتی از آن میزان نیز فراتر رود.

اصولاً انعقاد با یون آلومینیوم و آهن سه ظرفیتی به وسیله خنثی سازی و دربرگیری ذرات در رسوبات انجام می‌پذیرد. خنثی سازی و یا ناپایدار شدن کلویدها به سه عامل، غلظت ماده منعقد کننده pH و غلظت کلویدها بستگی دارد. بدین ترتیب چهار حالت برای سیستمهای کلوییدی می‌توان در نظر گرفت:

#### الف - غلظت کلوییدی زیاد با قلیابیت کم

این سیستم ساده‌ترین سیستم کلوییدی برای انعقاد است.

مناسبتین غلظت عامل انعقاد بستگی به غلظت کلویدها دارد و ناپایدارسازی به وسیله جذب و خنثی شدن بار الکتریکی کلویدها به وسیله پولیمرهای هیدرومتال با بار مثبت انجام می‌گردد.

#### ب - غلظت کلوییدی زیاد با قلیابیت زیاد

در این سیستم نیز انعقاد به وسیله جذب و خنثی سازی انجام می‌شود؛ با این تفاوت که لازم است ماده منعقد کننده زیادتری نسبت به حالت الف به کار گرفته شود تا قلیابیت را خنثی و به PH مناسبی دست یافت و از غلظت پولیمرهای هیدرومتال با بار مثبت متعادل استفاده نمود. در برخی از مواقع می‌توان قلیابیت سیستم را به طرق مختلف نقصان داده و سیستم را به حالت الف تغییر داد.

### ج- غلظت کلوییدی کم با قلیابیت زیاد

استفاده از ماده منعقد کننده با غلظت زیاد موجب ایجاد رسوب هیدروکسید خواهد گردید که مالا کلویدها به وسیله دربرگیری رسوبات از سیستم حذف خواهند شد. در برخی از مواد با اضافه نمودن مواد کمک منعقد کننده مانند: انواع گلهای میتوان میزان کلویدها را افزایش داد، از غلظت عامل انعقاد کاست و سیستم را تحت شرایط جذب و خشی سازی کنترل کرد.

### د- غلظت کلوییدی کم با قلیابیت کم

انعقاد در این گونه سیستمها بسیار دشوار خواهد بود. چرا که عامل هیدروکسید (OH) و یا قلیابیت کافی برای تشکیل رسوب هیدروکسید فلزات وجود نخواهد داشت به علاوه اضافه کردن ماده منعقد کننده PH را نیز نقصان خواهد داد و این دشواری را تشدید خواهد نمود. ضمناً نظر به کم بودن غلظت کلوییدی برخورد ذرات محدود و استفاده از جذب و خشی سازی با مشکلات زیادی همراه است. بنابراین لازم است به سیستم، قلیابیت اضافه و یا مواد کمک منعقد کننده اضافه نمود و بدین وسیله سیستم را قبل از اضافه کردن ماده منعقد کننده اصلاح کرد.

### ۴-۲-۳ ته نشینی شیمیایی

ته نشینی به معنای عام آن به فرآیندی اطلاق می شود که مخلوطی از مواد جامد معلق و مایع طی آن فرآیند به مایع زلال و سوسپانسیونی با غلظت زیاد مواد جامد تبدیل می گردد. در مهندسی آب و فاضلاب منظور از ته نشینی جدا کردن مواد جامد معلق توسط نیروی گرانش از آب و یا فاضلاب است. ته نشینی<sup>۱</sup> و تغلیظ<sup>۲</sup> در پاره ای از موارد به صورت مترادف ذکر می شوند؛ در حالی که اصولاً در فرآیند ته نشینی حذف مواد معلق از آب و در نتیجه تولید آب عاری از این گونه مواد مطرح است؛ در صورتی که در عملیات تغلیظ منحصراً از دیاد غلظت لجن مورد نظر است.

شناورسازی<sup>۳</sup> به فرآیندی گفته می شود که جداسازی مواد جامد معلق از آب با استفاده از نیروی شناوری مواد جامد انجام می پذیرد و نیروی گرانش نقشی در این جداسازی ندارد.

مواد معلق در آب بر حسب میزان غلظت مواد معلق و خواص این ذرات به چهار صورت متفاوت ته نشین می گردند: این طبقه بندی به قرار ذیل است:

طبقه ۱- در این طبقه ذرات معلق تمایلی به چسبندگی به یکدیگر ندارند و در صورت اصابت به یکدیگر در هنگام نشست هیچ گونه اتصالی بین آنها انجام نمی پذیرد.

---

1 - Sedimentation  
2 - Thichening  
3 - Flotation

طبقه ۲- این طبقه مربوط به ذرات جامد معلق است که در هنگام نشست به یکدیگر می‌چسبند و همواره بزرگتر و سنگین‌تر می‌شوند.

ته‌نشینی ناحیه‌ای<sup>۱</sup> - چنانچه ذرات معلق دارای غلظت زیاد و همچنین نیروی چسبندگی به هم باشند، در این صورت هر ذره نسبت به ذره دیگر دارای موقعیت ثابتی است و هنگام نشست، مواد معلق به صورت لایه ای از آب جدا می‌شوند.

ته‌نشینی فشرده<sup>۲</sup> - در این حالت ذرات معلق به وسیله غلظت زیاد به میزانی به یکدیگر نزدیک‌اند که در واقع ذرات در تماس مستقیم با یکدیگر قرار دارند و وزن ذرات در هر لایه از مواد جامد در حال نشست، توسط لایه زیر تحمل می‌شود. به عبارت دیگر لایه‌ها پیوسته در حال فشرده شدن هستند.

در عملیات تصفیه آب، ته‌نشینی طبقه ۱ در حوضچه‌های دانه‌گیر اتفاق می‌افتد و ته‌نشینی پس از عملیات انعقاد و لخته‌بندی در حوضچه‌های ته‌نشینی، معمولاً به صورت طبقه ۲ رخ می‌دهد. ته‌نشینی ناحیه‌ای و فشرده منحصراً در هنگام تغلیظ لجن حاصل از عملیات تصفیه دیده می‌شود.

راندمان عملیات ته‌نشینی در مورد ته‌نشینی طبقه ۱ به بار سطحی حوض بستگی دارد و عمق حوضچه در این راندمان نقشی ندارد؛ در حالی که در مورد ته‌نشینی طبقه ۲ عمق حوضچه ته‌نشینی توأم با بار سطحی عوامل تعیین‌کننده این راندمان هستند. در ته‌نشینی طبقه ۱ در واقع سرعت نشست ذرات منحصراً در راندمان ته‌نشینی موثر است، در صورتی که در ته‌نشینی طبقه ۲ نه تنها سرعت نشست ذرات مطرح است، بلکه خاصیت چسبندگی و ایجاد لخته توسط ذرات نیز در این راندمان تاثیر دارد.

راندمان عملیات ته‌نشینی در حالت ته‌نشینی ناحیه‌ای با ظرفیت زلال‌سازی<sup>۳</sup> و ظرفیت تغلیظ<sup>۴</sup> حوض ته‌نشینی بستگی دارد که توسط روش ویژه‌ای محاسبه می‌گردد. ته‌نشینی فشرده در حقیقت بخشی از ته‌نشینی در حالت ناحیه‌ای است که معمولاً در ناحیه تحتانی حوض ته‌نشینی در لایه لجن رخ می‌دهد و ملاً در راندمان ته‌نشینی ملحوظ می‌شود.

#### ۴-۲-۳-۱ اصول بسترهای لجن سیال<sup>۵</sup> در تصفیه آب

در عملیات تصفیه آب تماس آب و مواد جامد در فرآیندهای متعددی مانند: انواع صافیها (بسترهای ثابت)، شستشوی صافیها (بسترهای منبسط)، زلال‌سازی (بسترهای لجن) و بالاخره دستگاه تغذیه مواد شیمیایی (انتقال

- 
- 1 - Zone Settling
  - 2 - Compression
  - 3 - Clarification capacity
  - 4 - Thickening capacity
  - 5 - Fluidised Bed

ذرات و دانه‌ها) رخ می‌دهد. در این عملیات مواد جامد را ذراتی با قطر کمتر از یک میکرون تا چندین میلیمتر با چگالی کمی بیش از یک تا پنج تشکیل می‌دهند.

در غالب عملیات تصفیه آب، انعقاد با استفاده از نمکهای آهن و آلومینیوم انجام می‌شود و در پی آن مراحل لخته‌بندی، ته‌نشینی و صاف کردن و سالم سازی صورت می‌پذیرد. فرآیندهای اصلی در این عملیات، مشتمل بر تغذیه مواد شیمیایی و اختلاط سریع تحت pH مناسب، انعقاد و لخته‌بندی، زلال‌سازی و بالاخره صافیهای اند که طی این فرآیندها حذف مواد معلق، باکتریها، تیرگی و رنگ از آب میسر می‌گردد.

به منظور ازدیاد راندمان حذف مواد معلق قبل از صافیها، ته‌نشینی به روش بستر لجن استفاده می‌شود. در این روش بستر لجن تشکیل شده در کف مخزن ته‌نشینی برای مساعدت به حذف لخته‌های تازه تشکیل شده به کار گرفته می‌شود. به سبب اینکه در این فرآیند بستر لجن حالت سیال دارد و آب همراه با مواد معلق از لابلای این بستر به طرف بالا حرکت می‌کند و طی این عبور مواد معلق همراه با خود را از دست می‌دهد، لذا این فرآیند نیز بخشی از فرآیند بسترهای سیال محسوب می‌گردد. در غالب موارد، عملیات اختلاط سریع، انعقاد و لخته‌بندی نیز در داخل همین مخازن انجام می‌شود و در نتیجه این مجموعه به عنوان یک واحد کامل، قبل از استفاده از صافیها برای حذف مواد معلق به کار گرفته می‌شود.

فرآیند بسترهای سیال دارای تکنولوژی ویژه‌ای است که در آن مکانیسم تماس آب با ذرات، کنترل غلظت لجن در ته مخزن و بالاخره توزیع یکنواخت جریان آب قبل از عبور از بستر نقش عمده‌ای را به عهده دارد. این گونه فرآیندها در مخازنی به صورت مکعب مستطیل، مخروطی و استوانه‌ای انجام می‌پذیرد و بر حسب اینکه چه نوع کاربردی مطرح باشد، ضوابط طراحی ویژه‌ای برای آنها در نظر گرفته می‌شود.

#### ۲-۳-۲-۴ فرآیند زلال‌سازی و حوضهای زلال‌ساز

به طوری که قبلاً در مبحث ته‌نشینی اشاره شد فرآیند ته‌نشینی در عملیات تصفیه آب عمدتاً در دو طبقه ۱ و ۲ صورت می‌پذیرد.

طبقه ۱: فرآیندی است که در حوضهای دانه‌گیر واقع شده و شن و ماسه و مواد معلق درشت مستقل از یکدیگر ته‌نشین و حذف می‌گردند.

طبقه ۲: فرآیندی است که پس از افزایش مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده در pH مناسب محیط و در ادامه فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی واقع می‌شود و مواد کلوییدی و شبه کلوییدی، میکرو ارگانسیم‌ها و بعضی عناصر مانند: آهن و منگنز پس از اکسیداسیون ته‌نشین شده و کیفیت آب زلال شده ارتقاء می‌یابد.

در فرآیند ته‌نشینی طبقه ۲ آب پس از طی فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی به صورت سوسپانسیونی<sup>۱</sup> حاوی لخته‌های لجن شکل گرفته در فرآیندهای قبل، به حوضهای ته‌نشینی ساده یا بخش ته‌نشینی در حوضهای زلال‌ساز مرکب هدایت می‌گردد.

طراحی این حوضها (شکل ۴-۸) به صورتی است که بتوان با بهره‌گیری از سرعت جریان آب یا به وسایل مکانیکی لخته‌های لجن قبلاً تشکیل شده را به صورت معلق و سیال در مسیر آب ورودی نگهداری نمود تا لخته‌های ریزتر و سبکتر لجن در آب ورودی با لخته‌های درشت‌تر (سوسپانسیون) موجود در حوض برخورد کند و جذب آنها شود و نهایتاً در منطقه ته‌نشینی در اثر سنگینی ته‌نشین شود که آب زلال شده حاصل این بدیهی است که هر چه درصد حجمی<sup>۲</sup> و یکنواختی غلظت لجن سوسپانسیون موجود در حوض را بتوان بالاتر برد، امکان حذف و ته‌نشین سازی بهتری برای آب منعقد شده ورودی فراهم می‌شود. و فرآیند خواهد بود.

راندمان زلال‌سازی افزایش و مواد شیمیایی و انرژی مصرفی و نیاز به تنظیمات مکرر کاهش می‌یابد و شوکهای وارده به حوض بهتر تحمل خواهد شد. روشن است که با تداوم بهره‌برداری از حوض مرتباً لجن و مواد اضافی آب ورودی جذب سوسپانسیون لجن در حوض می‌شود و بر میزان غلظت لجن آن اضافه می‌گردد. نظر به اینکه در طراحی حوضهای زلال‌ساز غلظت لجن برای سوسپانسیون مورد توجه است، باید با بهره‌گیری از سیستمهای مناسب عودت یا تخلیه لجن اضافی، غلظت لجن مطلوب را همواره کنترل و کاهش یا افزایش آن را جبران نمود تا فرآیند ته‌نشینی در حد انتظار صورت پذیرد.

نظر به مطالبی که گذشت، حوضهای زلال‌ساز ساده و مرکب را می‌توان در سه گروه زیر تقسیم نمود تا بتوان نکات عمومی ساختمان، بهره‌برداری و نگهداری هر گروه را در یک چهار چوب کلی بیان داشت :

#### الف - حوضهای زلال‌ساز (ته‌نشینی) ساده در طبقه ۱ ته‌نشینی

در این زمینه در بند ۴-۱-۳ بخش پیش ته‌نشینی در حد کفایت بحث گردید شکل (۴-۷)

#### ب - حوضهای زلال‌ساز مرکب در طبقه ۲ ته‌نشینی

در این گروه د و نمونه حوض مورد بحث قرار می‌گیرد که بیشتر خود یا مشابه آنها در ایران کاربرد داشته‌اند.

- - حوضهای زلال‌ساز مستقل، شکل (۴-۸)
- - حوضهای زلال‌ساز مرکب (اکسیلاتور)، شکل (۴-۹)

---

1 - Suspension

2 - Sludge Concentration "in Volume"

برای تعیین درصد حجمی لجن سوسپانسیون یا لجن سیال یک نمونه یک لیتری از نقطه مورد نظر سوسپانسیون برداشته و در یک مزور مدرج یک لیتری که در محل تراز و بدون لرزش قرار داده شده است ریخته می‌شود پس از ده دقیقه ته‌نشینی، حاصل تقسیم حجم لجن ته‌نشین شده بر حجم کل ۱۰۰۰CC نمایشگر درصد حجمی لجن است که در تقسیم‌بندی گروههای چهارگانه مورد نظر است.



### ج- حوضهای زلال‌ساز مرکب بهره‌گیرنده از بستر لجن

در این گروه به بحث پیرامون حوض زلال‌ساز از نوع پولساتور پرداخته می‌شود که بیشترین کاربرد را در بین این

گروه از حوضهای زلال‌ساز در کشور داشته است. شکلهای (۴-۱۰ و ۴-۱۱)

در ادامه پیشرفتهای حاصله در صنعت آب نسل جدیدی از حوضهای زلال‌ساز ابداع گردید که فرآیند ته‌نشینی در آنها عملاً جایگزین فرآیند شبیه فرایندهای صاف‌سازی<sup>۱</sup> و جذب شده است، این حوضهای زلال‌ساز به

حوضهای زلال‌ساز با بستر لجن<sup>۲</sup> معروف‌اند که در گروه سه طبقه‌بندی گردیده‌اند شکلهای (۴-۱۰ و ۴-۱۱)

در این حوضها آب خام پس از دریافت مواد شیمیایی منعقد کننده، کمک منعقد کننده و مواد ضد عفونی کننده

از زیر بستر لجن که با استفاده از سرعت جریان آب یا وسایل مکانیکی بصورت یکنواخت معلق نگهداشته شده

است، به طور یکنواخت توزیع می‌شود و به دلیل عبور از میان بستر لجن با غلظت قابل توجه در مقایسه با

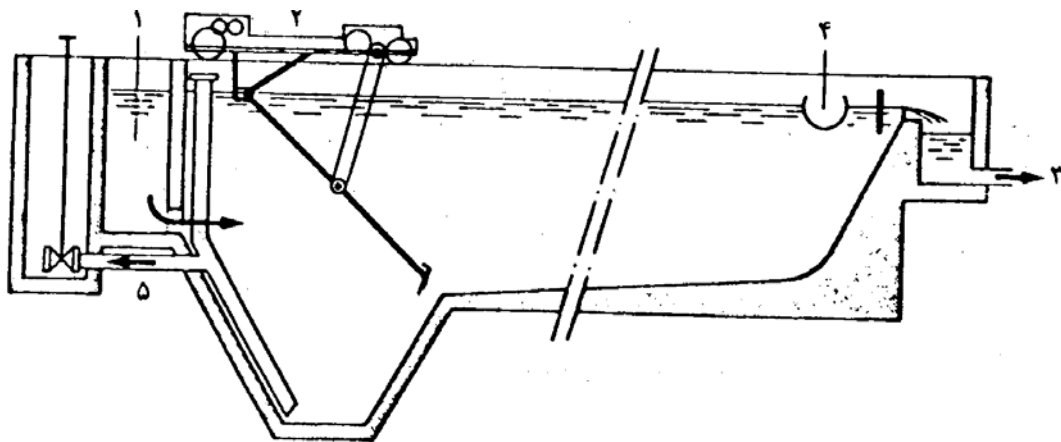
غلظت سوسپانسیون لجن حوضهای زلال‌ساز مورد اشاره قبل در یک فرآیند شبیه صاف‌سازی و جذب، آب

خام منعقد شده و تقریباً تمام مواد معلق خود را از دست می‌دهد و آب صاف در سطح حوض زلال‌ساز به

صورت یکنواخت جمع‌آوری می‌گردد. یکی از مهمترین نمونه‌های این حوضهای زلال‌ساز پولساتور<sup>۳</sup> است که در

ایران نیز مورد استفاده بسیار داشته است. در صفحات آتی به ترتیب به ساختمان و روش کلی بهره‌برداری از

نمونه حوضهای زلال‌ساز اشاره شده، پرداخته می‌شود.



۴- جمع کننده دلمه سطحی

۵- تخلیه لجن

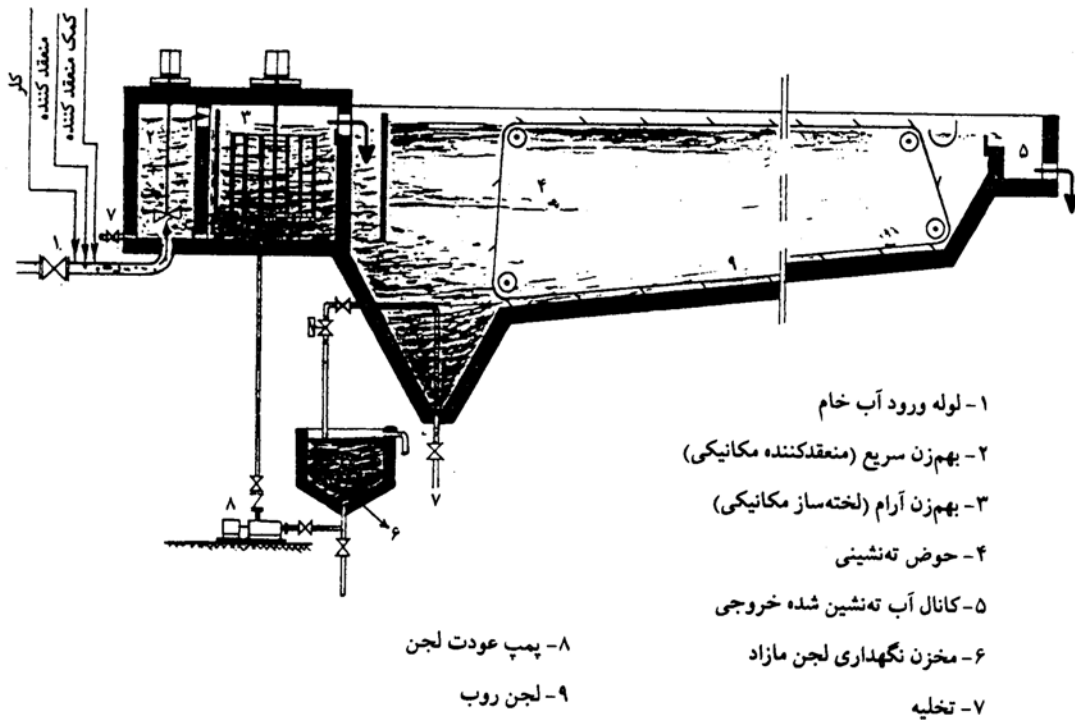
۱- لوله ورودی آب خام

۲- پل لجن روب

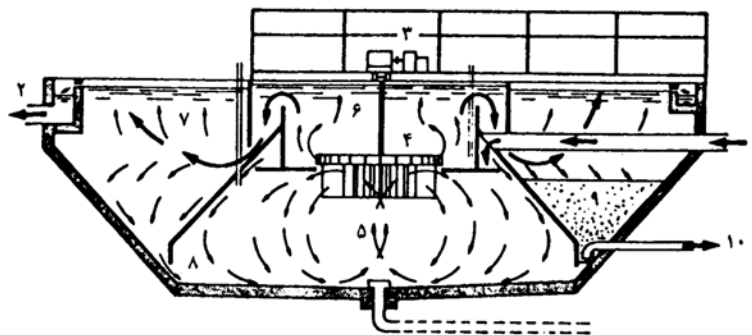
۳- کانال خروج آب تصفیه شده

شکل ۴-۷ حوضهای زلال‌ساز ساده

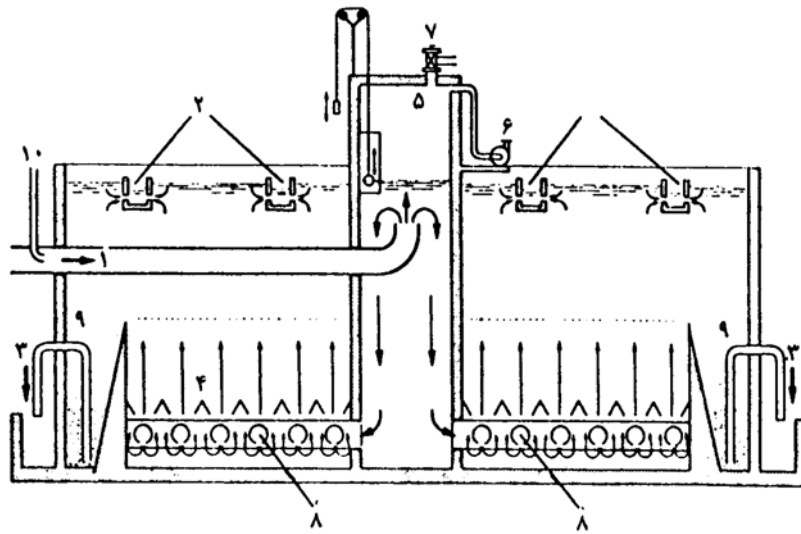
- 
- 1 - Filtration Through sludge Blanket
  - 2 - Sludge Blanker Type Clarifiers
  - 3- Pulsator Clarifiers



شکل ۴-۸ حوضهای زلال ساز مستقل

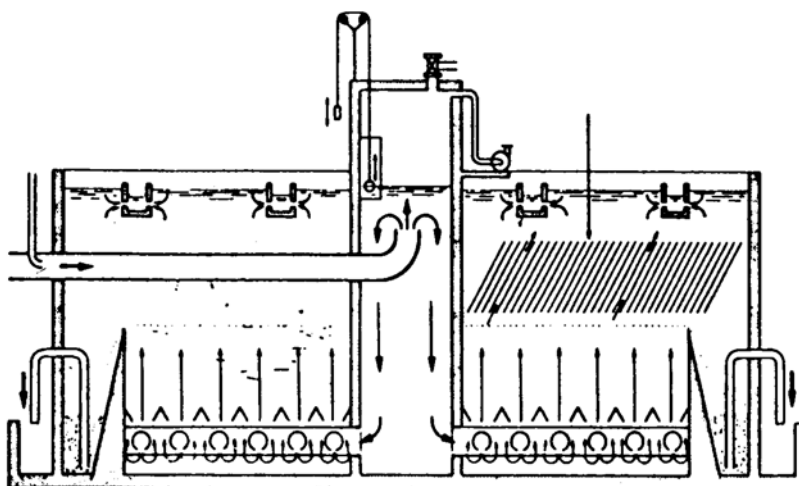


شکل ۴-۹ حوضهای زلال ساز مرکب (اکسیلاتور)



- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| ۱- لوله ورود آب خام           | ۶- پمپ خلاء                                |
| ۲- کانال آب ته نشین شده خروجی | ۷- سیستم اتوماتیک خلاء شکن                 |
| ۳- تخلیه لجن اضافی            | ۸- لوله های توزیع یکنواخت آب خام در کف حوض |
| ۴- صفحات آرام ساز             | ۹- قیفهای تغلیظ لجن                        |
| ۵- اتاقچه خلاء                | ۱۰- ورود مواد شیمیایی                      |

شکل ۴-۱۰ حوضهای زلال ساز بهره گیرنده از بستر لجن (پولساتور)



شکل ۴-۱۱ حوضهای زلال ساز بهره گیرنده از بستر لجن

#### ۴-۲-۳-۳ ساختمان و روش کلی بهره‌برداری از حوضهای ته‌نشینی و زلال‌ساز مستقل

برای بهره‌برداری از این حوضها (شکل شماتیک ۴-۸) پس از تعیین میزان مواد شیمیایی منعقد کننده و کمک منعقد کننده در آزمایش جارتست که باید مناسب برای ایجاد لخته‌های سنگین و درشت<sup>۱</sup> باشد، این مواد به طور معمول در ورودی حوضچه (اولیه) انعقاد تزریق و پس از کنترلها و تنظیمات ضروری سیستم براساس توصیه‌های طراح، آب به حوضچه لخته‌زنی وارد و پس از رسیدن به شرایط مطلوب و لخته‌ها، آب لخته شده سرانجام به صورت کاملاً یکنواخت به حوض ته‌نشینی هدایت می‌شود و در صورتی که سیستم به طور موفق در بهره‌برداری باشد پس از گذشت زمان از پیش تعیین شده، لخته‌ها در طول مسیر خود به تدریج ته‌نشین شده و آب زلال، بسته به طرح حوض از طرف مقابل یا اطراف به طور کاملاً یکنواخت و آرام جمع‌آوری می‌گردد. در این نوع حوض ته‌نشینی به دلیل غلظت کم سوسپانسیون لجن از برخورد دادن لخته‌ها در حوض ته‌نشینی سود چندانی برده نمی‌شود و تنها در صورت نیاز به تقویت انعقاد و لخته‌زنی در بعضی از طراحیها که سیستم به لحاظ بیولوژیکی با مشکلی روبه‌رو نباشد، می‌توان مقداری از لجن ته‌نشین شده را به حوضچه لخته‌زنی عودت داد و سیستم جمع‌آوری و تخلیه لجن می‌باید به صورتی تنظیم گردد که تجمع و یا تخلیه بیش از حد لجن، اختلالی در سیستم ایجاد ننماید. از نکات مهم عمومی و مشکلاتی که ممکن است در حین بهره‌برداری روی دهد، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- نظر به اینکه کیفیت آب زلال شده خروجی از حوض ته‌نشینی در ارتباط مستقیم با کار مطلوب حوضچه‌های منعقد سازی به ویژه حوضچه لخته‌زنی است، در صورتی که کار این حوضچه‌ها رضایتبخش باشد و از تغییرات ناگهانی و نامطلوب کمی و کیفی آب، تخلیه و عودت لجن بی‌مورد و ایجاد اختلال در سیستم توزیع و جمع‌آوری آب در حوضچه ته‌نشینی جلوگیری گردد، بازده سیستم در حد انتظار است و مشکل خاصی ایجاد نمی‌گردد.

- یکی از مهمترین و متداولترین اختلالاتی که در این سیستمها ممکن است روی دهد، وجود لخته‌های ریز در آب خروجی از حوض ته‌نشینی و کدر بودن آب خروجی است.

• آب خروجی از حوض ته‌نشینی کدر و دارای لخته‌های ریز است:

این حالت ممکن است عمدتاً به دلایل زیر باشد:

- o کمبود مواد شیمیایی
- o PH نامناسب محیط
- o افزایش ناگهانی دبی آب

- افزایش ناگهانی آلودگی‌ها به ویژه مواد معلق آلی
- اشکال در حوضچه انعقاد به لحاظ عدم اختلاط سریع مطلوب<sup>۱</sup>
- اشکال در حوضچه لخته‌زنی به لحاظ عدم اختلاط آرام مطلوب<sup>۲</sup> و تشکیل لخته‌های سنگین و درشت
- غلظت حجمی نامناسب لجن در حوضچه لخته‌زنی که ممکن است به لحاظ عدم عودت لجن از حوضچه ته‌نشینی باشد (در صورتی که در طراحی پیش‌بین شده باشد)
- تخلیه بی مورد لجن از حوضچه لخته‌زنی
- کاهش شدید درجه حرارت محیط
- تغییرات PH یا درجه حرارت در نقاط مختلف حوض ته‌نشینی
- عدم توزیع و جمع‌آوری یکنواخت آب در حوض ته‌نشینی
- عدم انجام کلرزی آب و خاک
- اختلال در سیستم لجن روب

#### ۴-۲-۳-۳-۱ نگهداری و تعمیرات

در این زمینه نظر به شرایط کلی مانند: ویژگیهای آب خام، مواد شیمیایی مورد استفاده، شرایط جوی و نوع بهره‌برداری لازم است که سیستم زلال‌ساز در فواصل مناسبی که از سوی طراحان توصیه می‌شود و در هر حال از یکسال بیشتر نخواهد بود، کاملاً تخلیه شود و با دقت کافی کلیه تاسیسات الکترو مکانیکی آن مانند: به همزنهای دور تند و دور آرام، لجن روب، دریچه‌ها، شیرآلات، لوله و متعلقات مربوط به دقت بازدید شود و مرمت و سرویسهای ضروری بر حسب مورد و با توجه به دفترچه‌های نگهداری هر یک از آنها صورت پذیرد در پرونده‌های فنی آنها ثبت گردد.

#### ۴-۳-۲-۴ ساختمان و روش کلی بهره‌برداری از حوضهای زلال‌ساز مرکب با بهم‌زن آرام مکانیکی یا هیدرولیکی مرکزی

در سیر تکامل طراحی حوضهای زلال‌ساز گونه‌های متنوع دیگری از این حوضها ابداع می‌شود که تمام فرآیندهای زلال‌سازی "انعقاد- لخته‌زنی و ته‌نشینی" در یک حوض صورت می‌پذیرد.

در این مورد نظر طراحان بر آن بوده است که لجن حاصله از عملیات زلال‌سازی را که به غلظت مطلوبی رسیده، به نحو مناسبی در مسیر عبور آبی که مرحله انعقاد را پشت سر گذارد و ذرات نسبتاً ریز لجن در آن تشکیل شده

---

1- Flash mixing  
2- Slow mixing

قرار دهند تا با برخورد، ذرات ریز لجن جذب ذرات درشت تر شده و بدین ترتیب شرایط مطلوبی برای ته نشینی ثقی ذرات درشت و سنگین شده لجن فراهم آمده و آبی زلال با کیفیت خوب بدست آید. مدل‌های بسیار متنوع و معروفی از این حوضها تحت نامهای مختلفی از قبیل:

- Accelerator Clarifiers
- Centrifloc Clarifiers
- ClariContact Clarifiers

طراحی و به کار گرفته شده‌اند و گونه‌هایی از آنها در ایران احداث و نیز در دست بهره‌برداری است. بهره‌برداری از این حوضهای زلال‌ساز (شکل شماتیک ۴-۹) به دلیل غلظت نسبتاً کم لجن (حدود ۱۰٪) عموماً با دشواریهای همراه است و به توجهات و تنظیمات زیادی نیازمند است. لیکن در صورت رعایت دقیق دستورالعملهای بهره‌برداری خصوصاً حفظ غلظت لجن در حد توصیه شده طراح می‌توان آب زلال با کیفیت خوبی از آنها دریافت نمود. در این حالت آب در سطح فوقانی منطقه ته‌نشینی صاف و سطح لجن در زیر آن تا ارتفاع مطلوبی به خوبی مشاهده می‌شود.

مشکلات مهم در بهره‌برداری از این حوضهای زلال‌ساز و روشهای برطرف نمودن آنها به طور خلاصه به شرح زیر است: (هر چند هر نوعی از حوضهای زلال‌ساز مرکب ویژگیهای خاص خود را داراست، مراجعه به دستورالعمل بهره‌برداری اصلی توصیه می‌گردد).

#### • ذرات ریز لجن به سطح آب در منطقه ته‌نشینی آمده‌اند:

در این حالت سطح منطقه لجن در بخش ته‌نشینی قابل مشاهده نیست و ذرات ریز لجن به سطح آب منطقه ته‌نشینی آمده و آب خروجی از حوض کدر است.

- مقدار مواد شیمیایی کم است. "باید با توجه به نتایج جارتست و ضریب چسبندگی لجن مجدداً تنظیم گردد. pH تنظیم نیست" باید با توجه به نتایج جارتست تنظیم گردد.

- در صورت مجهز بودن حوض به، به همزن قابل تنظیم دور آرام، دور به همزن بیش از حد است. "دور به تدریج و هر بار حداکثر  $\frac{1}{2}$  دور در دقیقه کاهش داده شود و سپس باید حدود یک ساعت تامل گردد تا نتیجه مشخص شود."

- غلظت لجن در منطقه لخته‌زنی کمتر از حد لازم است. "این امر بیشتر به دلیل تخلیه بی‌مورد لجن، کمبود مواد شیمیایی و در بعضی از طرحها عدم عودت لجن اضافی است که به همراه کنترل عوامل مختلف باید مورد توجه قرار گیرد."

(برای تعیین غلظت حجمی لجن از محلهای توصیه شده در طراحی، نمونه‌هایی یک لیتری بر می‌دارند و آنها را در مزور پایه بلند مدرج یک لیتری که در محل صاف و بدون لرزشی قرار دارد می‌ریزند و پس از ۱۰ دقیقه می‌توان از حجم لجن ته‌نشین شده نسبت به حجم کل، درصد حجمی لجن را محاسبه کرد.)

- تخلیه لجن بیش از حد و بی‌مورد به عمل آمده "باید برای مدتی از تخلیه لجن خودداری و میزان مواد شیمیایی را در حد مناسبی افزایش داد و کل لجن حاصل شده به قسمت بهم زنی آرام عودت گردد. در صورت لزوم موقتاً دبی آب خام را تا حد مناسبی کاهش داد."
- درجه حرارت محیط به شدت کاهش می‌یابد، "در این حالت به لحاظ افزایش ویسکوزیته آب ته‌نشینی ذرات لجن دشوار می‌شود و لازم است با استفاده از مواد شیمیایی مناسب به وزن ذرات لجن افزوده گردد و مقدار آب خام در حد مناسب کاهش داده شود."
- درجه حرارت و pH در نقاط مختلف حوض متفاوت است و بدین لحاظ جریانهای گردابی ایجاد شده و ذرات لجن به سطح می‌آیند، "در این حالت باید عوامل مزاحم را برطرف نمود."
- دبی آب خام افزایش ناگهانی و یا بیش از حد یافته است "در این حالت باید دبی تنظیم شود و در صورت نیاز به افزایش مجدد دبی، این امر به تدریج و همراه با تنظیمات ضروری صورت پذیرد."
- کلر زنی آب خام قطع، مواد آلی اکسید شده است و با اختلال در امر انعقاد و لخته‌زنی مشکل را سبب شده‌اند، "در این حالت باید از سیستم کلر زنی رفع نقص و مجدداً در بهره‌برداری قرار گیرد."
- مشکلات بیوشیمیایی حادث گردیده است، نظر به شرایط اقلیمی کشور در مواردی به لحاظ رشد و تکثیر گونه‌هایی از میکرو ارگانیسم‌ها در حوض زلال‌ساز و به خاطر آنزیمهای مترشحه آنها انعقاد و لخته‌زنی مختل می‌گردد.

"در این حالت توصیه می‌شود حوض تخلیه و پس از شستن مجدداً در بهره‌برداری قرار گیرد."

- سطح لجن در منطقه ته‌نشینی پایین‌تر از حد طراحی است و لجن سنگین و غلیظتر از حد عادی به نظر می‌رسد.

هر چند در این حالت آب خروجی از حوض معمولاً زلال است، لیکن بهره‌برداری بهینه نیست و برای رفع این مشکل توجه به نکات مشروحه زیر ضروری است:

- o مقدار مواد شیمیایی مصرفی بیشتر از حد نیاز است و بهره‌برداری اقتصادی نیست. "تزریق مواد شیمیایی با توجه به نتایج جارتست و ضریب چسبندگی لجن تنظیم شود."
- o غلظت لجن بیشتر از حد است. "با نمونه‌برداری و آزمایشهای لازم موضوع بررسی و غلظت آن در حد مناسب تنظیم گردد."
- o در صورت مجهز بودن حوض بهم زن دور آرام قابل تنظیم، دور آن کمتر از حد لازم است. "دور به تدریج و هر بار حداکثر  $\frac{1}{2}$  دور در دقیقه افزایش داده شود و سپس حدود یک ساعت تأمل کرده تا نتیجه مشخص شود."
- o دبی آب ورودی کاهش زیادی یافته لیکن در تنظیمات حوض بطور مناسب تغییری داده نشده است تنظیمات جدید و متناسب به عمل آید.
- o تخلیه لجن بیشتر از حد به عمل آمده و لجن باقیمانده در حوض به طور مناسب معلق نگردیده است.

"تنظیمات ضروری بر حسب ساختمان و طراحی حوض مانند: افزایش دور بهم زدن دور آرام و یا افزایش مقدار آب ورودی به عمل آید و در صورت نیاز تخلیه لجن برای مدتی مناسب قطع گردد و ضریب چسبندگی لجن و میزان مواد شیمیایی تزریقی مورد توجه و رسیدگی قرار گیرد."

• حوض ته‌نشینی در وضعیت نسبتاً خوبی است و آب خروجی دارای کیفیت مطلوب است؛ لیکن سطح لجن در منطقه ته‌نشینی بالاتر از حد پیش‌بینی شده است و ذرات درشت لجن در منطقه آب صاف مشاهده می‌گردد.

- تخلیه لجن در حد لازم صورت نگرفته و لجن حاصله در حوض انباشته شده است و قیفهای تغلیظ لجن پر شده‌اند (باید لجن اضافی را تا حد لازم و با توجه به غلظت حجمی لجن حوض تخلیه نمود و در حوضهایی که می‌توان لجن را از منطقه ته‌نشینی به منطقه لخته‌زنی عودت داد، به طور موقت و تا برقراری شرایط عادی از این کار خودداری کرد).

- مقدار غلظت و ضریب چسبندگی لجن کنترل گردد (در صورت نیاز به تنظیمات لازم در این زمینه اقدام شود).

- در حوضهای مجهز به بهم‌زن آرام با دور قابل تنظیم، دور بهم زن کمی بیشتر از حد مطلوب است (تنظیم مجدد صورت پذیرد).

- دبی آب ورودی در حد قابل تحمل افزایش ناگهانی داشته است (تنظیمات مناسب در این زمینه صورت پذیرد). ضمناً در این گونه حوضهای زلال‌ساز استفاده از شیر تخلیه اصلی و مرکزی حوض برای تخلیه لجن اضافه مجاز نیست و چنانچه تنظیمات حوض در حد مطلوب باشد، لجن به طور مناسب معلق شده و اضافه آن به قیفهای جمع‌آوری تغلیظ‌کننده لجن سرازیر می‌شود و تنها از این تغلیظ‌کننده باید لجن اضافی تخلیه شود.

روش توصیه شده برای تخلیه لجن از قیفهای تغلیظ‌کننده آن است که وقتی قیف کاملاً پر شد، شیر تخلیه باز شود و لجن در حدی تخلیه شود که سطح لجن داخل قیف از لبه فوقانی آن در حد ۳۰ تا ۵۰ سانتیمتر پایین رود؛ این کار به طور دستی یا برنامه‌ریزی شده برای سیستم تخلیه اتوماتیک میسر است که از اتلاف بی‌مورد آب جلوگیری می‌نماید.

۱-۴-۳-۲-۴ توقف کوتاه مدت و راه‌اندازی مجدد حوض (پس از ۲۴ تا حداکثر ۴۸ ساعت)

اساساً چون حوضهای زلال‌ساز در مقابل توقف کوتاه مدت و راه‌اندازی مجدد چندان مطلوب عمل نمی‌کنند و این کار خالی از زحمت نیست و به توجه و تنظیمات دقیق نیازمند است و نظر به ظرافت این امر و آنکه برنامه‌ریزی جزء به جزء عملیات در ارتباط مستقیم با مسائل طراحی حوض است، روش عمومی دقیقی را



نمی‌توان ارائه نمود و توصیه می‌شود که براساس دستورالعمل کارخانه سازنده رفتار شود، لیکن رعایت مواد زیر می‌تواند مفید واقع گردد.

- شیر آب ورودی بسته شود.
- شیرهای تخلیه بسته شوند.
- در صورت وجود راه ارتباطی بین قسمت ته‌نشینی و قسمت لخته‌زنی حوض این راه باز شود.
- در صورت وجود سیستم بهم زدن دور آرام با دور قابل تنظیم، دور بهم زن به تدریج به حداکثر خود رسانده شود و پس از حدود ۱۰ دقیقه به حداقل دور کاهش داده شده و سپس خاموش شود.
- در صورت عدم رعایت دستورات دقیق توقف کوتاه مدت، راه‌اندازی مجدد حوض با دشواری‌هایی روبه‌رو خواهد بود.

#### ۲-۴-۳-۲-۴ راه‌اندازی مجدد پس از توقف کوتاه مدت (۲۴ تا ۴۸ ساعت)

- در حوضهای مجهز به سیستم بهم‌زن دور آرام قابل تنظیم، سیستم راه‌اندازی و دور آن به آرامی به حداکثر ممکن افزایش داده شود.
- پس از گذشت حدود ۱۰ دقیقه دور به تدریج و هر بار حداکثر در حدود  $\frac{1}{2}$  دور در دقیقه (r.p.m) کاهش داده شود تا دور مطلوب حاصل شود و ذرات لجن مجدداً شکل گیرد و لجن معلق با وضعیت مناسب تشکیل شود.
- برای مشاهده نتایج تنظیمات جدید هر بار حداقل به یک ساعت وقت نیاز است.
- برای اطمینان از تشکیل یکنواخت لجن با غلظت حجمی مناسب در منطقه لخته‌زنی، نمونه‌گیری و آزمایش های لجن مورد نیاز همان طوری که در مباحث قبلی توضیح داده شد، صورت گیرد و تنظیمات ضروری براساس نتایج حاصله به عمل آید.
- پس از رضایتبخش شدن کامل وضعیت حوض، کار برای ده دقیقه به همان صورت ادامه یابد.
- شیر آب خام به آرامی و حداکثر  $\frac{1}{3}$  ظرفیت کامل باز و همزمان تزریق مواد شیمیایی براساس میزان مورد نیاز (برای تشکیل لخته‌های عالی در جارتست) از سر گرفته شود.
- در طول ساعتهای بعد و رضایت از کار حوض می‌توان مقدار آب ورودی را به تدریج و آرامی افزایش داد.
- پس از رسیدن به ظرفیت کامل و رضایت از کار حوض می‌توان مقدار مواد شیمیایی تزریقی را به تدریج به حد مورد نیاز تا تشکیل لخته‌های خوب در جارتست کاهش داد.
- در ادامه بهره‌برداری و افزایش حجم لجن در حوض باید راههای ارتباطی برگشت لجن اضافی از منطقه ته‌نشینی به منطقه لخته‌زنی را بست و برای تخلیه لجن اضافی اقدام کرد.
- در این حالت حوض در شرایط عادی کار قرار دارد و باید برابر دستورالعملهای مربوط به بهره‌برداری اقدام نمود.

## یادآوری :

همان طوری که اشاره شد. نظر به طراحی خاص این گونه حوضها و غلظت نسبتاً کم لجن در آنها هر چند که در مقایسه با حوضهای ته نشینی مستقل از بازده بهتری برخوردارند، لیکن در مقایسه به حوضهای زلال‌ساز مدرنتر از نوع بستر لجن (فیلتر لجن)<sup>۱</sup> امتیاز زیادی ندارند و به ویژه موارد زیر باید مورد نظر باشد:

- بهره‌برداری پر زحمت و ناپایدار
- حساسیت در مقابل شوکهای وارد شده و تغییرات شرایط بهره‌برداری
- مصرف نسبتاً زیاد مواد شیمیایی و در مواردی نیاز به کمک منعقد کننده
- سرعت زلال‌سازی نسبتاً کمتر در مقایسه با حوضهای زلال‌ساز از نوع لایه لجن
- گونه‌هایی از حوضهای مورد بحث احتمال دارد برای سبک‌سازی آب به وسیله آهک نیز مورد استفاده قرار گیرد؛ مانند: اکسیلاتورها

## ۴-۲-۳-۴- نگهداری، سرویس و تعمیرات

نظر به طراحی و ویژگیهای خاص هر یک از این حوضها، ارایه دستورالعمل واحدی برای نگهداری و تعمیرات همه آنها میسر نیست و توصیه می‌گردد که براساس دستورالعملهای شرکت سازنده و طراح عمل گردد.

با این حال رعایت موارد عمومی و کلی زیر ممکن است مفید باشد:

- بهتر است که این حوضها با توجه به شرایط اقلیمی و کیفیت آب خام در فواصل زمانی مناسب ترجیحاً (فصلی یا شش ماهه) تخلیه شده و به طور کامل شسته شوند.
- مرمت‌های ساختمانی مورد نیاز صورت پذیرد.
- سیستمهای برقی و مکانیکی حوض مانند: شیر آب خام، شیرهای تخلیه لجن، سیستم بهم‌زن دور آرام، دریچه‌ها، لوله‌ها و متعلقات مربوط به طور دقیق مورد بازدید قرار گیرد و سرویس و تعمیرات لازم براساس دستورالعملهای نگهداری و تعمیرات مربوط صورت گیرد و نتایج در پرونده فنی تاسیسات ثبت گردد.
- در حوضهای ته‌نشینی مجهز به لجن روب با تیغه لاستیکی فشرده توجه خاص به سلامت این تیغه‌ها که در مقابل ترکیبات شیمیایی فرسایش پذیرند، انجام گیرد.

---

1 - Sludge Blanket Type Clarifiers

#### ۴-۲-۳-۵ ساختمان و روش کلی بهره‌برداری از حوضهای زلال‌ساز از نوع بستر لجن ۱ (فیلتر لجن)

این حوضهای زلال‌ساز (شکل‌های شماتیک ۴-۱۰ و ۴-۱۱) که در ادامه پیشرفتهای تکنولوژی تصفیه آب طراحی گردیده‌اند، دارای گونه‌های متنوعی به لحاظ طرح و مکانیسم هستند و می‌توانند با غلظتهای بیشتر لجن در مقایسه با دیگر حوضهای زلال‌ساز مورد بهره‌برداری قرار گیرند و بسته به غلظت بستر لجن و یکنواختی آن از راندمانهای بیشتری در حذف مواد معلق در مقایسه با دیگر حوضهای زلال‌ساز برخوردارند.

این حوضها در مقابل شوکهای وارد شده بسیار پایدارند و نیازمند تنظیمات و مراقبتهای زیادی نیستند و مصارف مواد شیمیایی مورد نیاز آنها می‌تواند در حد تشکیل لخته‌های متوسط در آزمایش جارتست انتخاب گردد و در صورت بهره‌برداری صحیح آب خروجی از آنها دارای کیفیت بسیار خوبی برای مرحله صاف‌سازی است و بدین لحاظ صافیها در شرایط مطلوب و مناسبی قرار می‌گیرند و از فرسایش زودرس تاسیسات شستشو صافی و مصارف انرژی بی‌مورد جلوگیری می‌شود.

از این حوضهای زلال‌ساز انواع متنوعی طراحی گردیده که هم اکنون در بسیاری از نقاط دنیا در دست بهره‌برداری هستند.

از این گروه می‌توان برای مثال به این انواع زیر اشاره نمود:

- Pulsator Clarifiers
- Super Pulsator Clarifiers
- Plated Type Pulsator Clarifiers
- Flat bottom Clarifiers
- .....

که از کلاریفایر ردیف اول تعداد قابل ملاحظه‌ای در کشور ساخته شده و در حال بهره‌برداری است.

نظر به اینکه این نشریه جنبه تبلیغاتی ندارد، لذا از بحث پیرامون نوع خاصی از حوضهای زلال‌ساز یاد شده خودداری می‌کند، توصیه می‌گردد که برای آشنایی با نکات و ویژگیهای اختصاصی هر یک از حوضهای زلال‌ساز به دفترچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری آنها مراجعه و دستورهای پیشنهادی به کار بسته شود، لیکن توضیحات کلی در مورد مکانیسم و روشهای کلی بهره‌برداری و نگهداری آنها ذیلاً شرح داده می‌شود:

• ساختمان و روش کلی بهره‌برداری از حوضهای ته‌نشینی و زلال‌ساز مرکب بهره‌گیرنده از بستر لجن

ساختمان این حوضها عموماً با مقطع مربع - مستطیل است و در طراحی سعی گردیده که آب خام پس از افزودن مواد شیمیایی لازم و طی مرحله انعقاد (بهم‌زنی سریع) به حوض هدایت شود و به صورت یکنواخت در کف منطقه ته‌نشینی حوض، توزیع و در امتداد قائم به طرف سطح آب در حوض هدایت شود. در این مرحله بسته به نوع طراحی ضربات هیدرولیکی متناوب وارد شده بر آب و یا سرعت عبور آب از دهانه‌های پیش‌بینی شده، سبب می‌گردد که ذرات ریز لجن اولیه تشکیل شده در عمق حوض به یکدیگر برخورد داده شود و در کف حوض رفته رفته لجن نسبتاً متراکمی با غلظت قابل توجه فراهم آید که برای توفیق در بهره‌برداری مطلوب باید با مکانیسمهای یاد شده این لجن در تمام سطح منطقه ته‌نشینی و در مقابل جریان رو به بالای آب به صورت لایه یکنواخت و با غلظت حجمی مطلوب گسترده شود و سعی بر آن باشد که لایه‌ای از لجن با ارتفاعی حدود ۳ متر (که در واقع فیلتری از لجن است) در مسیر آب خام منعقد شده قرار گیرد تا ذرات ریز لجن جذب این فیلتر شود و آب عبور کرده از آن که زلال شده است در سطح حوض به طور یکنواخت جمع‌آوری گردد.

در این حوضها برای جمع‌آوری و دفن لجن اضافی و کنترل ارتفاع بستر لجن، معمولاً از قیفهای تغلیظ لجن بهره‌گیری می‌شود که لبه فوقانی این قیفها در ارتفاعی قرار دارد که حداکثر ارتفاع بستر لجن هم است. بنابراین در صورت افزایش حجم لجن بستر و انبساط بستر لجن، مقدار لجن اضافی به داخل قیفهای جمع‌آوری و تغلیظ لجن سرازیر می‌شود و بعد از پر شدن قیف به طول معمول تا ۵۰ سانتیمتر از لجن متراکم تخلیه می‌شود تا لجن مجدداً فرصت تغلیظ را تا حد مطلوب داشته باشد و نتیجتاً حتی‌المقدور از اتلاف آب جلوگیری شود.

به طوری که یادآور شد، رمز موفقیت در بهره‌برداری از این حوضها ایجاد بستر لجن کاملاً یکنواخت و با غلظت پیشنهادی طراح در کف آن است و همچنانکه اشاره شد، برای دستیابی به این منظور امکاناتی فراهم گردیده که با بهره‌گیری از وسایل مکانیکی، تغییر سرعت جریان و یا ایجاد ضربه‌های هیدرولیکی به بستر لجن این امر میسر گردد.

به طور کلی برای اطمینان از یکنواختی بستر لجن در تمام سطح و ارتفاع لایه لجن باید با نمونه‌برداری یک لیتر لجن از ارتفاع و نقاط مختلف بستر که از پیش تعیین شده است و ریختن آن در یک استوانه مدرج پایه بلند، غلظت نمونه‌های لجن را بعد از ده دقیقه ته‌نشینی اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه نمود.

• اختلالات و مشکلات بهره‌برداری

تغییرات غلظت در نقاط مختلف سطح بستر نمایشگر عدم توزیع صحیح آب خام ورودی است که منجر به کدر شدن آب در نقاطی از سطح حوض می‌گردد که سرعت جریان بالاتر است و غالباً بر اثر ورود مواد اضافی و بسته شدن قسمتی از سیستم توزیع آب خام در کف حوض پیش می‌آید و باید با سرویسهای لازم برطرف گردد.

مشاهده غلظتهای بسیار متفاوت در نمونه‌های لجن برداشتی از ارتفاعات مختلف بستر لجن که معمولاً از نقاط زیر برداشت می‌شود، بیانگر آن است که سیستم یکنواخت کننده بستر لجن به خوبی تنظیم نگردیده است.

- حدود یک متری کف حوض روی سیستم توزیع آب خام

- حدود دو متری کف حوض

به طور کلی غلظت لجن زیاد در کف حوض دال بر ضعیف بودن جریان رو به بالا و ضربات هیدرولیکی وارد شده بر بستر لجن است و سبب انقباض بستر لجن و کاهش ارتفاع آن می‌گردد و نهایتاً نزول کیفیت آب خروجی را در پی دارد در حالت عکس نیز قدرت بیش از حد ضربات هیدرولیکی وارد شده بر بستر لجن و یا سرعت بیش از حد جریان آب توزیعی در کف سبب پارگی بستر لجن و انبساط زیاده از حد آن می‌گردد که در پی آن ذرات ریز لجن از بستر فرار می‌کند و در منطقه صاف ظاهر می‌شوند، این امر کدر شدن آب خروجی را سبب می‌شود و فشار بی‌موردی به سیستم صافیها وارد می‌نماید.

به طوری که اشاره شد، این حوضهای زلال‌ساز چنانچه به طول صحیح در بهره‌برداری قرار گیرند، در مقابل تغییرات نامطلوب شرایط بهره‌برداری زیر بسیار مقاوم‌اند:

- افزایش ناگهانی دبی

- قطع کوتاه مدت برق

- قطع کوتاه مدت مواد شیمیایی

- تغییرات درجه حرارت آب

- تغییرات pH آب

- تغییرات کیفی آب به ویژه افزایش بار مواد معلق در حدود پیش‌بینی شده در طراحی

- اشتباه در تخلیه لجن

- کوتاهی در تنظیمات به موقع و معمولی بستر لجن

#### ۴-۲-۳-۵-۱ روش کلی راه‌اندازی

- ضمن آنکه برای راه‌اندازی این حوضها مطالعه و به کاربندی دستورالعمل طراح ضروری است. لیکن رعایت موارد عمومی زیر توصیه می‌گردد:
- بازدید کامل از حوض و تاسیسات آن و کسب اطمینان از سلامت سیستم
  - بستن شیرهای تخلیه
  - باز کردن شیر آب خام حداکثر برای  $\frac{1}{3}$  ظرفیت اسمی حوض
  - تزریق مواد شیمیایی مورد نیاز در حد تشکیل ذرات بسیار خوب لجن در آزمایش جارتست به طور همزمان با باز کردن شیر آب خام
  - به حداقل رساندن ضربات هیدرولیکی وارد شده بر لجنی که در حال شکل گرفتن در حوض است.
  - باز کردن راههای خروج آب زلال شده پس از رسیدن سطح آب حوض به کانالهای جمع آوری سطحی
  - نمونه‌برداری از لجن تشکیل شده در کف و تنظیمات به موقع و مورد نیاز به صورتی که به شکل‌گیری هر چه سریعتر و مطلوبتر بستر لجن کمک نماید.
  - افزایش میزان آب خام ورودی متناسب با روند شکل‌گیری بستر لجن و تنظیمات بعدی سیستم به طور متناسب.
  - بهره‌برداری کامل پس از ایجاد بستر لجن با کمیت و کیفیت مطلوب و انجام دادن تنظیمات نهایی سیستم
  - یکنواخت‌ساز بستر لجن
  - کاهش مواد شیمیایی مصرفی با توجه به مسائل فنی - اقتصادی و بهداشتی
  - راه‌اندازی سیستم تخلیه لجن اضافی
  - کنترل کیفی آب زلال شده

#### ۴-۲-۳-۵-۲ متوقف ساختن حوض زلال‌ساز در کوتاه مدت

- نظر به اینکه در طرحهای مختلف روشهای یکنواختی در این مورد قابل اعمال نیست، بهتر است به توصیه‌های طراح عمل گردد؛ لیکن به صورت عمومی توجه به موارد زیر ضروری است:
- شیر آب خام بسته شود.
  - دریچه‌های خروجی آب زلال بسته شود.
  - تزریق مواد شیمیایی قطع گردد.
  - شیرهای تخلیه لجن بسته شود (چنانچه سیستم الکتریکی است خاموش گردد).
  - در حوضهایی که مجهز به توربین و یا سیستم ضربانگر هستند، بهتر است که این سیستمها با تنظیم مناسب به کار ادامه دهند تا لجن نسبتاً غلیظ در حوض ته‌نشین نشود و سبب گرفتگی مجاری عبور آب در کف حوض نگردد.

#### ۴-۲-۳-۵-۳ راه‌اندازی پس از توقف کوتاه مدت

در این مورد نیز توصیه‌های عمومی زیر می‌تواند مفید واقع شود:

- باز کردن دریچه‌های خروجی آب زلال
- باز کردن تدریجی شیر آب خام و همزمان از سرگیری تزریق مواد شیمیایی در حد تولید لجن بسیار خوب در جارتست
- افزایش دبی آب خام ورودی متناسب با بهبود کیفیت بستر لجن
- تنظیمات جدید سیستم متناسب با پیشرفت کار بهره‌برداری و کاهش مواد شیمیایی در حد لازم
- راه‌اندازی سیستم تخلیه پس از برقراری وضعیت عادی

#### ۴-۲-۳-۵-۴ متوقف ساختن حوض زلال‌ساز برای شستن و سرویس و تعمیرات

توصیه‌های کلی:

- بستن شیر آب خام و قطع همزمان تزریق مواد شیمیایی
- بستن دریچه‌های خروجی آب زلال شده
- متوقف کردن سیستم ضربانگر
- باز کردن شیرهای تخلیه قیفهای تغلیظ لجن
- باز کردن شیرهای تخلیه اصلی در کف حوض
- بعد از پایین رفتن سطح آب داخل حوض تا سطح بستر لجن و به دلیل آنکه مقدار لجن حوض بسیار زیاد و سنگین است، برای جلوگیری از ایجاد خساراتی به صفحات آرام کننده در کف حوض، لازم است که شیرهای اصلی تخلیه در حدی باز شوند که همواره لجن به صورت شناور باشد و به تدریج که سطح آب ورودی صفحات مذکور پایین می‌رود، لجن نشسته روی این صفحات شسته شود.
- بازدید کامل از تاسیسات برق و مکانیک داخلی حوض و مجاری عبور آب و سرویس تاسیسات به منظور آماده‌سازی حوض برای بهره‌برداری مجدد و در صورت نیاز پاکسازی خزهای جایگزین شده بر روی قسمتهای فوقانی دیواره‌های حوض.

#### ۴-۲-۳-۶ کلیات در مورد مکانیزم و بهره‌برداری از حوضهای ته نشینی زلال‌ساز مجهز به صفحات مورب

اگر وضعیت سقوط و ته‌نشینی یک لخته لجن را در دو لوله آزمایش متشابه که یکی عمودی و دیگر تحت زاویه ۶۰ درجه به طول مایل قرار داده شده است بررسی کنیم، ملاحظه می‌گردد که ته‌نشین لخته لجن در لوله آزمایشی که به طور مورب و تحت زاویه ۶۰ درجه قرار گرفته سریعتر است این عمدتاً به لحاظ آن است که در

مسیر طولانی سقوط لخته در لوله قائم، لخته با نیروهای مخالفی که از آب در هنگام جابه‌جایی بر آن وارد می‌شود روبه‌روست؛ لیکن ذره‌ای که در لوله مورب ته‌نشین می‌شود، مسیر کوتاهی را طی می‌کند و بعد از زمان کمی به دیواره شیبدار می‌رسد و نیروهای باز دارنده وارد شده بر آن در مقایسه بسیار محدودتر است.

در عمل از این خاصیت در حوضهای ته‌نشینی مستقل یا مرکب بهره‌گیری شده است و حوضهای ته‌نشینی نسبتاً جدیدتری طراحی گردیده‌اند (شکل شماتیک ۴-۱۱) که روی منطقه ته‌نشینی آنها صفحات مورب تحت زاویه ۶۰ درجه تعبیه گردیده و بدین تدبیر حوضهای ته‌نشینی مذکور بار سطحی بسیار بیشتری را به خوبی تحمل می‌کند و به لحاظ نگهداری لجن غلیظتر بازده بهتری را ایجاد می‌نماید. به دلیل آنکه این صفحات را تقریباً روی اغلب حوضهای ته‌نشینی بخصوص حوضهایی با مقطع مربع و مستطیل می‌توان نصب کرد، اصول کلی بهره‌برداری و نگهداری این حوضها نیز مشابه آنچه که گذشت خواهد بود، لیکن ضمن تاکید به توجه بر دستورالعملهای اختصاصی طراح و سازنده باید یادآور شد که به دلیل وجود این صفحات کنترل چشمی عمق حوض ته‌نشینی میسر نیست و باید نمونه‌گیری از سوسپانسیون یا بستر لجن زیر صفحات مورب و تنظیم غلظت و یکنواختی لجن مورد توجه زیادی باشد؛ در غیر این صورت بی‌توجهی به این مهم می‌تواند منجر به افزایش غلظت لجن به صورتی گردد که حوض غیر قابل بهره‌برداری و نیازمند تخلیه و شستشوی کامل گردد که باز هم به لحاظ وجود صفحات مورب با دشواری بیشتری، نسبت به حوضهای زلال‌ساز معمولی روبه‌روست.

#### ۴-۲-۴ صاف سازی

همانطور که در بخش زلال‌سازی ذکر شد، آبهای سطحی، به ویژه آبهای رودخانه در مواقع سیلابی دارای مقادیر متغیری از املاح محلول و مواد معلق نظیر گل و لای و مواد کلوییدی است. میزان مواد مزبور و کیفیت و درشتی ذرات و نیز سرعت ته‌نشینی طبیعی و جدا شدن آنها از آب، ایجاد می‌نماید که عملیات پیش تصفیه و زلال‌سازی در مورد آب دریافتی از منابع مزبور به مورد اجرا گذارده شود که مراتب طی مطالعات فاز اول و فاز دوم طراحی تاسیسات تصفیه‌خانه مشخص شده است. در هر حال بعد از اقدام به زلال‌سازی به کار گرفتن صافی به منظور حذف آخرین بقایای مواد معلق همراه آب ضرورت پیدا می‌کند.

نوع و تعداد صافیهای مورد نیاز که برای به دست آوردن آب با کیفیت مطلوب در طرح پیش بینی شده، در مطالعات فاز اول و دوم بررسی می‌شود تا منطبق بر مشخصات استاندارد طراحی شده باشد.

انواع صافیهای مورد استفاده در صاف‌سازی آب آشامیدنی به شرح زیر است:

الف- صافیهای تند با جریان ثقلی

ب- صافیهای تند تحت فشار

ج- صافیهای کند

د- صافیهای ویژه (میکروفیلترها<sup>۱</sup> - اولترافیلترها<sup>۲</sup> - فیلترهای سرامیکی - فیلترهای دیاتوم)

1 - Micro Filters  
2 - Ultra Filtration



در طراحی صافیهای یک تصفیه خانه، همواره تعداد یک یا دو واحد صافی زیاده بر آنچه که ظرفیت تصفیه خانه ایجاد می نماید در نظر می گیرند تا در مواردی که یک واحد صافی در حال شستشو است، یا به عللی خارج از سرویس است، صاف سازی با مشکلی روبه رو نگردد و ظرفیت تصفیه خانه کاهش نیابد.

#### ۱-۴-۲-۴ بهره برداری و نگهداری صافیهای تند با جریان نقلی<sup>۱</sup>

در صافیهای تند باز (ثقلی)، آب از "لایه صاف کننده" تحت تاثیر نیروی گرانش عبور می کند. آبی که در صافی وارد می شود "آب ورودی" و آبی که بعد از "صاف سازی" از صافی خارج می شود «آب صاف» و عمل اجرا شده برای تبدیل آب ورودی به آب صاف را "صاف سازی" می نامند و در هر مورد که «آب تصفیه شده» ذکر شود، منظور آب صاف سازی شده است که عملیات سالم سازی نیز در آن اجرا شده باشد.

لایه صاف کننده در این نوع صافیها باید ماسه مقاوم در مقابل اسید و فرسایش باشد و دارای دانه بندی و با اندازه موثر<sup>۲</sup> و ضریب یکنواختی مناسبی<sup>۳</sup> باشد.

لایه صاف کننده ممکن است یک لایه با دانه بندی یکنواخت و یا متشکل از چند لایه با دانه بندیهای متفاوت باشد. در هر حال یک لایه شن با دانه بندی و ارتفاع متناسب با لایه صاف کننده در کف صافی و روی سطح نازلها ریخته می شود تا حتی المقدور از فرار ماسه همراه آب به زیر صافی جلوگیری شود.

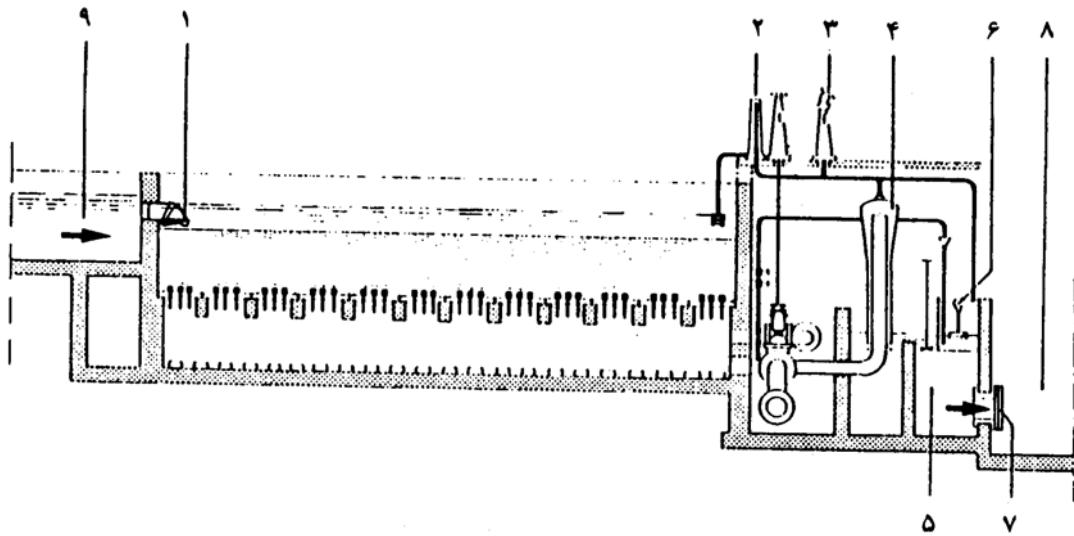
#### ۱-۴-۲-۴ ساختمان صافیهای تند و متعلقات آن

صافی تند، حوضچه ای است با کف کاذب که روی این کف نازلها نصب می شود و لایه ماسه را نگهداری می کند. صافیهای تند به صورت تک واحدی یا زوج طراحی می گردند. این صافیها معمولاً دارای شیرهای خروج آب صاف، ورود آب شستشو، ورود هوای فشرده و شیر تخلیه صافی و شیر یا دریچه های آب ورودی به صافی اند تا در شرایط بهره برداری صافی بتوانند سطح آب را در تراز نسبتاً ثابتی نگهداری و در نتیجه بده ثابتی را نیز فراهم آورند (شکل ۴-۱۲)

در صافیهایی که سطح آزاد آب بالای لایه صاف کننده نزدیک به دو متر یا بیشتر از دو متر باشد، صافی به نحوی طراحی می شود که از اتلاف آب موجود در صافی، قبل از عمل شستشو، جلوگیری شود. در صافیهای طرح قدیمی دیوارهای دو طرف در طول صافی با استفاده از یک مکانیسم ساده تا حدی که موقع شستشوی صافی فقط ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر آب روی لایه ماسه باقی بماند، کنار می رفت که مقدار قابل توجهی از آب صاف شدنی تلف می شد. در طرحهای جدید شیر آب صاف بعد از بسته شدن شیر ورودی آب به صافی باز نگهداشته می شود تا سطح آزاد آب تا تراز نزدیک به ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر بالای لایه صاف کننده فروکش کند و در این تراز کانالی

1 - Open Rapid Sand Filters  
2 - Effective Size (ES)  
3 - Coefficient of Uniformity (CU)

در طول صافی وجود دارد که آب شستشوی صافی را به خارج هدایت می‌کند. در طرح صافیهای تند با نیروی ثقلی علاوه بر تجهیزات فوق دستگاههایی نظیر: "نشاندنده بده خروجی آب صاف" که ممکن است دارای دستگاه ثابت نیز باشد و نمایشگر میزان "اتلاف فشار" که در اثر نفوذ و به دام افتادن مواد معلق در لایه صافی و مسدود شدن تدریجی منافذ بین دانه‌ها پیش می‌آید، منظور گردیده است. امکان طراحی اتومکانیک به تبعیت از فرمان الکتریکی و الکترونیکی نیز وجود دارد مجموعه کلیدهای فرمان صافی نیز ممکن است در یک "میز فرمان" و یا در یک تابلو برای گروه صافیها نصب شده باشد.



- ۱- دریچه یکطرفه ورود آب خام
- ۲- سیستم کنترل برای نگهداری حداقل ارتفاع لازم آب روی بستر
- ۳- نمایشگر افت فشار
- ۴- سیفون کنترل
- ۵- حوضچه آب فیلتر شده خروجی
- ۶- محفظه فلوتور شیر کنترل هوا
- ۷- دهانه خروجی آب فیلتر شده
- ۸- کانال آب صاف شده
- ۹- کانال آب زلال شده ورودی صافی

شکل ۴-۱۲ شکل شماتیک صافی تند شنی ثقلی با سیستم کنترل بده ثابت

## ۴-۲-۴-۱-۲ تنظیم صافیها

از نظر روش تنظیم، صافیهای ثقیلی به سه گروه تقسیم می‌شوند:

الف- صافیهای با بده ثابت و ارتفاع آب متغیر

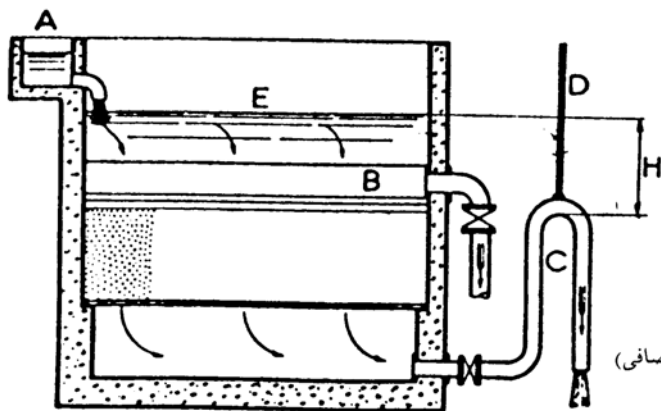
ب- صافیهای با بده و ارتفاع ثابت

ج- صافیهای با بده و ارتفاع متغیر

### الف- صافی با بده ثابت و ارتفاع متغیر

ارتفاع سطح آب در این نوع صافی متغیر و بده آن تقریباً ثابت است (شکل ۴-۱۳) وقتی که صافی تمیز است، سطح آب داخل صافی درست روی سطح ماسه را می‌پوشاند و هم سطح شترگلوی (سیفون) آب تصفیه شده است، به تدریج که لایه صافی گرفته می‌شود، سطح آب داخل صافی بالا می‌آید (فشار لازم برای تامین بده ثابت آب را ایجاد می‌کند) هنگامی که صافی تا حد مجاز گرفته شد، سطح آب داخل صافی هم سطح آب ورودی خواهد گردید. به طور کلی حدود تغییرات سطح آب بین ۱/۵ تا ۲ متر که بستگی به دانه‌بندی ماسه دارد در نظر گرفته می‌شود.

امروزه به ندرت از این نوع صافیها استفاده می‌شود.



A- کانال آب ورودی

B- کانال تخلیه لجن

(آب لجن حاصل از شستشوی صافی)

C- خروجی آب تصفیه شده

D- اختلاف ارتفاع بین سطح

آب در داخل این لوله و سطح صافی

نمایشگر افت فشار در داخل صافی است.

E- سطح آب روی صافی

(به تدریج که صافی کثیف می‌شود، بالا می‌آید.)

H- حداکثر مجاز افت فشار

شکل ۴-۱۳ یک صافی با بدهی ثابت و سطح آب متغیر

### ب- صافیهای با بده و ارتفاع ثابت

ارتفاع آب روی بستر در این صافیها تقریباً ثابت و دارای تغییرات کمی است، آب تصفیه شده خروجی از صافی دارای بده تقریباً ثابتی است که بستگی به بده کلی تصفیه خانه دارد و به تعداد صافیهای در حال کار تقسیم می شود آب تصفیه شده خروجی در حدود ۲ تا ۳ متر پایین تر از سطح صافی جمع آوری می شود.

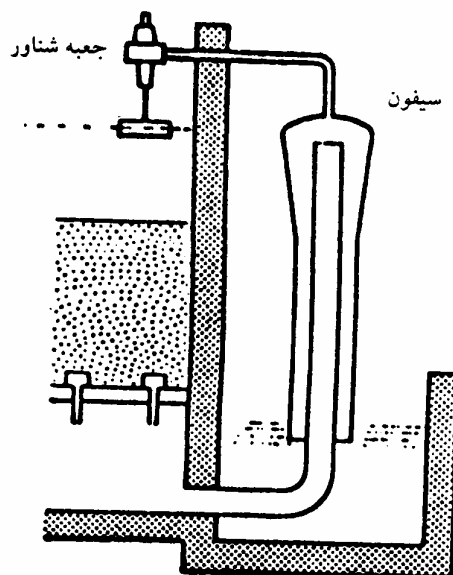
به منظور ثابت نگهداشتن ارتفاع آب در روی صافی (خالی نشدن یا زیاد پر نشدن صافی) هر صافی مجهز به یک سیستم تنظیم کننده است که می تواند در زمانی که صافی تمیز است، افت فشار مصنوعی نسبتاً زیاد ایجاد نماید و به تدریج که صافی کثیف می شود، این فشار (که توسط سیستم تنظیم کننده به وجود آمده) تقلیل می یابد، به عبارت دیگر سیستم تنظیم کنند افت فشاری را که بر اثر کثیف شدن صافی ایجاد می شود جبران می کند.

سیستمهای تنظیم کننده: به طور کلی در این نوع صافیها بیشتر دو روش تنظیم کننده به کار برده می شود که عبارتند از:

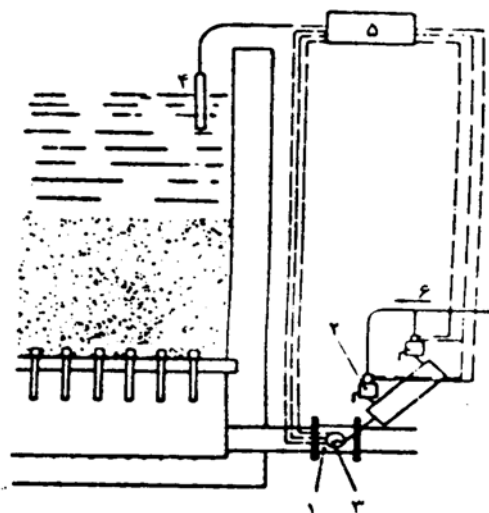
- تنظیم کننده هیدرولیکی (سیفون هم مرکز یا جعبه شناور) شکل ۴-۱۴

- روش الکترونیک شکل ۴-۱۵

این نوع صافیها به لحاظ ثابت بودن تقریبی ارتفاع آب و بده از ایمنی بیشتری برخوردار است و بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند:



شکل ۴-۱۴ شمای تنظیم کننده به روش سیفون و جعبه شناور



- ۱- شیر پروانه‌ای
- ۲- شیر برقی فرمان دهنده
- ۳- پتانسیومتر عکس العمل
- ۴- دکتور سطح
- ۵- جعبه تنظیم کننده
- ۶- ورودی سیال فرمان دهنده

شکل ۴-۱۵ شمای تنظیم کننده صافی به روش الکترونیک

### ج- صافیها با بده و ارتفاع متغیر

این نوع صافیها فاقد هرگونه سیستم تنظیم کننده‌اند، بهمین جهت به تدریج که صافی کثیف می‌شود، بده آن تقلیل می‌یابد.

### ۴-۲-۴-۱-۳ سرعت صاف سازی (بار سطحی)

سرعت صاف‌سازی عبارت است از مقدار آبی که هر متر مربع از صافی در مدت یک ساعت می‌تواند تصفیه کند.

سرعت صاف‌سازی با توجه به کیفیت آب زلال‌سازی شده پس از آزمایشهای لازم پایلوت، در  $\left(\frac{m^3}{m^2/h}\right)$

طراحی تعیین می‌گردد؛ زیرا کیفیت آب تصفیه شده تابعی از سرعت تصفیه نیز است.

آزمایشهای انجام شده نشان می‌دهد که بار سطحی صافیهای ثقیلی می‌تواند از ۵ تا ۱۰ m/h انتخاب گردد به شرطی که آب قبلاً در حوضهای زلال‌ساز خوب ته‌نشین شده باشد. سرعتهای کمتر، از نظر کیفیت آب تصفیه شده اطمینان بیشتری دارد، ولی در عوض سبب می‌شود که ابعاد صافیها بزرگ شود، لذا در مورد سرعتهای صاف‌سازی (بار سطحی) و فاکتورهای موثر بر آن که بعداً به آنها اشاره خواهد شد، باید با تحقیق و آزمایش انتخاب بهینه به عمل آید.

به طور کلی صافیها باید طوری طراحی شوند که تقریباً تمام میکرو ارگانیسمها و لخته‌های بسیار ریزی که از حوضهای ته‌نشینی فرار کرده‌اند به وسیله لایه صافی حذف گردند.

کیفیت آب بستگی به دانه‌بندی، سرعت عبور آب و عمق مناسب بستر صافی دارد. بنابراین انتخاب دانه‌بندی ریزتر، سرعت عبور کمتر و عمق مناسب بستر صافی کیفیت بهتری را برای آب صاف شده تامین می‌نماید. متقابلاً در این حالت ابعاد بزرگتر و تجهیزات بیشتری برای صافی مورد نیاز خواهد بود.

#### ۴-۲-۴-۱-۴ زمان کارکرد صافی

زمان کارکرد صافیهای تند با نیروی ثقل بسته به کیفیت آب ورودی متغیر است و هر چه دقت عمل و امکانات در زلال‌سازی آب بیشتر باشد، مدت زمان کارکرد صافی طولانیتر خواهد بود. در شرایطی که زلال‌سازی به خوبی انجام نگیرد، مواد معلق که همراه آب وارد صافی می‌شود منافذ موجود بین دانه‌های ماسه در لایه صافی را به تدریج مسدود می‌کند و بدین ترتیب مقداری از فشار که قشر آب موجود در زیر لایه صاف کننده وارد می‌کند، بر اثر مقاومت در مقابل عبور جریان که مسدود شدن مجاری پیش آورده است، خشی خواهد شد و این پدیده تحت عنوان "افت فشار" بیان می‌شود که در بهره‌برداری از یک واحد صافی نباید از حدی که در طراحی تعیین شده است، تجاوز نماید.

از طرف دیگر در شرایط آب و هوای کشورمان و تابش آفتاب در طول روز که رشد و ازدیاد سریع ارگانیسم‌های آبی را فراهم می‌سازد و محیط داخل صافی برای تکثیر باکتریها مناسب می‌گردد، بهره‌برداری در یک واحد صافی برای مدت طولانی توصیه نمی‌شود. از طرفی یک واحد صافی تند را هر زمان که افت فشار آن ایجاب نماید، از سرویس خارج کرده و خواهند شست.

#### ۴-۲-۴-۱-۵ تجهیزات شستشوی صافیهای تند با نیروی ثقل

شستشوی این نوع صافیها با استفاده از آب تصفیه شده انجام می‌شود و جریان آب شستشو در عکس جهت جریان آب در موقع صاف‌سازی خواهد بود تا انبساط لایه ماسه را برای رها ساختن ذرات جمع‌آوری شده در منافذ فراهم سازد. تجهیزات شستشوی صافی به شرح زیر است:

- تلمبه آب شستشو که معمولاً ۲ یا ۳ واحد پیش‌بینی می‌شود که یک واحد آماده کار و یک یا ۲ واحد برای شستشو راه‌اندازی می‌شود.
- دمنده<sup>۱</sup> هوا که اقدام به شستشوی صافی برای به هم ریختن لایه‌های ماسه و متفرق کردن دانه‌های آنها در آب پیش‌بینی شده است.
- تابلو فرمان صافی که فرمانهای راه‌اندازی و توقف تلمبه‌ها و دمنده‌ها و مانور شیرهای آب شستشو و هوادمی و تخلیه صافی و سایر شیرها و سایر تجهیزات روی آن نصب شده است.

---

1 - Blower

در مورد صافی‌هایی که سطح آزاد آب روی ماسه صافی کمتر از یک متر ارتفاع دارد، بعد از بستن شیر خروج آب و شیر ورودی آب، صافی برای شستشو آماده است. در صورتی که سطح آزاد آب بالاتر از یک متر روی لایه ماسه باشد، قبلاً شیر ورود آب بسته می‌شود و باید منتظر بود تا سطح آب در صافی به تراز لبه جدایی مخزن ماسه و مجرای شستشو برسد. عملیات شستشوی صافی به شرحی خواهد بود که در دستورالعمل بهره‌برداری تصفیه‌خانه از طرف سازنده ارائه شده است.

#### ۲-۴-۲-۴ صافیهای تند تحت فشار

این صافیها از یک استوانه فلزی تشکیل شده که در دو انتها به عدسی ختم می‌شود و به ابعاد مناسب با آبدهی ساخته می‌شود و ممکن است ایستاده و یا خوابیده (روی محور افقی) با پایه‌ای بلندتر از کف زمین ساخته شود. این گونه صافیها غالباً در تاسیسات کوچک و کارخانجات مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریان آب ورودی به صافی ممکن است با تبعیت از اختلاف سطح منبع آب و محل استقرار صافی و یا با استفاده از فشار مناسبی که از طریق خطوط لوله انتقال آب و یا تلمبه تامین گردد.

آب ورودی به صافی از لایه صاف کننده و در جهت از بالا به پایین جاری خواهد شد و لایه صاف کننده ممکن است با دانه‌بندی یکنواخت و یا چند لایه با دانه‌بندیهای متفاوت طرح شود.

صافیهای تحت فشار دارای دریچه مناسب برای داخل کردن شن و ماسه و بازدید و یا خارج کردن شن و ماسه در مواقع لزوم‌اند و نیز دارای شیر ورود آب، شیر خروج آب صاف، شیر ورود آب شستشو، شیر تخلیه و خروج آب شستشو هستند. در بالاترین نقطه صافی یک شیر تخلیه هوا که ممکن است به طور خودکار عمل نماید، نصب می‌شود. علاوه بر وسایل فوق صافی ممکن است دارای فشار سنج و کنتور آب و دستگاه سنجش افت فشار باشد.

#### ۱-۲-۴-۲-۴ راه‌اندازی و بهره‌برداری صافیهای تحت فشار

صافیهای تحت فشار را نباید یکباره با تمام ظرفیت راه‌اندازی نمود، بلکه به آرامی و مراقبت شیر ورود آب طوری باز می‌شود که ظرف مدت ۱۵ تا ۲۰ دقیقه شیر کاملاً باز داشته باشیم و در هر حال رعایت کامل دستورالعملهای بهره‌برداری شرکت سازنده ضرورت دارد. قبل از راه‌اندازی صافیها چه در شروع کار و یا پس از هر سرویس باید سطح ماسه صاف باشد و کلیه لوله‌های ارتباطی آب و یا هوا سالم و صحیح باشند. بهتر است قبل از راه‌اندازی اولیه و بعد از هر سرویس دریچه بازدید باز باشد و صافی را تا سطح ماسه از آب پر نمود (در صورتی که پر نمودن صافی از مسیر شستشو با جریان معکوس<sup>۱</sup> انجام پذیرد مناسب‌تر است؛ زیرا ماسه‌های موجود در سطح، به هم خوردگی پیدا نمی‌کنند) و آنگاه شیر هوا و شستشو با جریان معکوس را به آرامی باز نمود تا از توزیع یکنواخت بار هیدرولیکی در سطح صافی در حین شستن آن اطمینان حاصل شود. در صورتی

1- Back Wash

که بار هیدرولیکی یکنواخت توزیع نگردد، صافی در بهره‌برداری دچار اشکال خواهد شد و کیفیت آب حاصله نامناسب می‌گردد. لازم به ذکر است که علل اصلی عدم توزیع یکنواخت آب و هوا مربوط به طرح نامناسب کف صافی، شکستگی و گرفتگی نازلها و همچنین لوله توزیع هوا است.

نظر به طرحهای متفاوت که در ساختمان این گونه صافیها اجرا می‌شود، بهره‌برداری معمولاً براساس توصیه سازنده خواهد بود، ولی معمولاً بهره‌برداری با باز کردن شیرهای تخلیه هوا که در بالای صافی نصب می‌شود و شیر خروجی و سپس شیر ورودی که به آرامی انجام می‌گیرد، شروع خواهد شد. در صورتی که ماسه‌های درون صافی کثیف باشند، قبل از باز نمودن شیر خروجی شیر تخلیه را باز می‌کنیم و آنقدر آب عبور می‌دهیم تا صافی تمیز گردد. با پر شدن صافی از آب، شیر تخلیه هوا را در صورتی که خودکار نباشد، به نحوی می‌بندیم که دائماً مقداری آب از آن خارج گردد؛ در غیر این صورت هوا در بالای صافی متراکم می‌شود و مشکل ایجاد خواهد کرد.

در خاتمه کار صافی، که زمان آن بستگی به کیفیت و میزان آب تصفیه شده دارد، لایه ماسه صافی نسبتاً گرفته شده و خوب عمل نمی‌کند، در این حالت که معمولاً براساس تجربه و یا افت فشار داخل صافی مشخص می‌گردد، صافی نیاز به شستشو پیدا می‌کند که با جریان دادن آب در عکس جهت صاف‌سازی به ترتیب عملیات زیر انجام می‌پذیرد.

- شیر آب خام ورودی به صافی بسته شود.
- شیر خروج آب صاف نیز بسته شود.
- شیر تخلیه هوا باز شود.
- شیر خروجی آب شستشو باز شود.
- شیر ورودی آب شستشو باز شود.

باید دقت نمود که در ابتدا و برای چند دقیقه به آرامی و مطابق دستورالعمل شیر هوا باز شود و سپس شیر آب شستشو نیز باز گردد. در صورتی که در این مرحله دقت کافی به عمل نیاید، علاوه بر مخلوط شدن ماسه‌های درون صافی سطح آن هم به هم می‌خورد که در عملکرد صافی بسیار موثر است، لذا توصیه می‌شود در ابتدا بهره‌برداری ضمن رعایت دستورالعمل شرکت سازنده با احتیاط کامل عمل نمود تا تجربه لازم حاصل گردد. پایان عملیات شستشو را می‌توان با مشاهده آب زلال در خروجی تشخیص داد.

مراحلی که توضیح داده شد، مربوط به صافیهایی هستند که به طور دستی عمل می‌کنند، ممکن است این عملیات به صورت خودکار یا نیمه خودکار انجام پذیرد، ولی در هر حال بواسطه اینکه عملیات صاف‌سازی و شستشو را نمی‌توان مشاهده نمود، کنترل آنها آسان نیست و احتمال افزایش بار هیدرولیکی در موقع کار و یا خروج بخشی از ماسه‌های ریز دانه در حین شستشو وجود دارد و به همین دلیل باید طی یک برنامه زمانبندی شده سطح و ارتفاع ماسه را کنترل نمود و کاهش ماسه را جایگزین کرد.



#### ۴-۲-۴-۲ نگهداری صافیهای تحت فشار

سرویس سالیانه این صافیها ضروری است و در این صورت باید صافی را کاملاً تخلیه نمود، کف صافی و نازلای تعبیه شده را دقیقاً کنترل کرد و در صورت لزوم نازلای معیوب را تعویض کرد. کنترل لوله هوا موجود در کف صافی و یکنواختی توزیع هوا هم باید انجام پذیرد؛ زیرا در صورتی که این لوله پوسیده و شکسته باشد، توزیع هوا یکنواخت نخواهد بود که نتیجتاً عملیات شستشو به خوبی انجام نمی‌گیرد. در سرویس سالیانه، جداره داخلی فیلتر باید تمیز و مجدداً با رنگ مناسب پوشش داده شود. کلیه شیرها باید باز و تمیز و در صورت لزوم سرویس گردند.

شن و ماسه‌ای که از صافی خارج می‌گردند، ممکن است مقداری با هم مخلوط شده باشند که در این صورت ابتدا آنها را با آب می‌شویند تا کاملاً تمیز گردند؛ سپس با سرند مناسب جدا می‌کنیم و پس از آماده شدن فیلتر درون آن ریخته می‌شود.

صفحه نگاهدارنده در کف صافی که نازلها روی آن تعبیه شده‌اند، معمولاً به بدنه صافی به طور کامل نمی‌چسبند و لذا موقع شستن صافی آب و هوا می‌تواند بیشتر از اطراف صافی وارد شود که تاثیر منفی در عملکرد صافی دارد، لذا باید در موقع سرویس صافیها با مواد و مصالح مناسب این فاصله را پر نمود.

#### ۴-۲-۵ روشهای سالم‌سازی

پس از تصفیه فیزیکی و شیمیایی آب میکرو ارگانیسمها به ویژه باکتریها به طور کامل از آب حذف نمی‌شوند؛ در حالی که آب شرب، باید عاری از هرگونه میکرو ارگانیسم باشد. بدین منظور از روشهای سالم‌سازی برای حذف کامل میکرو ارگانیسمها استفاده می‌گردد. این روشها در بخشهای ذیل در پی آمده است:

#### ۴-۲-۵-۱ کلر

کلر در سال ۱۷۷۴ کشف شد و تا سال ۱۸۸۸ که امکان انبار کردن کلر خشک در ظروف آهنی و فولادی ابداع شد، مصارف کلر محدود و به صورت آب ژاول به عنوان ضد عفونی کننده، محلولهای کلر و پودرهای سفیدکننده و اسید کلریدریک بود و از آن به بعد در صنایع کاغذسازی، صنایع نساجی و... مورد مصرف پیدا کرد. در سال ۱۸۹۶ برای اولین بار کلر زنی برای ضد عفونی کردن مستقیم آب در رابطه با مطالعات فیلتراسیون به صورت آزمایشی در لویزویل انجام شد. در سال ۱۸۹۷ نیز در انگلستان به منظور ضد عفونی کردن آب شبکه توزیع پس از بروز یک اپیدمی تیفوئید (حصبه) به صورت آزمایشی برای مدت کوتاهی اعمال شد.

در سال ۱۹۰۲ در بلژیک برای اولین بار کلرزنی به صورت مداوم و با هدفهای کمک به ضدعفونی کردن آب و فرآیند انعقاد انجام گردید. در زیر ویژگیهای کلر به صورت اختصار توضیح داده شده است:

#### الف- ویژگیهای فیزیکی

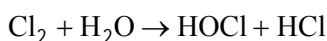
Cl	علامت اختصاری
۳۵/۴۶	وزن اتمی
۱/۴۷ g/cm <sup>3</sup>	وزن مخصوص
-۳۴/۰۵ °C	درجه حرارت میعان در فشار آتسمفر
-۱۴۴ °C	درجه حرارت بحرانی
۷۶ اتمسفر	فشار بحرانی
۱/۴۱	چگالی نسبت به آب
-۳۴/۵ °C	درجه حرارت نقطه جوش
-۱۰۰/۹۸ °C	درجه حرارت نقطه انجماد

از یک حجم مایع در صفر درجه سانتیگراد در یک آتسمفر ۴۵۷ حجم گاز تولید می شود  
 انحلال در آب- انحلال در کلر در آب به درجه حرارت بستگی دارد؛ به طوری که در فشار معمولی در ۲۰ °C،  
 ۷/۳ گرم کلر در یک لیتر آب حل می شود.  
 در ۱۰ °C، ۱۰ گرم کلر در یک لیتر آب حل می شود.  
 در ۵ °C، ۶/۴ گرم کلر در یک لیتر آب حل می شود.  
 در ۰ °C، ۴/۶ گرم کلر در یک لیتر آب حل می شود.

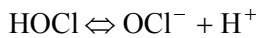
#### ب- ویژگیهای شیمیایی

اهم ویژگیهای شیمیایی کلر به شرح زیر است:

- کلر در درجه حرارت معمولی با اکثر فلزات میل ترکیبی دارد.
- برای نگهداری کلر، از ظروف فولادی، چدنی، مس، برنز، نیکل و سرب می توان استفاده کرد.
- معمولاً به علت ویژگیهای خاص کلر، در دستگاه های کلرزنی (کلریناتورها) لوله ها از جنس فلزات مخصوص مانند: نقره، پلاتین با روکش طلا هستند؛ در حالی که برای خط انتقال و تزریق آب کلر به آب از لوله های پی وی سی و پلاستیکی استفاده می شود.
- ترکیب با آب  
 کلر با آب تولید اسید هیپوکلرو و اسید کلریدریک می نماید که این دو اسید خاصیت خوردندگی شدید دارند.



HOCl اسید هیپوکلرو نامیده می‌شود و این اسید عامل ضد عفونی کردن و میکروب کشی است. این اسید در شرایطی به صورت زیر تفکیک می‌شود.



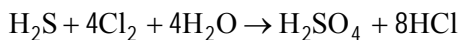
-  $\text{OCl}^-$  هیپوکلریت نامیده می‌شود که خاصیت ضد عفونی کردن آن کمتر از اسید هیپوکلرو (HOCl) است.  
 - کلر با سایر مواد موجود در آب مانند: آمونیاک، نیتريت، آهن، سولفید هیدروژن، مواد ارگانیک ترکیب می‌شود، به همین دلیل این مواد موجود در آب سبب ازدیاد مصرف کلر می‌گردد.

- ترکیب با آمونیاک

کلر با آمونیاک و مواد ازته موجود در آب ترکیب شده منوکلرآمین ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) و در صورت ازدیاد کلر نسبت به مواد ازته بیشتر به ترتیب دی کلر آمین ( $\text{NHCl}_2$ ) و بالاخره تری کلر آمین ( $\text{NCl}_3$ ) تولید می‌شود. منوکلرآمین در pH بیشتر از ۷/۵ و دی کلر آمین در pH بین ۵/۵ تا ۶ و تری کلر آمین در pH ۶/۵ حاصل می‌شود. اثر میکروبوکشی منوکلرآمین از دیکلرآمین و تری کلر آمین بیشتر است.

- ترکیب با سولفید هیدروژن

کلر با سولفید هیدروژن مطابق فرمول زیر ترکیب می‌شود.



#### ۴-۲-۵-۱ کاربرد کلر

کلر دارای مصارف متنوع در صنایع و تولید: مواد شیمیایی، کاغذ سازی، دارویی، ضد عفونی کننده‌ها، مواد پلاستیکی، ... است که با توسعه و پیشرفت صنایع مصرف آن روز افزون است. به عنوان مثال در سال ۱۹۷۰ مقدار کلر تولیدی جهان در حدود ۱۵ میلیون تن است و نسبت مصرف آن در همان سال در صنایع مختلف حدوداً به شرح زیر بوده است:

صنایع شیمیایی	۸۰٪
صنایع کاغذ سازی ض	۱۶٪
صنایع بهداشتی و خانگی	۳٪
سایر موارد	۱٪

#### ۴-۲-۵-۱-۲ دستگاههای کلرزی

امروزه کلر به دو صورت زیر برای سالم سازی آب مورد مصرف قرار می گیرد:

- گاز کلر، که تحت فشار به صورت مایع در کپسول عرضه می شود

- هیپوکلریتها

دستگاههایی که برای کلرزی آب ساخته شده است، به دو گروه زیر تقسیم می شوند:

کلریناتورها: "دستگاههایی که برای تزریق گاز کلر به آب مورد استفاده قرار می گیرند."

هیپوکلریناتورها: "دستگاههایی که برای تزریق محلولهای کلردار به کار برده می شوند."

بر اساس آماری که در سال ۱۳۶۶ از شهرهای ایران که در آنها کلرزی انجام می شود، از نظر روش کلرزی نتایج زیر استخراج شده است:

استفاده از کلریناتورها ۲۱ درصد شهرها

استفاده از هیپوکلریناتورها ۵۶ درصد شهرها

استفاده از هر دو سستم کلریناتورها و هیپوکلریناتورها ۲۳ درصد شهرها

کلر به صورت گاز مایع ارزانه ترین نوع کلر است، در تصفیه خانه های بزرگ که مصرف کلر زیاد است، باید از این نوع کلر استفاده شود، ولی در تصفیه خانه های کوچک و مصارف اضطراری و مقطعی از نظر اقتصادی و فنی، استفاده از هیپوکلریناتورها ارجحیت دارد.

در هر صورت انتخاب روش ضد عفونی کردن و سالم سازی باید با توجه به کمیت آن و امکانات محلی و نوع آلودگیها و امکانات فنی انجام گیرد.

#### الف- کلریناتورها

کلریناتورها دستگاههایی هستند که جریان کلر را کنترل و اندازه گیری می کنند و از طریق سیستمی که پیش بینی شده به آب وارد می کنند. با توجه به کیفیت گاز کلر هر دستگاه کلرزی باید مجهز به تجهیزاتی باشد که بتواند با دقت هر چه بیشتر و بالاترین درجه ایمنی و حفاظت کار کند.

در شکل (۴-۱۶) اصول کار و تکامل دستگاه کلرزی گازی (کلریناتور) از ساده ترین تا آنچه که کلریناتور کامل نامیده می شود، ارائه شده است. در ردیف ۱ از شکل ۴-۱۶ ساده ترین نوع کلریناتور نشان داده شده است؛ این مجموعه شامل یک قطعه لوله باریک نقره ای متصل به کپسول کلر است؛ در این مورد از شیر مخزن برای تنظیم گاز کلر استفاده می گردد:

توجه: ردیفهای شماره یک و دو و سه در شکل ۴-۱۶ فقط برای نشان دادن مسیر تکامل کلریناتور و نباید از آنها بجز مواقع خیلی اضطراری در ساختن دستگاههای کلریناتور استفاده کرد. مسیر تکامل کلریناتور شامل مراحل زیر است:

- شیر یکطرفه

برای حفاظت از مجموعه نشان داده شده در ردیف ۱ شیر یکطرفه به آن افزوده شده که در ردیف دوم شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است. این شیر یکطرفه از برگشت آب به سمت کپسول کلر ممانعت می‌کند؛ این تکامل اولین گام اصلاحی در جهت حفاظت دستگاه و اشخاص و تامین بهره‌برداری مطلوب است.

- دستگاه اندازه‌گیری

به منظور اطلاع و کنترل مقدار گاز کلر نصب یک دستگاه اندازه‌گیری یا دبی سنج کلر به سیستم کلریناتور ضرورت دارد تا بدین وسیله هم از مقدار مصرف کلر اطلاع حاصل شود و هم بتوان مقدار تزریق کلر و در نتیجه کلر باقیمانده را کنترل کرد.

در ردیف سوم شکل ۴-۱۶ این دبی سنج نشان داده شده است اگر گاز کلر افزوده نشود، دبی سنج مقدار صفر را نشان می‌دهد و هرگونه تغییری در میزان تغذیه گاز کلر دقیقاً توسط دبی سنج نشان داده می‌شود. تغییر دبی جریان توسط تنظیم روزنه قابل تغییر  $O_7$  واقع در پایین دست دبی‌سنج انجام می‌گیرد.

- شیرهای متعادل کننده

برای جلوگیری از آثار شرایط متغیر بالادست و پایین دست در امر کنترل، شیرهای تنظیم کننده‌ای در طرفین روزنه اضافه شده است. در ردیف چهارم شکل ۴-۱۶ این شیرها نشان داده شده است که به کمک آنها می‌توان شرایط بالادست و پایین دست روزنه قابل تغییر را برای کنترل دبی جریان، ثابت نگاه داشت. شیر تنظیم کننده خروجی برای تثبیت شرایط پایین دست روزنه ( $O_7$ ) و شیر تنظیم کننده ورودی نیز برای تثبیت شرایط بالادست روزنه مزبور منظور شده است؛ در صورتی که شرایط پایین دست و بالا دست روزنه اندازه‌گیری ثابت باشد، هرگونه تغییر در اندازه روزنه، منعکس کننده تغییرات میزان تغذیه کلر است.

توجه مهم: دستگاه کلریناتور مورد بحث، از نوع فشاری است و به دقت میزان تزریق گاز کلر را به داخل کانال با لوله حامل جریانی که باید ضد عفونی شود، کنترل می‌کند. این دستگاهها به لحاظ ایمنی قابل اطمینان نیستند؛ زیرا گاز کلر در سراسر سیستم تحت فشار است و هرگونه نشتی در لوله کشی موجب رها شدن گاز کلر می‌شود.

این نوع کلریناتورها کاربردهای خاصی دارند و به طور محدود مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## • انژکتور

برای غلبه بر مشکلات ناشی از کلریناتورهایی که تحت فشار کار می‌کنند، دستگاه کلریناتور دیگری ساخته شده است که در آن محلول کلر تولید می‌شود. غلظت این محلول بالا و نسبتاً پایدار است و به سهولت و بدون خطر می‌توان این محلول را در کانال روباز و یا خط لوله تحت فشار و یا لوله مکش یک پمپ تزریق نمود.

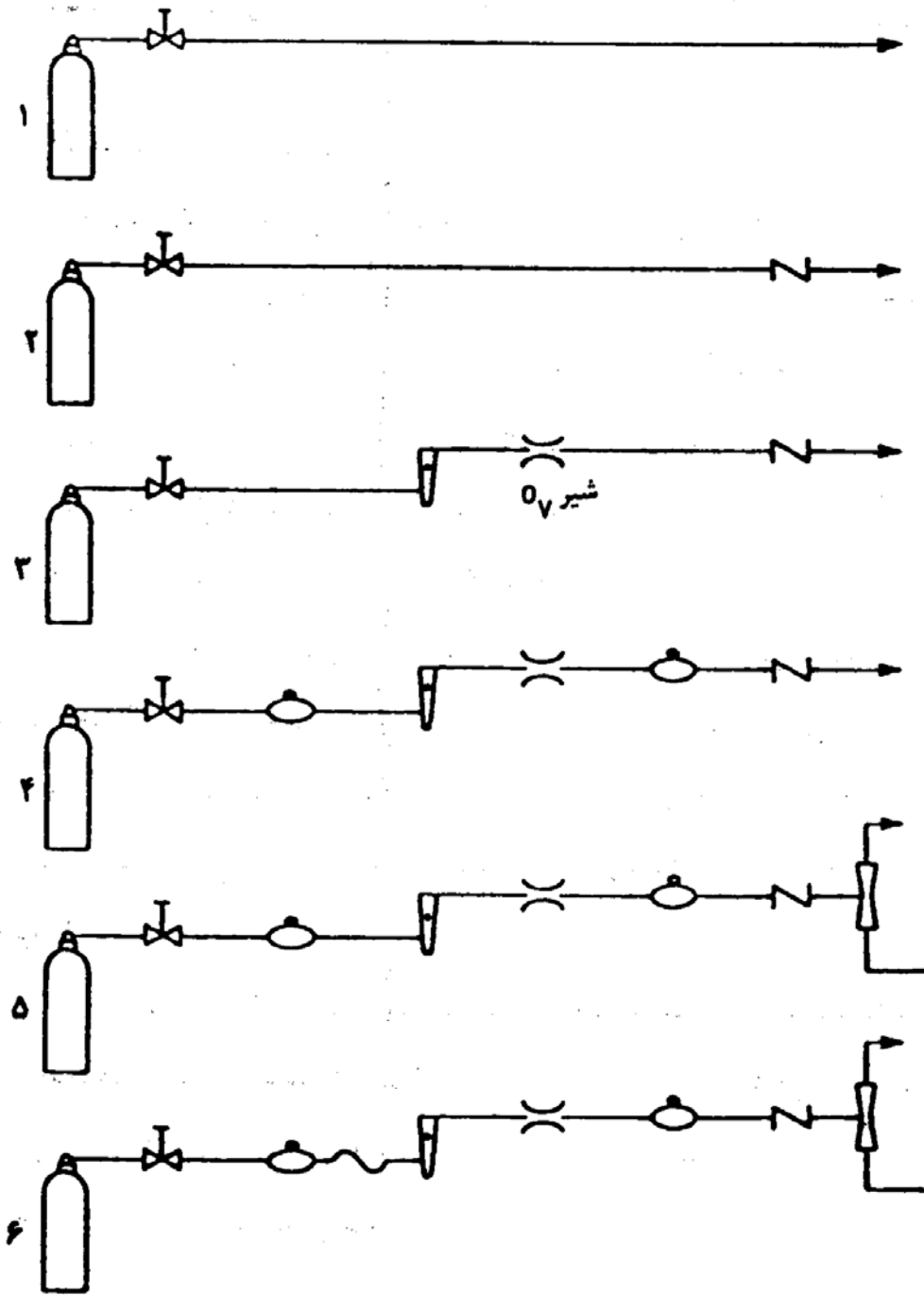
با افزودن دستگاه انژکتور (درونیاش) که گاهی به آن اسپراتور (مکنده) و یا ادوکتور (برونکش) نیز می‌گویند به سیستم کلرزنی مذکور، کلریناتور از حالت تحت فشار به کلریناتوری تحت خلاء تبدیل می‌شود (ردیف ۵ شکل ۴-۱۶). عمل انژکتور در سراسر سیستم لوله‌کشی کلریناتور ایجاد خلاء نسبی می‌کند و با این عمل حتی اگر در سیستم کلریناتور و لوله‌کشی آن نشت‌های خفیفی ایجاد شود، از رها شدن گاز کلر در فضای آزاد جلوگیری می‌کند.

## • شیر اطمینان

شیر اطمینان در بالادست روزنه اندازه‌گیری نصب می‌گردد و در حین کار تحت تاثیر خلاء ایجاد شده بسته می‌شود، اگر به دلیلی خلاء ایجاد شده از بین برود و گاز کلر تحت فشار قرار گیرد، شیر اطمینان باز شده و گاز کلر به خارج ساختمان فرستاده می‌شود. این شیر در ردیف ۶ شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است.

نتیجه آنکه با تکمیل دستگاه کلریناتور مطابق تصویر ردیف ۶ شکل ۴-۱۶ نکات زیر در آن رعایت شده است.

- دارا بودن لوازم مورد نیاز برای ایجاد و کنترل شرایط تغذیه دقیق مقدار کلر
  - وجود سیستم تحت کنترل خلاء، مانع نشت گاز کلر به خارج می‌شود و در صورت بروز هر نوع نقصی در سیستم به طور خودکار جریان گاز کلر را قطع می‌کند.
  - برای ایجاد خلاء و تهیه محلول کلر حین تغذیه و تزریق کلر، از سیستم انژکتور استفاده می‌شود.
  - مقدار کلر تغذیه شده توسط دبی سنج اندازه‌گیری می‌شود.
  - برای تنظیم و کنترل دبی جریان تغذیه از وسایل ساده استفاده می‌شود.
  - در صورت نشست گاز از شیر قطع و وصل ورودی در هنگام توقف دستگاه شیر اطمینان عمل می‌کند و گاز کلر را به خارج از تاسیسات کلرزنی و فضای آزاد منتقل می‌کند.
  - برای جلوگیری از جریان برگشتی به هنگام توقف دستگاه از شیر یکطرفه استفاده می‌شود.
  - دستگاه کلرزنی مجهز به متعلقات فرعی نظیر: فشارسنجها و خلاءسنجهای گاز است.
- تجهیزات فوق موجب تکامل سیستم کلریناتور می‌شود و می‌تواند میزان تغذیه کلر را تحت مراقبت داشته باشد و حفاظت افراد، دستگاهها و تاسیسات را تامین کند و نیز گاز کلر را به طور مطمئن به نقطه کاربرد تزریق نماید.



شکل ۴-۱۶ سیر تکاملی کلریناتور

دستگاههای کلرزنی در اندازه‌های مختلف ساخته می‌شوند و انتخاب اندازه آنها با توجه به حداکثر تزریق کلر مورد نیاز به آب است که بر حسب گرم یا کیلوگرم در ساعت و یا در سیستم انگلیسی پاندر روز است.

#### الف- انواع کلریناتورها به لحاظ ظرفیت

کلریناتورها را معمولاً با توجه به نوع ساخت، ظرفیت و شرایط محل به سه صورت نصب می‌کنند:

- کلریناتورهایی که روی سرکپسولها یا سیلندرها نصب می‌شوند و به صورت یک سیستم یا یک مجموعه کامل به بازار عرضه می‌شوند (معمولاً این کلریناتورها دارای ظرفیت نسبتاً کمی هستند).

- کلریناتورهایی که روی دیوار نصب می‌شوند (با ظرفیت متوسط).

- کلریناتورهایی که داخل کابینت قرار دارند (با ظرفیت زیاد)

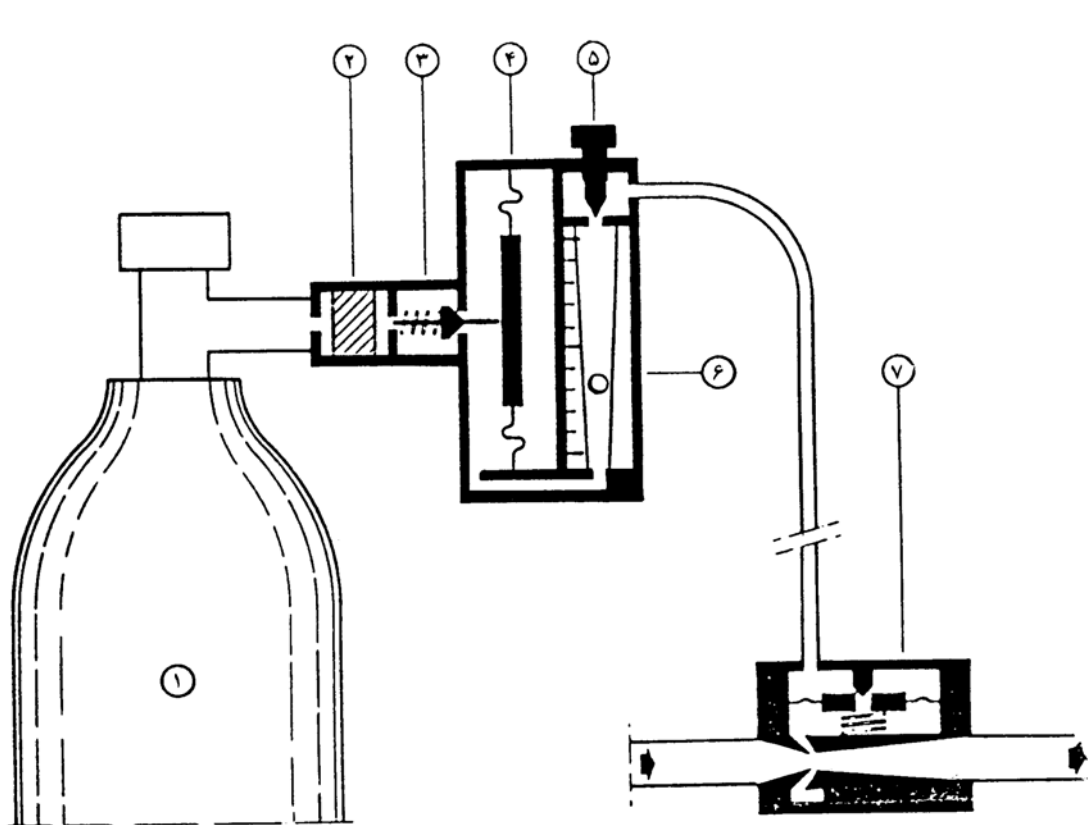
• کلریناتورهایی که مستقیماً روی کپسول یا تانک کلرو یا روی دیوار نصب می‌شوند.

در شکل ۴-۱۷ این نوع کلریناتور نشان داده شده است. برای احتراز از نشت گاز کلر سعی می‌شود، تعداد اتصالات به حداقل ممکن کاهش داده شود. همه این سیستم تحت فشار منفی (خلاء نسبی) کار می‌کند و سوپاپ اطمینان که داخل دستگاه کلریناتور قرار دارد، مانع از آن می‌شود که سیستم تحت فشار قرار گیرد. چنانچه آب دستگاه انژکتور قطع شود، دستگاه کلریناتور به طور خودکار متوقف خواهد شد.

• کلریناتور با ظرفیت زیاد

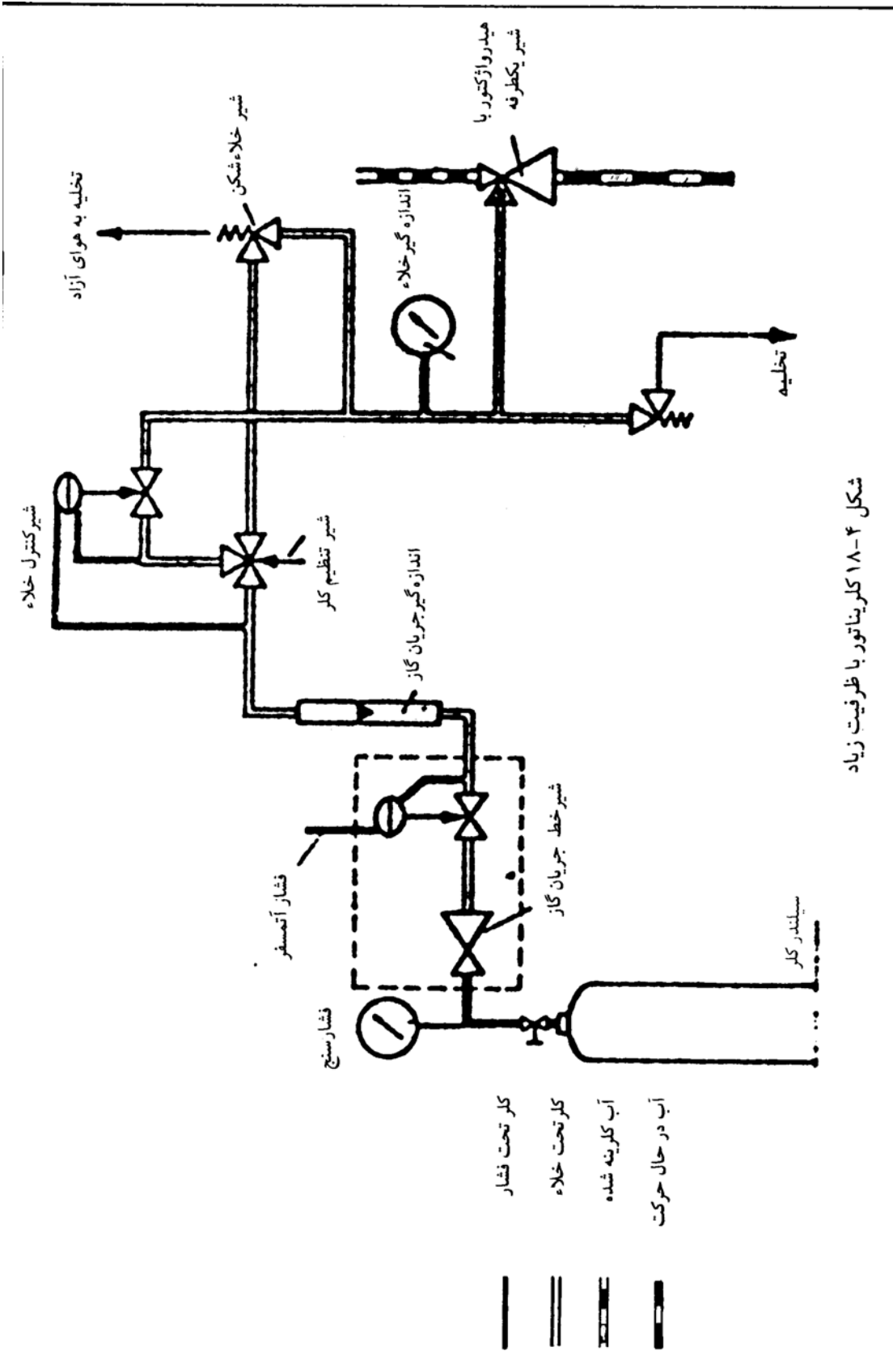
در شکل ۴-۱۸ فشار منفی که توسط هیدروانژکتور ۱ ایجاد می‌شود، توسط شیر کنترل ۲ که می‌تواند فشار مکش ثابتی را ایجاد کند، تنظیم می‌شود. گاز کلر از طریق شیر انبساط ۳ (فشار شکن) و شیشه اندازه‌گیری و شیر کنترل ۴ مکیده می‌شود، در این نوع کلریناتورها مقدار جریان گاز با شیر تنظیم کننده ۵ که با سیستم الکتریکی یا پنوماتیکی به آن فرمان داده می‌شود، تنظیم می‌گردد.





- ۱- کپسول کلر
- ۲- صافی
- ۳- شیر خروج کلر از کپسول
- ۴- دیافراگم تنظیم کننده
- ۵- دکمه کنترل بده جریان کلر
- ۶- دستگاه اندازه گیر
- ۷- هیدرواژکتور

شکل ۴-۱۷ کلریناتور با ظرفیت متوسط



شکل ۴-۱۸ کلریناتور با ظرفیت زیاد

## ب- انواع کلریناتورها به لحاظ عملکرد

کلریناتورها به لحاظ عملکرد به دو صورت دستی و خودکار طراحی می‌شوند.

مطابق آنچه تاکنون گفته شده است، در کلریناتورهای دستی فقط با تغییر شیر تنظیم کننده، میزان تزریق تغییر داده می‌شود.

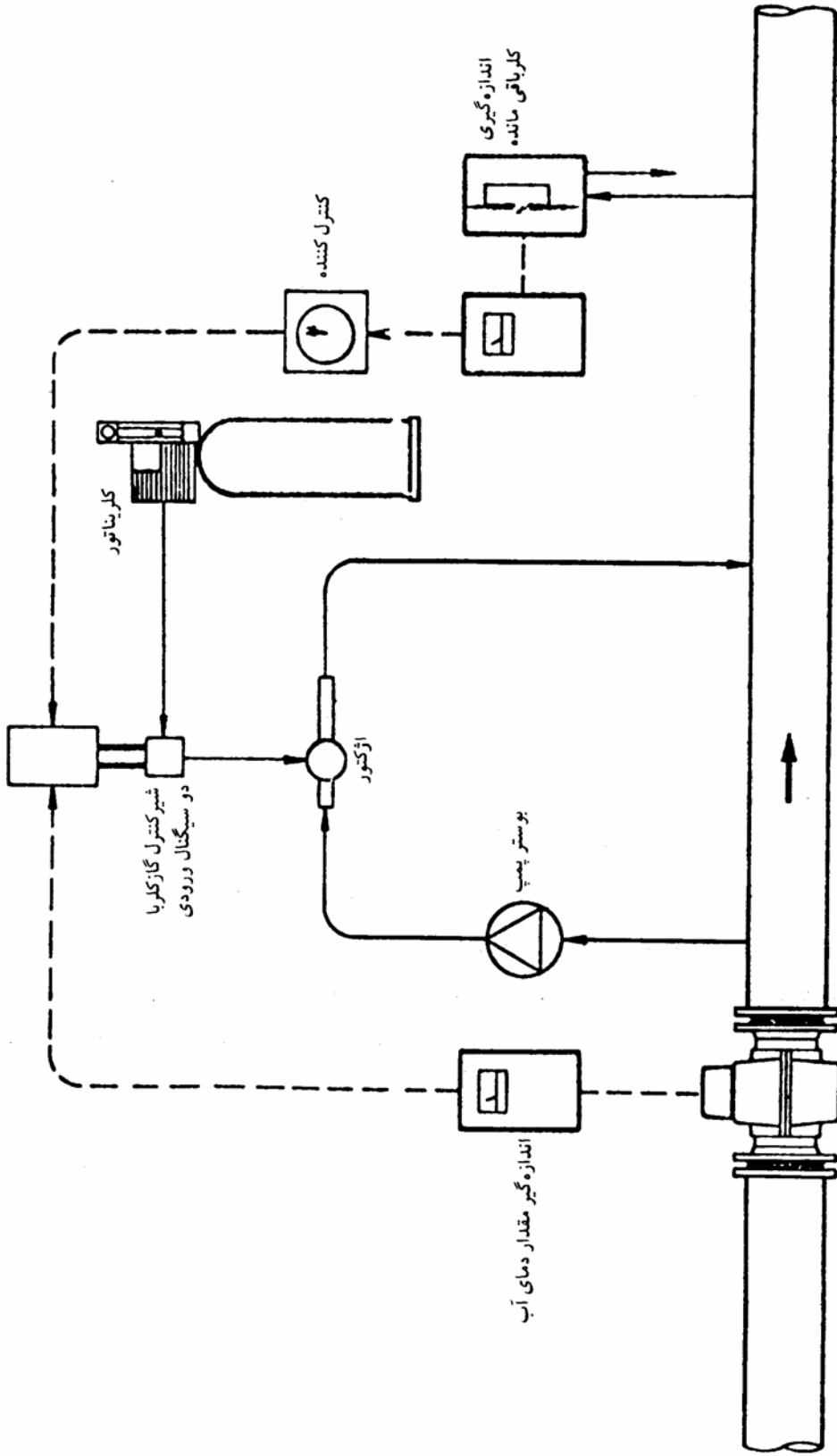
کلریناتورهای خودکار: بیشتر سیستمهای خودکار در کلریناتورها براساس جریان آب یا دبی تصفیه خانه و گاهی نیز مقدار کلر باقیمانده مورد نظر در آب طراحی می‌شوند.

سیستمهای خودکار براساس مقدار جریان آب اولین و ساده‌ترین دستگاههای کلرزنی خودکارند که مقدار جریان گاز کلر تابع میزان جریان آب است. اصول کار این کلریناتورها به سه صورت مختلف زیر است:

- کنتور تصفیه‌خانه (دستگاه اندازه‌گیری مقدار جریان آب)، بازا حجم معینی از عبور آب یک ایمپالس الکتریکی (ضربه) می‌فرستد، لذا در مدت زمان معین هر چه مقدار جریان آب بیشتر باشد، تعداد ضربه‌ها و یا ایمپالس‌های الکتریکی نیز بیشتر می‌شود. ایمپالس‌های الکتریکی ارسال شده خود دستگاه کرونوکتاکت (ساعت برق) را که برای مدت معینی کار تنظیم شده، راه‌اندازی می‌کنند، کرونوکتاکت در زمان کار، نیز برقی را که معمولاً در مسیر عبور گاز قرار داده شده باز نگاه می‌دارد؛ این مسیر برقی ممکن است در مسیر دستگاه انژکتور نیز قرار داده شود.

- نوع دیگر سیستم خودکار، که پیچیده‌تر از نوع قبل است، مقدار جریان گاز کلر را به طور مداوم و متناسب با مقدار جریان آب تغییر می‌دهد؛ به طوری که بتواند بین جریان آب و جریان گاز کلر نسبت ثابتی را برقرار نماید، بنابراین اگر تغییری در جریان آب ورودی داده شود، به نسبت، جریان الکتریکی از طریق "دینام‌تر" به تنظیم کننده الکترونیکی و شیر کنترل، فرمان می‌دهد تا نسبت بین جریان آب و مقدار تزریق کلر ثابت باقی بماند.

- کلریناتورهای خودکار با دو فرمان: در این کلریناتورها علاوه بر اینکه مقدار گاز کلر تابع مقدار جریان آب تصفیه خانه است، تابع کلر باقیمانده در آب خروجی نیز خواهد بود، یعنی هم مقدار جریان آب به کلریناتور فرمان می‌دهد و هم چنانچه مقدار کلر باقی مانده در آب با مقدار کلر باقی مانده مورد نظر (که قبلاً مقدار آن مشخص شده است) اختلافی داشته باشد؛ برای جبران این اختلاف، برای جبران این اختلاف، از طریق سیستم کنترل به کلریناتور فرمان جریان داده می‌شود. شکل ۴-۱۹ شمای این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۹ کلریناتورهای خودکار با دو فرمان (مقدار جریان آب و کلریاتی ماده)

در بهره‌برداری از دستگاههای کلرزنی معمولاً وقتی مشکل و بحران به وجود می‌آید که دستگاه کلرزنی برای اولین بار و یا پس از زمان توقف طولانی، راه‌اندازی و در سرویس قرار داده می‌شود.

در راه‌اندازی اولیه اقدامات زیر باید به ترتیب انجام گیرد :

الف- دستگاه انژکتور آب در سرویس قرار داده می‌شود که خود باید دارای شرایط هیدرولیکی مناسبی از نظر فشار آب خلاء نسبی ایجاد شده باشد، در شرایط مناسب، خلاء نسبی نباید از ۲۵ سانتیمتر جیوه کمتر باشد (ممکن است گاهی استثنائاً این رقم تغییر کند).

در صورتی که دستگاه کلریناتور مجهز به خلاء سنج نباشد، می‌توان آزمایش زیر را انجام داد:

لوله مکش دستگاه انژکتور متصل به قسمت مکش را باز نموده و در حالی که شیر آب دستگاه انژکتور باز است و آب جریان دارد، قسمت مکش انژکتور را با دست مسدود کنید و سپس مسیر مکش را با دست باز نمایید؛ هر چه درب لوله مکش با کمک دست بیشتر باز شود، مکش کمتر می‌شود، این عمل نیاز به مکش مناسب دارد و حرکت دست نیز با قدرت کنترل شود، در صورتی که مکش ضعیفتر از حد لازم باشد، شرایط هیدرولیکی مناسب ایجاد نمی‌گردد و لازم است علت آن بررسی شود. چنانچه دستگاه انژکتور خوب کار کند و دستگاه کلرزنی سالم باشد، مسیر گاز کلر باز می‌شود و کلریناتور به کار می‌افتد، لیکن قبل از آن باید شیر گاز کلر به تدریج و در حدود ۲۵ درصد باز شود، برای این منظور اگر دستگاه کلرزنی برای مقدار معین گاز کلر به طور اتوماتیک تنظیم شده باشد، باید دستگاه از حالت خودکار به دستی تغییر داده شود.

ب - بازرسی لوله‌ها، اتصالات، و شیر آلات خطوط انتقال کلر به کلریناتور که به طور صحیح و طبق نقشه انجام شده باشند.

ج - آزمایش آبیندی:

دقت شود که تمام شیرهای ورودی گاز به کلریناتورها بسته باشد.

شیر تانک یا کپسول کلر را باز می‌کنند و با کمک گاز آمونیاک (به شرحی که در زیر آمده است) تمام اتصالات و شیرهای گاز کلر را آزمایش می‌کنند تا از عدم نشست گاز کلر اطمینان حاصل شود.

آزمایش: یک بطری محتوی محلول آمونیاک تهیه شود و نیز میله‌ای که به یکسر آن پارچه یا پنبه بسته شده و به راحتی بتواند وارد بطری آمونیاک شود آماده کرده، با آغشته کردن سر میله به محلول آمونیاک و نزدیک کردن آن به محل نشست گاز کلر، در صورت وجود گاز کلر، کلر با گاز آمونیاک ترکیب می‌شود و دود سفید رنگ کلرور آمونیاک (نشادر) که نشانه نشست گاز کلر است، ظاهر می‌شود.

در صورتی که اتصالات سالم باشد و گاز کلر نشست نکند، شیر تانک کلر را کاملاً باز می‌کنند و دقت شود که اندیکاتور فشار گاز کلر، فشار خط انتقال گاز کلر را نشان دهد و مجدداً نشست گاز کلر بازرسی

شود و چنانچه هیچ گونه نشتی وجود نداشته باشد، دستگاه کلریناتور آماده آزمایشهای بعدی از قبیل: قابلیت تنظیم، کنترل خودکار و غیره خواهد بود. اگر نشت گاز وجود داشته باشد، باید فوراً شیر تانک کلر را بست و سپس همه شیرهای مسیر خط تا دستگاه کلریناتور را باز نگاه داشت و شیر تزریق گاز کلر به کلریناتور تا آخر باز شود، و بوستر پمپ در این حالت باید در حال کار باشد. این عمل سبب تخلیه کامل مسیر خط لوله از گاز کلر در چند دقیقه خواهد شد، یک اپراتور با تجربه می‌تواند با استفاده از وسایل ایمنی بدون آنکه مشکلی ایجاد گردد، گاز کلر باقی مانده در سیستم را به سرعت تخلیه نماید.

اگر نشت گاز کلر زیاد باشد (منفذی در اتصالات وجود داشته و یا واشر فراموش شده باشد) آزمایش کننده که باید مجهز به وسایل ایمنی باشد، باید سریعاً شیر تانک یا کپسول کلر را ببندد و فوراً از محل آلوده به گاز خارج شود و پس از تخلیه کامل محیط از گاز کلر به محل باز گردد.

در تاسیسات کلرزی با ظرفیت کم که فقط یک اتصال قابل انعطاف وجود دارد، پس از بستن شیر کپسول کلر ظرف چند دقیقه لوله‌های کلریناتور تخلیه خواهد شد و نشت گاز برطرف می‌گردد. در این گونه موارد به "ماسک خاصی" که تمام صورت را بپوشاند، نیازی نخواهد بود.

د- پس از اطمینان از عدم نشت گاز کلر از خطوط و اتصالات باید بررسی نمود که دستگاه کلرزی می‌تواند حداکثر مقدار گاز را طبق ظرفیت خود تزریق نماید، در صورتی که اندیکاتور یا شاخص یا روتامتر کلریناتور نتواند به حداکثر برسد، باید ابتدا دستگاه انژکتور کلریناتور را باز نمود. حداقل خلاء نسبی ایجاد شده باید در حدود ۲۵ سانتیمتر جیوه باشد، چنانچه خلاء نسبی بیش از یک مقدار باشد، دستگاه کلریناتور مقدار کلر لازم را خواهد کشید، مگر آنکه در مسیر آن انسدادی وجود داشته باشد، گرفتگی مسیر گاز کلر را با کنترل فشار خطوط در سیستم می‌توان تشخیص داد، اگر با وجود فشار کافی در کپسول کلر ارسال گاز کافی نباشد، فشار گاز در دستگاه کلریناتور افت پیدا می‌کند. چنانچه در چنین شرایطی فشار گاز کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کند، دستگاه کلرزی باید بازدید و تعمیر شود.

در بیشتر موارد خرابی کلریناتورها، اشکال در انژکتور است؛ در غیر این صورت ممکن است اشکال در خود کلریناتور باشد که تحت فشار منفی کار می‌کند و باید کپسول یا تانک کلر تا محل ورود گاز به انژکتور مورد بررسی قرار گیرد. یکی از عوامل نارسایی، کمی خلاء نسبی ایجاد شده است که توسط اندیکاتور خلاء مشخص می‌شود و معمولاً کمتر از نیم آتمسفر خلاء نسبی است.

#### • بررسی علل شکست خلاء

- اولین قدم بررسی نشت خلاء در کلریناتور است، اگر نشت زیاد باشد، می‌توان با بستن شیر آب انژکتور با استفاده از گاز آمونیاک و بازرسی اتصالات آن را پیدا کرد. با قطع شیر آب انژکتور تمام سیستم کلرزی

تحت فشار کم گاز قرار می‌گیرد و کلر از محل نشست خلاء بیرون خواهد زد (در نشتهای کم این پدیده صورت نمی‌گیرد). نقاطی که باید بازرسی شود؛ عبارتند از: محل اتصالات در کلریناتورها هنگام حمل و نقل که ممکن است شل شده باشد و بعد واشرهای گرد O-rings (ارینگ‌ها) است که برای آبیندی شیشه اندازه‌گیری گاز کلر به کار رفته و ممکن است، در موقع نصب خراب شده و یا صدمه دیده باشد. همچنین باید تجهیزات سیستم انژکتور بازدید شود که ممکن است، فلز آن خراب شده و یا محل نشستن آن آبیندی نباشد و هوا بتواند وارد سیستم و سبب اختلال در ایجاد خلاء شود.

- فاکتور دیگری که اهمیت آن در ایجاد مشکلات خلاء انژکتور قابل ملاحظه است، وجود هوا و گاز در خط محلول کلر است. این مشکل بخصوص وقتی که خط انتقال محلول آب کلر طولانی باشد روی می‌دهد، در تاسیسات با خط انتقال طولانی (بیشتر از ۳۰ متر) باید حتماً فشار سنج محلول کلر پس از انژکتور نصب شود و این فشار سنج باید دارای دیافراگم نقره‌ای باشد تا در مقابل خوردگی مقاوم باشد، این فشار سنج فشار منفی (زیر فشار جو) را نیز اندازه‌گیری می‌کند و بدین ترتیب می‌توان شرایط هیدرولیکی را بررسی کرد، دو پدیده زیر می‌تواند سبب بروز گاز و هوا در خط انتقال محلول آب کلردار شود و در ایجاد خلاء اختلال نماید و آن را به فشار خلاء نسبی کمتر از ۲۵ سانتیمتر جیوه برساند و در عین حال شرایط هیدرولیکی، قابل قبول باشد.

o در تاسیساتی که انژکتور در فاصله بیش از ۱۰۰ متر از دستگاه کلرزنی قرار داده شده است، در هنگام راه‌اندازی این فاصله از هوا پر خواهد شد. این مقدار هوا (در خطوط طولانی) سبب کاهش خلاء نسبی می‌شود و گاهی اوقات مقدار آن به کمتر از نیم اتمسفر تقلیل می‌یابد، این پدیده با راه‌اندازی کلریناتور به تدریج برطرف می‌شود، این مسئله سبب می‌شود که هوا مانند کلر وارد محلول نشود و به همین جهت سبب کاهش راندمان سیستم انژکتور می‌گردد.

o این پدیده نیز در خطوط طویل انتقال آب کلردار روی می‌دهد، بدین ترتیب که هوا از طریق سیستم خلاء‌شکن<sup>۱</sup> وارد سیستم شده و سبب بروز اختلال در کار انژکتور می‌شود ولی به تدریج که کلریناتور کار کند، تمام هوا از طریق خط لوله محلول کلر خارج می‌شود و انژکتور خلاء بحالت عادی باز می‌گردد.

- در انژکتور فعل و انفعال مستقیم کلر و آب سبب تولید و آزاد شدن گاز کربنیک به تناسب قلیائیت آب می‌شود، گازهای دیگر موجود در آب نظیر گاز آمونیاک غیر آزاد می‌شود، بخصوص این پدیده در مورد فاضلابهایی که از پس اب تصفیه شده ان برای تغذیه انژکتور کلر استفاده می‌شود صادق است. با توجه به اینکه گاز آمونیاک با گاز کربنیک به یک نسبت در آب حل می‌شوند، در شرایط مساوی نیز به یک نسبت آزاد می‌شوند، وجود مقدار زیاد این گازها در خطوط انتقال محلول آب کلر خیلی مشاهده شده است.

حذف این شرایط حوصله زیاد اپراتور را طلب می‌کند، در هر آزمایش و تنظیم باید قبل از هرگونه تغییر بعدی چند ساعت منتظر شد و سپس تنظیم جدید را انجام داد. در غالب موارد علامت وجود این گازها، ارتعاش اندیکاتور خلاء نسبی با فرکانس حدود هر دو ثانیه یک مرتبه است. این ارتعاشات سبب تغییرات در تزریق گاز کلر می‌شود که حدود آن از ۱۰ تا ۲۰ درصد و یا بیشتر خواهد بود و هنگام تنظیم انژکتور به طور تجربی بهتر است که مقدار تزریق کلر روی ۵۰ درصد مقدار حداکثر تزریق تنظیم شود.

بهترین راه برای اجتناب و جلوگیری از مشکلات فوق کوتاه کردن هر چه بیشتر خط محلول آب کلردار و قرار دادن سیستم انژکتور در فاصله دور است. برای خطوط ارسال آب کلردار با طول بیش از ۳۰ متر و انژکتور بزرگتر از ۲ اینچ فشار خط آب کلردار، در خروجی از انژکتور باید ۱۵ تا ۳۰٪ بیشتر از فشار در محل تزریق آب کلردار باشد.

دستگاه انژکتور باید حتی المقدور کوچک انتخاب شود؛ به طوری که اگر یک یا ۲ اینچ باشد، نباید آن را با اندازه بزرگتر یعنی ۳ یا ۴ اینچ عوض کرد.

#### ۴-۲-۵-۱-۵ نگهداری و تعمیرات تاسیسات کلرزی

##### الف- کپسولها و تانکرهای کلر

کپسولها و تانکرهای کلر از فولاد مخصوص به اندازه‌های مختلف ساخته می‌شوند و در کارخانه تولید کلر تحت شرایط خاصی تا ۸۵ درصد ظرفیت آنها از کلر مایع پر می‌شود و ۱۵ درصد بقیه را گاز کلر اشغال می‌کند تا در حوادث و درجه حرارت‌های غیر عادی تا حدودی بتوان از ترکیدن سیلندر جلوگیری کرد.

- توصیه‌های لازم در حمل، انبار کردن، بهره‌برداری و نگهداری کپسولهای کلر
  - برای هر کپسول یا تانک کلر در پوشی برای حفاظت شیرهای سیلندر پیش‌بینی شده است که در موقع جابه‌جایی و حمل و نقل و انبار کردن باید دقت شود که در پوشها در محل خود نصب و محکم شده باشند و دقت شود که هرگز بدون در پوش جابه‌جا نشود.
  - در مورد سیلندرهای ایستاده باید دقت شود که هر زنجیر حفاظتی به دور سیلندر قرار داده شده و به دیوار یا پایه نگهدارنده بسته شود.
  - دقت شود که سیلندر ایستاده به صورت خوابیده مورد مصرف قرار نگیرد.
  - در جابه‌جا کردن و به کار گرفتن کپسولهای با ظرفیت کم که ایستاده قرار می‌گیرند، باید توجه شود که کپسولها طوری پهلو می‌گیرند که در اثر تکان خوردن به همدیگر ضربه نزنند و در موقع پیاده کردن از وسیله نقلیه یا سوار کردن آنها دقت شود که روی زمین انداخته نشود و نیز روی هم گذارده نشوند.
  - نباید سیلندرها و یا تانکرهای کلر را روی زمین غلطانید.
  - تانکهای کلر (۵۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوگرم) دارای دو کمر بند فولادی‌اند، با وجود این غلطانیدن آنها روی زمین خاکی و شنی و در فاصله بالنسبه دور خالی از خطر نیست، این تانکها باید با به کار گرفتن بالابر جابه‌جا شوند.
  - در تاسیساتی که از فاز گاز کلر استفاده می‌نمایند، بزرگترین مشکل، تبدیل فاز مایع به فاز گاز است که اغلب به درجه حرارت بستگی دارد. هرگز نباید کپسول یا تانک کلر را که مدتی در هوای گرم قرار داشته



است، بدون آنکه به درجه حرارت اطاق کلرزی برسد در سرویس قرار داد؛ زیرا بخصوص در هنگام شب گاز کلر در لوله‌های سرد و جلو شیر فشار شکن به مایع تبدیل می‌شود، ناخالصیهای موجود در گاز کلر در هنگام میعان رسوب می‌کند و این رسوبات سبب مسدود شدن سوراخهای ریز دستگاه کلریناتور می‌شود؛ در صورتی که لازم باشد سیلندر داغ فوراً در سرویس قرار داده شود، باید به طور مصنوعی با شیلنگ آب آن را سرد نمود. ضمن اینکه عدم رعایت نکات اشاره شده می‌تواند منجر به ترکیدگی خط انتقال کلر از سیلندر تا شیر فشار شکن شود و مشکلات خاص خود را ایجاد نماید.

- شیرهای نصب شده روی سر سیلندر باید هر دو سال یک بار عوض شوند، ولی شیرهای گاز و مایع به طور سالیانه به شرکتی که متخصص در این نوع شیرها است، فرستاده شود تا پس از سرویس و تمیز کردن آن، شیر را با فشار هیدرواستاتیک تا ۳۵ اتمسفر آزمایش کنند. خود تانک یا کپسولهای کلر را هر سه سال یک بار با فشار هیدرواستاتیک باید آزمایش نمود و قبل از آزمایش باید تانک یا کپسول کلر شسته و تمیز و خشک شود.

- در موقع حمل و نقل و انبار کردن و بهره‌برداری، تانکها به صورت خوابیده قرار خواهند گرفت، جایگاه نصب سیلندرها برای بهره‌برداری طوری در نظر گرفته می‌شود که اولاً تانک روی هر کمر بند خود در جایگاهی که با قرقره‌های اختصاصی پیش‌بینی شده قرار گیرد، ثانیاً تانکهای کلر از کف زمین به اندازه کافی فاصله داشته باشد.

- در موقع به کار گرفتن کپسول و تانکهای کلر، ابزاری برای باز کردن درپوش و شیر به کار برده خواهد شد، طول این قطعه ابزار نباید از ۱۵ سانتیمتر تجاوز نماید و نهایت دقت در باز و بسته کردن شیرهای مخصوص کلر باید معمول گردد.

- چنانچه شیری باز نمی‌شود، به جای اعمال زور، یک تکه پارچه را در آب جوش فرو ببرد و برای گرم کردن دور شیر استفاده کنید، شیر به راحتی باز خواهد شد. (استفاده از شعله در هر حال ممنوع است).

- در موقع باز کردن کپسول یا تانک کلر خالی از خط ارسال کلر و یا در موقع بارگیری کپسول و تانکهای خالی باید اولاً از بسته بودن شیر سرکپسول یا تانک اطمینان حاصل کرد و ثانیاً کلاهک یا درپوش باید در محل خود نصب شود و علامت "خالی است" مبنی بر خالی بودن کپسول یا تانک و علامت "دارای کلر است" مبنی بر نیمه پر بودن کپسول در روی آن نوشته شده و برای تحویل به کارخانه ارسال گردد.

- در صورتی که در اثر نقص یا به هر علت دیگر کپسول یا تانک، نتوانست تحت بهره‌برداری و مورد استفاده قرار گیرد و هنوز پر است، باید به کارخانه برای رفع نقص عودت داده شود و با نصب علامت "کپسول پر است، احتیاط کنید" دریافت کننده را مطلع کرد.

- از قرار دادن کپسول و تانکهای کلر در مقابل تابش آفتاب تابستان یا بهره‌برداری آنها در محلی که آفتاب مستقیماً به کپسول یا تانک بتابد و از انبار کردن کپسول و تانکها و قرار دادن آنها در محلی که احتمال بالا رفتن درجه حرارت و یا احتمال آتش‌سوزی وجود دارد باید خودداری شود.

- در اتاق کپسولهای تحت بهره‌برداری کلر تامین حداقل درجه حرارت در حدود  $10^{\circ}\text{C}$  به همراه تهویه مناسب ضروری است.

- باید طراحان دقت نمایند که حتی المقدور فاصله بین کپسولها و تانکهای کلر از دستگاه های کلرزی کم باشد تا از مایع شدن مجدد گاز کلر که بزرگترین مشکل بهره‌بردار در تاسیسات کلرزی است، جلوگیری شود.
- وقتی که از فاز گاز استفاده می‌شود، درجه حرارت کپسولها یا تانکهای کلر از درجه حرارت اطاق کلریناتورها باید کمتر باشد.
- اتصالات و متعلقات لوله‌کشی در خطوط انتقال و مصرف کلر باید از نوع خاص مقاوم به گاز کلر انتخاب شود و از اتصالات و لوله‌های معمولی در لوله‌کشیهای عادی باید اجتناب کرد.
- در درجه حرارت معمولی کلر مایع بر روی "پی‌وی‌سی" اثر می‌گذارد و آن را حل می‌کند، لذا هرگز نباید از "پی‌وی‌سی" و مواد پلاستیکی در تاسیسات کلر مایع استفاده کرد.
- در اثر گاز کلر تحت فشار "پی‌وی‌سی" به صورت متخلخل در می‌آید و گاز کلر در خلل و فرج آن به صورت مایع در می‌آید و سبب تشدید خرابی لوله "پی‌وی‌سی" می‌گردد؛ لذا در جایی که گاز کلر تحت فشار وجود دارد، نباید از لوله "پی‌وی‌سی" استفاده نمود.
- شیرهایی که در خط انتقال گاز یا مایع کلر قرار داده می‌شوند، باید استاندارد و مورد تأیید اداره استاندارد قرار گرفته باشند.
- در تمام اتصالات بهتر است برای آبیندی از نوار تفلن استفاده شود.
- نظر به سنگینی گاز کلر، لازم است که محل نصب مکنده‌های هوا در پایین‌ترین نقطه ممکن باشد.
- مقدار کلر قابل دریافت در سیلندرهای ۶۸ کیلویی (۱۵۰ پاندمی) ۷۵۰ گرم بر ساعت (۴۰ پاندمی بر روز) و در تانکهای یک تنی ۷/۵ کیلوگرم بر ساعت (۴۰۰ پاندمی بر روز) پیشنهاد شود و اگر مصرف از این مقدار بیشتر شود، باید تعداد سیلندرهای در سرویس را اضافه نمود.

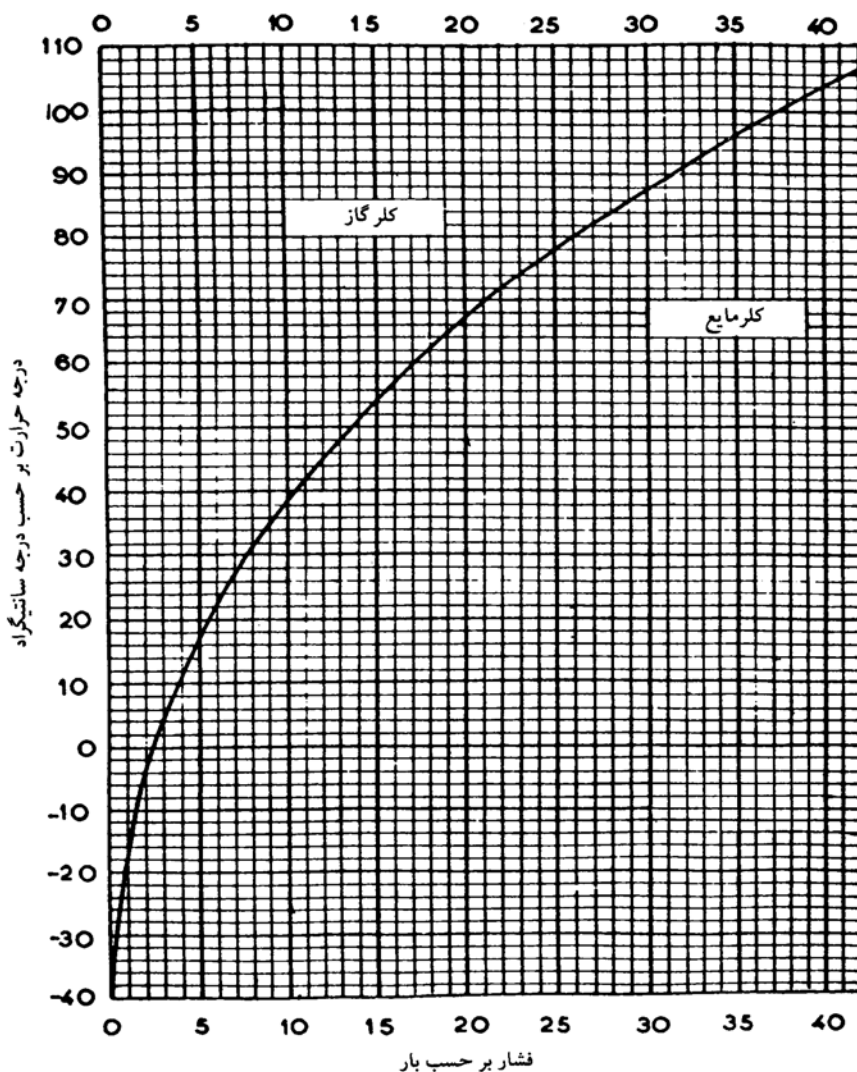
#### ب- شیر فشار شکن

برای حفاظت تاسیسات کلرزی و جلوگیری از میعان گاز کلر در خط انتقال کلر از سیلندر به کلریناتور گاهی از شیر فشار شکن که در نزدیکی سیلندر کلر نصب می‌شود، استفاده می‌گردد، در این صورت با کم کردن فشار گاز کلر از میعان گاز جلوگیری می‌شود.

مثال: با توجه به منحنی اشباع گاز کلر به شکل ۴-۲۰ بفرض سیلندر کلر در محلی که درجه حرارت آن  $20^{\circ}\text{C}$  است قرار داده شود، لذا درجه حرارت کلر نیز  $20^{\circ}\text{C}$  است، فشار اشباع گاز در  $20^{\circ}\text{C}$  برابر ۶ اتمسفر است. حال چنانچه هوای اطاقی که کلریناتور در آن قرار دارد  $17^{\circ}\text{C}$  باشد، گاز کلر در فشار کمتر از ۶ اتمسفر به حالت گاز باقیمانده و مایع نمی‌شود، چنانچه درجه حرارت کمتر شود، در اثر اتصالات و شیر آلات، گاز به فاز مایع برگشت می‌کند و در دستگاه کلرزی اختلال ایجاد می‌نماید.

معمولاً با نصب یک دستگاه شیر فشار شکن و پایین آوردن فشار تا حد ۲ تا ۳ اتمسفر می‌توان مشکل را حل کرد، در این صورت اگر درجه حرارت اطاق کلرزنی تا صفر درجه سانتیگراد هم پایین بیاید، طبق منحنی اشباع باز هم میعان کلر اتفاق نمی‌افتد.

شیرهای فشار شکن موجود در بازار با فشار فنر و یا با تراکم هوا و یا فشار مایع کار می‌کنند که هر کدام دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری و تعمیرات خاص خود را دارند و باید اپراتورها طبق آن عمل نمایند. ولی به طور کلی هر دو یا سه سال یک بار باید فنر نیز عوض شود و دیافراگمهایی که از آلیاژ نقره است، هر ۵ سال یکبار بازدید شود تا اگر علائمی از تنش در آن بود، برای تعویض آن اقدام شود.



شکل ۴-۲۰ منحنی (درجه حرارت - فشار) برای گاز کلر اشباع شده

### ج- بوستر پمپها

بوستر پمپهایی که به منظور تامین آب مورد نیاز انژکتور مورد استفاده قرار می‌گیرند، از نوع پمپهای سانتریفوژ و یا توربینی‌اند.

پمپهای سانتریفوژ در جایی مصرف می‌شوند که لازم است فشار آن کم و دبی آن زیاد باشد و در تصفیه خانه‌هایی که بیش از یک انژکتور دارد، کاربرد دارند.

پمپهای سانتریفوژ دارای عمر بیشتر و نگهداری و تعمیرات آن کمتر است. پمپهای نوع توربینی معمولاً در تاسیساتی مورد استفاده قرار می‌گیرند که اختلاف فشار لازم را برای انژکتور ایجاد نماید، این پمپها دارای فشار دینامیکی نسبتاً زیاد و دبی کم‌اند.

پمپهای توربینی باید مجهز به شیر کنار گذر برای تنظیم دبی پمپ باشند و همچنین این پمپها طوری انتخاب می‌شوند که دبی آن در حدود دو برابر آب مورد نیاز انژکتور باشد، در این صورت زمانی که پمپ نو و کار نکرده است، آب بیش از حد نیاز از طریق شیر سوزنی قابل تنظیم کنار گذر عبور داده می‌شود و به تدریج که پمپ فرسوده می‌شود. بهره‌بردار باید شیر کنار گذر را طوری تنظیم کند که فشار لازم را در انژکتور ایجاد نماید. باید دقت شود که به هیچ وجه نباید ماسه وارد این پمپها شود؛ زیرا به سرعت عمر پمپ را کوتاه می‌کند.

### د- سیستم انژکتورها

انژکتورها در اندازه‌های مختلف ساخته می‌شوند که بعضی از آنها قابل تنظیم است و یا گلویی قابل تعویض متناسب با شرایط هیدرولیکی کار دارد.

انژکتورها معمولاً در محل کار و در زمان راه‌اندازی باید تنظیم شوند و برای این منظور باید دو شرط را مراعات نمود:

- سیستم سوپاپ (Stem) انژکتور طوری تنظیم شود که در هر صورت غلظت آب کلر خروجی از انژکتور هرگز از ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تجاوز نکند.
- انژکتور طوری تنظیم شود که حداکثر تزریق کلر در حداقل فشار کار مقدور باشد.
- چنانچه با تمام تنظیمات ممکنه تامین سرعت مطلوب و نتیجتاً مکش مناسب در گلویی انژکتور میسر نگردد، در این حالت تعویض گلویی یا گلویی مناسب ضرورت می‌یابد.

### ه- کلریناتورها

کلریناتورهای دستی دستگاههای نسبتاً ساده‌ای هستند که مکانیزم آنها براساس وجود تعدادی شیر تنظیم دیافراگمی بنا نهاده شده و شیرهای تنظیم کلریناتورهای اتوماتیک بنا به مقاصد طراحی شده‌اند، موتوری یا نیوماتیکی است که از مقدار جریان آب یا میزان کلر آزاد باقیمانده در آب تصفیه شده فرمان می‌گیرد. عامل حساس در کلریناتورهای تحت خلاء نسبی مقدار خلاء ایجاد شده در سیستم است بنابراین لازم است:

- دقت شود که تمام اتصالات در مقابل خلاء آبیندی باشند.
- به علت ایجاد فرسودگی و خستگی در فنرها و باقی ماندن رسوبات ناخالص گاز کلر در محل نشستن محورها و فنرهای دیافراگم لازم است هر دو سال یک بار همه فنرها عوض شوند و محورها و محل نشستن آنها هر سال یک بار تمیز شود.

- شیشه اندازه‌گیری گاز کلر و گلوله داخل آن باید حداقل هر شش ماه یک بار باز و تمیز شود.  
 - از آنجایی که سیستم انژکتور قلب کلریناتور است، باید این قسمت تحت مراقبت خاص قرار گیرد. با استفاده از فشار سنج روی خط ورودی آب به انژکتور و اندیکاتور خلاء دستگاه کلریناتور، می‌توان کار دستگاه انژکتور را کنترل و عیب آن را مشخص کرد. اگر مقدار فشار آب کافی باشد و خلاء لازم به وجود نیاید، دو عامل ممکن است وجود داشته باشد:

o قسمتی از گلوله‌ی ورودی آب انژکتور ممکن است توسط مواد معلق مسدود شده باشد.

o در خروجی انژکتور ممکن است موانعی ایجاد شده باشد.

یکی دیگر از عواملی که سبب درست کار نکردن سیستم انژکتور می‌شود، رسوبات آهن و منگنز در گلوله‌گاه انژکتور است که لازم است بازدید و در صورت وجود رسوب با کمک اسید کلریدریک طبق توصیه سازنده تمیز شود.

دستگاه انژکتور مجهز به شیر یکطرفه‌ای است که از ورود آب به کلریناتور جلوگیری می‌کند که معمولاً دارای فنری است، این نفر هر دو سال یک بار باید عوض شود.

در بهره‌برداری از دستگاه‌های کلریناتورها، آنهایی که دستی هستند، نیاز به تنظیم خاصی ندارند و فقط باید به طور دستی چنان تنظیم شوند که مقدار کلر باقیمانده در حد معینی باشد و کلریناتورهایی که خودکار هستند، باید طبق دستورالعمل سازنده تنظیم شوند.

فیلترهای گاز باید هر شش ماه یک بار بازدید شوند. در هر بازدید المان فیلتر باید عوض شود و تله‌های رسوبگیر با آب سرد شسته و قبل از نصب باید خشک شوند. بیشتر ناخالصیهای کلر را، مواردی از قبیل: کلروفریک که در آب حل می‌شود و ترکیب کمپلکس هیدروکربناتهای کلر و نظایر آن در آب حل نمی‌شوند، تشکیل می‌دهند که این مواد با کمک تری کلرواتیلن یا ایزوپروپیل الکل قابل شستشویند.

#### ۴-۲-۵-۱-۶ تجهیزات جنبی کلرزی

تجهیزات جنبی که ممکن است در تاسیسات کلرزی مورد استفاده قرار گیرند، به طور خلاصه به شرح زیرند:	
Feed Rate Chlorine Indicator	الف- اندیکاتور کلر
Chlorine Residual Analyzer	ب- دستگاه تعیین کننده کلر باقیمانده (کلرسنج)
Chlorin Leak Detector	ج- دستگاه اخطار انتشار گاز کلر
Automatic Switch Over	د- سیستم تعویض کننده خودکار سیلندر یا تانک کلر
Chlorine Evaporators	ه- تبخیر کننده کلر
Emission Safety Alarm	و- علائم خبری هشدار دهنده

## الف- اندیکاتور کلر

منظور از اندیکاتور کلر وسیله‌ای برای نشان دادن مقدار جریان گاز کلر در کلریناتور است. به وسیله این دستگاه می‌توان دستگاه کلرزی را به طور دائم تحت مراقبت قرار داد. مانند هر دستگاه اندیکاتور، در این دستگاه نیز باید در ابتدا، تنظیم صفر و حداکثر جریان براساس دستورالعمل سازنده انجام گیرد.

## ب- کلرسنجها

دو روش برای کلرسنجی وجود دارد:

- روش رنگ‌سنجی<sup>۱</sup>
- روش آمپرسنجی<sup>۲</sup>

### • روش رنگ‌سنجی

آب کلردار در مجاورت اندیکاتور D.P.D<sup>۳</sup> تولید رنگ قرمز می‌کند که شدت این رنگ متناسب با غلظت کلر است. داروی D.P.D به صورت قرص و یا کپسولهای ۰/۵ گرمی در چهار نوع مختلف برای اندازه‌گیریهای زیر تولید می‌شود:

- اندازه‌گیری کلر آزاد قابل دسترسی
  - اندازه‌گیری مونوکلرآمین
  - اندازه‌گیری دی‌کلرآمین
  - اندازه کلر باقیمانده به صورت آزاد و ترکیبی
  - اندازه‌گیری تری‌کلرآمین (نیترژن تری‌کلراید)
- برای اندازه‌گیری هر کدام از پارامترهای فوق، باید با استفاده از کمپراتور و دیسک D.P.D و طبق دستورالعمل خاص خود اقدام شود.
- در این سنجه‌ها نیز عوامل pH، درجه حرارت، سرعت عمل در صحت و دقت اندازه‌گیری موثر خواهد بود.

---

1 - Colorimetric  
2 - Amperometric  
3 - Diethyl- p – Phenylene Diamine

## • روش آمپرسنجی

همان‌طور که از اسم این روش بر می‌آید، دستگاه اندازه‌گیری تشکیل شده از یک آمپر متر دقیق و دو الکتروود از فلزات مختلف (معمولاً مس و طلا) و الکترولیتی که به هالوژنهای آزاد حساسیت دارد<sup>۱</sup>.  
با این روش به کمک افزودن مواد شیمیایی خاص به الکترولیت می‌توان کلر آمینها را نیز اندازه‌گیری کرد. در pH کمتر از ۴ در اندازه‌گیری کلر ترکیبی قابل دسترسی عوامل دخالت‌کننده‌ای مانند: آهن، منگنز، و نیتراها نمی‌توانند موثر باشند، لذا باید همیشه pH الکترولیت با افزودن محلول بافر ۴ درصد ۳/۵ تا ۴/۵ حفظ شود.  
در این دستگاه واحد سل (مجموعه الکترولیت و الکتروودها) الکتروود مسی همیشه یونهای فلز خود را متناسب با مقدار کلر باقیمانده از دست می‌دهد و باید هر سال یک بار یا هر ۱۸ ماه یک بار تعویض شود.  
اگر دستگاه با آب آشامیدنی کار کند به نگهداری کمتری نیاز دارد و این نگهداری بستگی به تمیزی آب دارد و چنانچه آب خام گل‌آلود باشد، بهتر است آب نمونه از یک فیلتر کوچک عبور داده شود.  
برنامه نگهداری زیر برای این نوع کلر سنج (در صورتی که دستورالعمل سازنده در دسترس نباشد) پیشنهاد می‌شود:

### روزانه :

- جریان آب نمونه به ترتیب زیر بازدید شود.
- o فشار آب در حدود ۱/۷ اتمسفر (۲۵psi) باشد.
- o خروج فیلتر کاملاً باز باشد.
- o سیستم بمباردمان الکتروود صحیح باشد (الکترولیت به دور الکتروود طلا گردش کند).
- pH محلول الکترولیت با کاغذ pH کنترل شود (هرگز نباید بیش از ۵ باشد).
- دقت شود که نمونه آب که به دستگاه اندازه‌گیری می‌رسد، کافی باشد.
- مقدار بافر در ظرف بازدید شود
- آزمایش آمپر متریک دستگاه هر ۲۴ ساعت یک بار ضروری است.

### هفتگی:

- سیگنال کنترل به کلریناتور فرمان می‌دهد قطع شود (به حالت دستی در می‌آید).
- فیلتر با فشار ۳ تا ۵ اتمسفر شسته شود.
- الکتروود طلا باز و شسته شود.
- سل را هر مرتبه تنظیم کنید (تنظیم صفر و حداکثر طبق دستورالعمل سازنده).

---

۱- متناسب با بالا رفتن غلظت کلر در الکترولیت اختلاف سطح الکتریکی بین الکتروودها افزایش می‌یابد و آمپرسنج عبور جریان بیشتری را نشان می‌دهد.

### ج- دستگاه اخطار انتشار گاز کلر

اصول کار دستگاه اخطار انتشار گاز کلر براساس دو روش متفاوت زیر است:

در روش اول: هوای آلوده به کلر را مستقیماً به محلول اندیکاتور کلر وارد می‌کنند که کلر موجود در هوا سبب رنگین شدن محلول اندیکاتور کلر می‌شود، شدت این رنگ متناسب با مقدار آلودگی هوا به کلر است، است، یک دستگاه فتوالکتریک شدت رنگ را اندازه‌گیری می‌کند و چنانچه از حد مجاز بیشتر باشد، به طریق الکتریکی، رله فرمان عمل می‌کند که در نتیجه آن، آژیر خبر به صدا در می‌آید و چراغ مخصوص "انتشار گاز کلر" روشن می‌شود و هواکشهای محل آلوده به کار می‌افتد.

در روش دوم هوای آلوده از محلول مورد نظر عبور می‌کند و با توجه به مقدار آلودگی آن به گاز کلر هدایت الکتریکی محلول تغییر می‌کند.

با توجه به حساسیت این دستگاهها باید طبق دستورالعمل بهره‌بردار و نگهداری آن عمل شود.

### د- سیستم تعویض کننده خودکار

چنانچه هدف کلرزنی دائمی و بدون وقفه باشد، در این صورت نیاز به دستگاهی است که به طور خودکار سیلندر یا تانک خالی کلر را از مدار خارج و کپسول یا تانک کلر پر را در مدار بهره‌برداری قرار دهد.

برای انجام دادن این منظور به شرح زیر عمل شده است:

- تعویض خودکار کپسول یا تانک کلر با استفاده از سیستم شیرهای فشار شکن
- این سیستم شامل دو خط تقسیم کننده مجزا از هم است که هر کدام مجهز به شیر فشار شکن قابل تنظیم (CPRV) و فشار سنج گاز کلر هستند. شیر فشار شکن یکی از دو خط ارسال کلر ۰/۷ تا ۱/۵ آتمسفر بیشتر از خط دیگر تنظیم می‌شود. بنابراین این گاز کلر از طریق شیر فشار شکنی که فشار آن بیشتر است، جریان می‌یابد، هنگامی که تمام کلر مایع کپسول یا تانکهای متصل به این خط تبخیر شده و فشار آن به مقدار کمتر از شیر فشار شکن خط دیگر رسید، شیر فشار شکن آن بسته نیست و شیر فشار شکن خطی که دارای کلر مایع است، باز می‌شود و جریان کلر برقرار می‌گردد. در هر صورت فشار سنجها نشان می‌دهند که کلر از کدام یک از دو خط جریان دارد.

### ه- تبخیر کننده کلر

در شرایطی که بخواهیم مقدار زیادی از مایع داخل کپسول را خارج و مصرف کنیم، از دستگاه تبخیر کننده کلر استفاده می‌شود.

دستگاههای تبخیر کننده، حرارت لازم را برای تبخیر مایع کلر فراهم می‌کند و سپس گاز کلر حاصله به صورت عادی به قسمتهای مختلف سیستم کلرزنی منتقل می‌شود.

هر دستگاه تبخیر کننده متشکل از مخزن تحت فشاری است که کلر مایع به آن وارد و از اطراف به آن حرارت داده می‌شود. منبع حرارت، انرژی الکتریکی و یا بخار و یا آب گرم است و سازندگان مختلف انواع مدل‌های گوناگون را عرضه کرده‌اند. معمولترین نوع گرمایش مورد استفاده در تبخیر کننده‌ها گرمایش الکتریکی است. این تبخیر کننده‌ها در ظرفیتهای مختلف ساخته می‌شوند. در تمام موارد حرارت تبخیر کننده توسط ترموستات کنترل



می‌شود تا دمای حاصله را ثابت نگه دارد و گاز کلر در شرایط مطمئنی از درجه حرارت از تبخیر کننده خارج شود.

به طوری که در شکل ۴-۲۰ ملاحظه شد، تغییرات افزایش فشار متناسب با افزایش درجه حرارت است، مثلاً در درجه حرارت صفر درجه سانتیگراد فشار گاز کلر حدود ۲/۵ بار و در ۲۰ درجه سانتیگراد حدود ۶ بار است. در تبخیر کننده‌ها باید درجه حرارت مایع کلر را به وسیله عمل گرم کردن تا حدی افزایش داد که فشار گاز تولید شده برای بهره‌برداری از سیستم به حد کافی برسد، علاوه بر آن لازم است برای جدا کردن ذرات مایع از گاز تولید شده (به عبارت دیگر خشک کردن گاز کلر) آن را گرم‌تر نمود.

در نواحی سردسیر که تانکهای کلر در خارج ساختمان نصب می‌شود، به علت کاهش شدید درجه حرارت، فشار گاز کلر برای بهره‌برداری از سیستم کافی نخواهد بود: مثلاً در جایی که درجه حرارت محیط به  $20^{\circ}\text{C}$  - تنزل کند، فشار گاز تولید شده بیشتر از حدود یک بار نخواهد شد و قادر به راه‌اندازی دستگاه نیست، در این مواقع باید مخزن ذخیره کلر را با هوای تمیز و بسیار خشک تحت فشار قرار داد تا اطمینان کافی از تغذیه کلر مایع به داخل تبخیر کننده حاصل شود، به طور مثال اگر مخزن کلر در درجه حرارت  $20^{\circ}\text{C}$  - با هوایی به فشار ۳/۵ بار تحت فشار قرار دهیم با مقدار کمی حرارت در تبخیر کننده می‌توان درجه حرارت گاز را متناسباً به حدود ۶ درجه سانتیگراد رساند.

در شکل ۴-۲۱ نقشه شماتیک نمونه تبخیر کننده با گرم کننده الکتریکی نشان داده شده است؛ به طوری که مشاهده می‌شود، تبخیر کننده شامل یک مخزن گازی بسته حاوی کلر است که در داخل یک مخزن آب قرار داده شده است، آب اطراف مخزن کلر به کمک گرمکن برقی گرم می‌شود و این آب سبب گرم شدن کلر مایع موجود در مخزن کلر و تبدیل آن از حالت مایع به بخار و گاز می‌شود، درجه حرارت آب توسط ترموستات کنترل می‌شود. هنگامی که حرارت آب گرم توسط مایع کلر جذب می‌شود، درجه حرارت آب خنک می‌شود و تا زیر حد تنظیمی ترموستات پایین می‌آید، در این حالت ترموستات فرمانی می‌دهد و گرمکن برقی روشن می‌شود، گرمکن مذکور آنقدر به کار خود ادامه می‌دهد تا دمای آن به حد بالای تنظیم ترموستات برسد. به محض رسیدن به این دستگاه گرمکن خاموش می‌شود و این عمل خاموش و روشن شدن گرمکن برقی به طور خودکار ادامه می‌یابد.

وقتی که کلر مایع تبخیر می‌شود، هر نوع ناخالصی که در کلر مایع وجود داشته باشد، سطوح داخلی مخزن تبخیر کلر باقیمانده را می‌پوشاند، این پوشش عایق حرارت است و مانع انتقال حرارت کافی از آب گرم به کلر می‌گردد، به طوری که برای جبران این کاهش باید درجه تنظیم ترموستات آب گرم را به تدریج بالا برد و هنگامی که دستگاه تبخیر کننده نتواند مقدار کافی و مطلوب گاز کلر را تحت درجه حرارت لازم (فوق گرم یا Super Heat) تبخیر نماید، باید مخزن تحت فشار تبخیر کننده تمیز شود. تواتر این تمیز کاری تابع درجه خلوص کلر و میزان گاز کلر توسط تبخیر کننده است. برای حصول به بهترین نتیجه باید دستورالعملهای تمیز کاری که از طرف سازندگان ارائه می‌شود به دقت رعایت گردد.

از نظر ایمنی و سهولت بهره‌برداری از دستگاه تبخیر کننده علاوه بر ترموستات کنترل کننده مدار گرمکن، هر تبخیر کننده دارای تجهیزات زیر نیز است:

- ترازسنج سطح آب: لوله شیشه‌ای آبنا برای کنترل سطح آب تبخیر کننده
- فشارسنج گاز کلر: شاخص فشار گاز کلر را داخل مخزن کلر تبخیر کننده
- دماسنج کلر: شاخص دمای گاز کلر خروجی از تبخیر کننده
- دماسنج آب: شاخص دمای آب گرم تبخیر کننده
- رله‌های حداقل و حداکثر درجه حرارت آب تبخیر کننده: چنانچه آب تبخیر کننده سرد شده و عقربه نمایش درجه حرارت، به مقدار حداقل تنظیم شده برسد، نشانگر عیب در سیستم گرمایش تبخیر کننده است. تماس عقربه درجه حرارت به حداقل تنظیم شده سبب فعال شدن رله مربوط و به صدا در آمدن زنگ خطر و قطع شیر خودکار کلر تبخیر کننده می‌شود.
- رله حداکثر درجه حرارت آب تبخیر کننده: چنانچه درجه حرارت آب تبخیر کننده بیش از حد بالا رود (به علت نقص سیستم کنترل دستگاه تبخیر کننده) و عقربه درجه حرارت با نشانه حداکثر درجه حرارت تماس پیدا کند، رله حداکثر درجه حرارت تحریک شده زنگ خطر به صدا در می‌آید و مدار گرم کننده برقی قطع می‌شود.
- رله تراز حداقل سطح آب: چنانچه سطح آب تبخیر کننده به حداقل تنظیم شده برسد، مدار اعلام خطر بسته و شیر خودکار ورود آب به تبخیر کننده باز می‌شود.
- رله گرمکن: این رله بر اثر فرمان ترموستات مدار کنترل به منظور قطع و وصل جریان برق گرمکن عمل می‌کند.
- حفاظت کاتدی: سیستم حفاظت کاتدی، سطوح فلزی در تماس با آب دستگاه تبخیر کننده را در مقابل خوردگی حفاظت می‌کند.
- دبی سنج آب: این دستگاه نشاندهنده جریان آب به مخزن آب گرم دستگاه تبخیر کننده است و می‌توان به کمک آن میزان دبی جریان آب را تنظیم کرد.

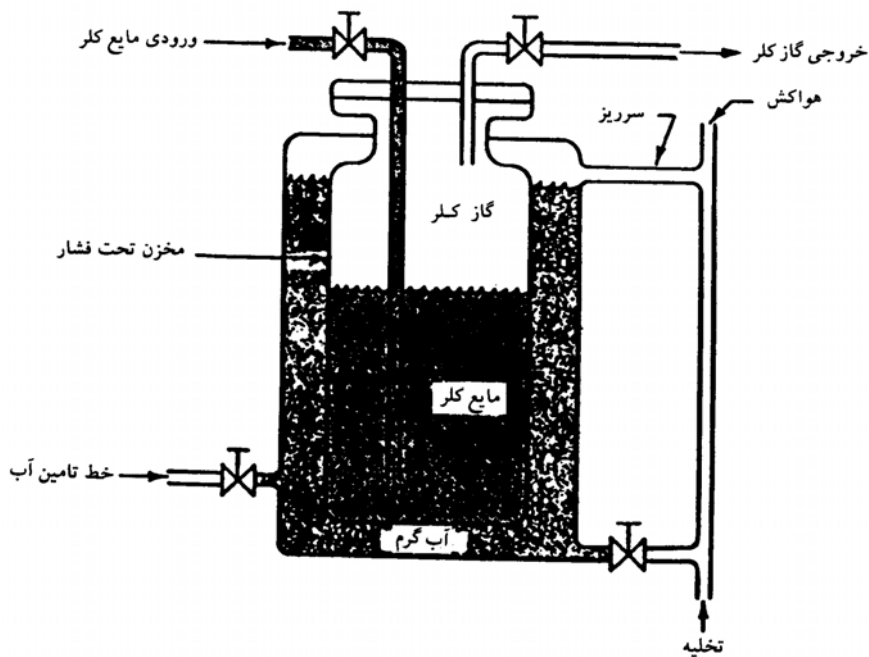
#### و- علائم خبری و هشدار دهنده

علائم خبری که در تاسیسات کلرزی ممکن است مورد استفاده قرار گیرد (به صورت روشن شدن چراغ علائم یا به صدا در آمدن بوق خبر و یا هر دو) به منظور دستیابی اهداف زیر است:

- مقدار خلاء کمتر از حد مجاز است.
- مقدار خلاء بیشتر از حد مجاز است.
- اعلام خبر مربوط به تبخیر کننده شامل:
- درجه حرارت آب کمتر از حد تعیین شده است.
- درجه حرارت آب بیشتر از حد تعیین شده است.
- سطح آب پایین‌تر از حد تعیین شده است.
- سطح آب بالاتر از حد تعیین شده است.

- تبخیر کننده روشن است (با روش شدن یک لامپ)
- فشار کلر پایین است (چه گاز و چه مایع)
- کلر باقیمانده آب کمتر از حد تعیین شده است.
- کلر باقیمانده آب بیشتر از حد تعیین شده است.
- مقدار کلر در حال مصرف بیشتر یا کمتر از حد تعیین شده است.
- فشار آب انژکتور پایین است.
- نشت گاز کلر وجود دارد.

بیشتر قطعات مورد استفاده در سیستمهای کنترل و خبری کلر زنی ها برقی هستند و نیاز به نگهداری و سرویس دارند، بخش نگهداری و تعمیرات باید بتواند هر کدام از قطعات این دستگاهها را که لازم باشد عوض نماید و این قطعات به صورت یدکی باید در اختیار آنها قرار داده شود؛ مانند پتانسیومترها، کلیدهای خودکار،... تمام کلیدها، تابلوها و پریزها باید در محلی خارج از منطقه کپسولهای کلر و اطاقهای کلر زنی نصب شوند و به طور کلی تمام سطوح فلزی در اتاقها باید با رنگ اندود شده و همیشه تمیز نگاه داشته شوند. در سیستمهای کنترل نیوماتیک، قطعات متحرک بیشتر نیاز به مراقبت و نگهداری دارند و اغلب مشکلات در این سیستم به علت کثیفی و رطوبت هوا به وجود می آید و به تدریج قطعات متحرک مانند: دیافراگم، شیرهای پروانه ای و محل نشستن قطعات متحرک را خراب می کند، لذا باید حتی المقدور تمیز نگاه داشته شوند تا عمر آنها طولانیتر شود. فنرهای مورد مصرف در این سیستمها معمولاً دارای عمر طولانیتراند و هر ۵ تا ۶ سال یک بار نیاز به تعویض دارند.



شکل ۴-۲۱ نقشه شماتیک تبخیرکننده کلر

• خطرات کلر

کلر مایع سبب تحریک و سوختگی پوست و به لحاظ تبدیل سریع به کلر گازی شکل در مقادیر قابل ملاحظه سبب خفگی سریع می‌گردد و بسته به غلظت آن باعث تحریک مخاط دهان، سیستم تنفسی و چشم می‌شود و هر چه گاز استنشاق شده بیشتر باشد، به همان نسبت خطرها و ضایعات وارد شده به سیستم تنفسی بیشتر خواهد بود.

کلرزدگی به دو صورت ممکن است روی دهد: یکی کلرزدگی ناشی از گاز کلر در محیط خشک و دیگر کلرزدگی در محیط مرطوب

الف - کلرزدگی در محیط خشک: کلرزدگی ناشی از گاز کلر خشک (در محیط خشک) معمولاً بیشتر اتفاق می‌افتد و نسبت به نوع "ب" ناراحت کننده‌تر است. در این حالت به محض آنکه گاز کلر وارد حلق شد، شخص احساس سوزش و تنگ شدن مجاری تنفسی می‌کند و این عکس‌العمل طبیعی بدن برای جلوگیری از ورود بیشتر گاز کلر به ریه است. در این حالت اولاً، باید فوراً شخص مصدوم را از محل آلوده به گاز خارج کرد و ثانیاً توصیه می‌شود که از طریق دهان و به آرامی تنفس کند، زیرا تنفس از طریق بینی سبب بروز سرفه می‌شود که حتی المقدور باید از آن جلوگیری شود (روش درمان به شرح صفحه ۷۸ خواهد بود).

ب - کلرزدگی در محیط مرطوب و همراه با بخار آب: این نوع کلرزدگی وقتی به وجود می‌آید که شخص در محیطی قرار گیرد که در آن گاز کلر از طریق نشست کلر باشد، هنگامی که غلظت کلر در هوای محل از ۷۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر شود، می‌تواند سبب کلرزدگی گردد. در ابتدا چون گاز کلر همراه با هوای مرطوب (بخار آب) است نسبت به حالت کلرزدگی خشک بیشتر قابل تحمل است و در نتیجه عکس‌العمل طبیعی (سرفه) کمتر و کلر بیشتری به داخل ریه‌ها وارد می‌شود، به همین جهت ضایعات این کلرزدگی بیشتر است و حتی اگر شخص قرار گرفته در محیط مذکور در حالت خواب باشد، ممکن است این نوع کلرزدگی سبب خفگی و منجر به مرگ او شود در این نوع کلرزدگی شخص مصدوم را باید فوراً از محل آلوده خارج نمود و قبل از شروع درمان، او را طوری قرار دهند که سرش پایین‌تر از بدن قرار گیرد تا به تدریج گاز کلر موجود در شش‌ها از دهان وی خارج شود (روش درمان به شرح اشاره شده خواهد بود)

جدول زیر آثار شدت آلودگی هوا به گاز کلر را نشان می‌دهد:

غلظت گاز کلر در هوا بر حسب قسمت در میلیون حجمی (p.p.m)	آثار
۱	پس از چندین ساعت قرار گرفتن در فضای آلوده نشانه‌هایی از وجود گاز کلر تشخیص داده می‌شود.
۳/۵	حداقلی که می‌توان بوی کلر را تشخیص داد
۴	حداکثر مقداری که می‌توان برای مدت یک ساعت بدون ناراحتی جدی تحمل کرد.
۵	بدون خطر، پس از چندین دقیقه، ناراحتی در تنفس احساس می‌شود.
۱۵/۱	حداقلی که سبب تحریک گلو می‌شود
۳۰/۲	حداقلی که سبب سرفه می‌شود
۴۰-۶۰	مقداری که از ۳۰ دقیق تا یک ساعت خطرناک است
۱۰۰۰	اکثر حیوانات را در مدت کوتاهی می‌کشد

• کمک‌های اولیه

در مورد کلرزده‌گیهای شدید و حاد، باید فوراً از مراکز فوریت‌های پزشکی درخواست کمک شود و به موازات آن اقدامات زیر انجام گیرد:

- شخص کلرزده باید بلافاصله از فضای آلوده خارج گردد و به محل سالم منتقل شود.
- تعویض لباسهای شخصی کلرزده به علت آلوده بودن به گاز کلر توصیه می‌شود.
- فرد کلرزده باید در جای گرم و راحت نگهداری و آرامش او حفظ شود.
- استفاده از دستگاه تنفس مصنوعی بجز در موارد حاد توصیه نمی‌شود؛ در صورت نیاز به استفاده از دستگاه فوق باید حتماً زیر نظر پزشک این عمل انجام شود.
- به طور کلی در مواجهه با این گونه حوادث، پزشک باید از پایین افتادن فشار خون جلوگیری کند و با نظارت دقیق اکسیژندهی (مخلوط اکسیژن و گاز کربنیک) شود (فشار بازدم نباید از ۴ سانتیمتر ستون آب تجاوز نماید) پزشک باید التهابات و آماس ریوی را در نظر داشته باشد.

داروهای آدرنالین و پنتاترین و مرفین و... برای جبران کمبود اکسیژن خون بیمار به علت تشدید ناراحتیهای ریه نباید مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از داروهای امیل‌نیتريت<sup>۱</sup> نیز که به علت خاصیت تحریک کنندگی قلبی آن سبب افت فشار خون می‌شود (چون فشار خون قبلاً به دلیل کلرزده‌گی پایین آمده) منع گردیده است. بیمار پس از بهبودی اولیه از عوارض ریوی نیاز به مراقبت‌های پزشکی و پرستاری دارد تا از ابتلاء وی به امراض ریوی و ذات‌الریه جلوگیری به عمل آید.

1 - Amylnitrite

#### ۴-۲-۵-۱-۸ توصیه‌های لازم

به طور کلی در مورد کلرزدگی رعایت نکات زیر ضروری است:

- حفظ خونسردی و آرامش
  - دور کردن فوری شخص کلرزده از محیط آلوده به گاز کلر
  - حرکت آهسته و بدون تقلا
- در صورتی که شخص کلرزده، دچار کلرزدگی شدید شده باشد، حتماً باید تحت نظر پزشک قرار گیرد، در موارد کلرزدگی خفیف معمولاً شخص کلرزده احساس بسته بودن راه تنفس و خفگی می‌کند، دچار ترس و وحشت می‌شود که در حالات خفیف می‌توان با خوراندن شربت معالج کلرزدگی، آثار کلرزدگی را برطرف نمود و آرامش را به شخص کلرزده باز گرداند.

فرمول ساخت شربت معالج کلرزدگی برای حجم ۲ لیتر به شرح زیر است:

آب	۱۴۸۵ میلی لیتر
شکر	۴۵ گرم
تنتورلاواند (استخدوس)	۳۷ میلی لیتر
الکل اتیلیک	۳۳۷ میلی لیتر
شربت آمونیا آروماتیک	۵۶ میلی لیتر
شربت کلروفرم	۵۵ میلی لیتر
اسانس نعنا	۳۷ میلی لیتر

طرز تهیه شربت کلرزدگی: ابتدا اسانس نعنا را به الکل اضافه می‌کنند و پس از به هم زدن، شربت کلروفرم را به آن می‌افزایند و سپس شربت آمونیا آروماتیک اضافه می‌شود پس از اضافه کردن هر کدام از محلول‌های فوق، (محلول کاملاً به هم زده شود) محلول حاصل شده را به آبی که قبلاً شکر در آن حل شده اضافه می‌کنند و شربت حاصل شده را خوب به هم می‌زنند تا شربت مورد نظر به دست آید (برای تهیه شربت کلروفرم، ۶۰ میلی لیتر کلروفرم در ۹۶۰ میلی لیتر الکل حل شود).

مقدار مصرف: خوراندن یک قاشق غذاخوری شربت ضد کلر هر پانزده دقیقه یک بار تا رفع عوارض کلرزدگی و یا برای مدت یک ساعت ضرورت دارد.

#### ۴-۲-۵-۱-۹ تجهیزات حفاظتی

تجهیزات مورد نیاز در تاسیسات کلرزنی بستگی به بزرگی تاسیسات دارد و استفاده از آنها متناسب با شدت نشست و آلودگی است، این لوازم عبارتند از:

- ماسک گاز کلر- که روی بینی و دهان قرار می‌گیرد و فیلتر گاز کلر روی آن بسته می‌شود.

- فیلترهای گاز کلر دارای برجسب تاریخ استفاده اند و باید توجه داشت که در موقع استفاده تاریخ آن نگذشته باشد.
- ماسک پوششی گاز کلر- مشابه نوع قبلی است با این تفاوت که همه سطح صورت را می پوشاند و دارای صفحه شفاف شیشه مانند است.
- ماسک گاز مجهز به کپسول هوا- زمانی که نشت گاز زیاد و هوای محل کار چنان آلوده به گاز کلر است که نتوان از آن حتی با فیلتر استفاده کرد، باید از کپسول هوای فشرده برای تنفس بهره جست. ماسک مجهز به کپسول هوا شامل قسمت‌های زیر است:
- الف- سیلندر هوای فشرده با حجم حدود ۶ لیتر که برای ۴۵ دقیقه تنفس کفایت می کند. وزن این کپسول در حالت پر حدود ۱۲ کیلوگرم و فشار داخل آن حدود ۲۰ اتمسفر است؛ این سیلندر با تجهیزات مربوط به پشت بسته می شود.
- ب- ماسک تنفسی که از طریق لوله یا شیلنگی به کپسول هوا متصل می شود.
- پوشش کامل حفاظتی- این پوشش شامل لباس سرتاسری، چکمه و دستکش و ماسک مقاوم در مقابل گاز کلر است؛ به طوری که هیچ گونه روزنه‌ای بین بدن اپراتور و فضای خارج وجود ندارد. اپراتور پس از پوشیدن این لباس کپسول هوا را می بندد و آماده کار می شود.

#### ۴-۲-۵-۲ هیپوکلریتها

عمل هیپوکلریتها در آب آشامیدنی و تصفیه فاضلاب مانند گاز کلر است. مهمترین ترکیبات موثر کلر که برای سالم سازی آب آشامیدنی مورد مصرف دارند، عبارتند از:

- هیپوکلریت سدیم  $\text{NaOCl}$
- هیپوکلریت کلسیم  $\text{Ca(OCl)}_2$
- کلرور دوشو  $\text{CaOCl}_2$

هیپوکلریت سدیم (آب ژاول): معمولاً این هیپوکلریت به صورت محلول تولید می شود و نسبت به هیپوکلریت‌های دیگر به مخازن بزرگتری نیاز دارد و چون به صورت محلول است، حمل و نقلش مشکلتر و برای انبار کردن آن به هزینه بیشتری نیاز است. دستگاه‌های تزریق و اندازه‌گیری که با این محلول کار می کنند، به نگهداری و تعمیرات کمتری نیاز دارند.

این محلول از اثر کلر روی سود سوزآور تولید می شود.



برای نگهداری این محلول به سبب قدرت خوردگی قوی آن باید از ظروف پلی اتیلن، پی وی سی، پلاستیک و لاستیک با ظروف فلزی اندود شده با مواد فوق استفاده کرد.

ثبات هیپوکلریت در محلول بستگی به درجه حرارت نور، وجود کاتیونهای فلزات سنگین دارد که برای انبار کردن محلول باید به عوامل فوق توجه داشت و دستورالعمل سازنده را رعایت نمود و مراقبت شود که درجه حرارت این محلول از  $28^{\circ}\text{C}$  تجاوز نکند.

غلظت هیپوکلریت سدیم تجارتي از ۵ تا ۱۵ درصد هیپوکلریت است.

- هیپوکلریت کلسیم: در سال ۱۷۹۸ تنان<sup>۱</sup> با عبور دادن کلر از روی شیر آهک، هیپوکلریت کلسیم به دست آورد و آنرا لیکور سفید کننده نامید، بعدها آن را به صورت پودر و یا گرانول سفید کننده تولید کردند. حمل و نقل این هیپوکلریت نسبت به هیپوکلریت سدیم ساده تر و برای مصرف آن فقط کافی است هیپوکلریت را در آب حل کنند.

مقدار هیپوکلریت خالص در هیپوکلریت کلسیم تجارتي حدود ۷۰ درصد هیپوکلریت یا ۳۵ درصد کلر قابل استفاده است.

هیپوکلریت کلسیم را نباید در جایی که احتمال بروز حرارت است، یا جایی که مواد آلی وجود دارد انبار کرد.

تجزیه هیپوکلریت کلسیم توام با حرارت است و از تجزیه آن اکسیژن و اکسید کلر حاصل می شود. در شرایط معمولی، هیپوکلریت کلسیم بین ۳ تا ۵ درصد در طول یک سال هیپوکلریت خود را از دست می دهد و بر اثر تماس با آب یا رطوبت موجود در هوا تجزیه می شود.

#### ۱-۲-۵-۲-۴ هیپوکلریناتورها و انواع آن

هیپوکلریناتورها دستگاههایی هستند که محلول هیپوکلریت را به آب آشامیدنی یا فاضلاب اضافه می کنند. هیپوکلریناتورها با توجه به اصول به کار گرفته شده به صورتهای متفاوت مکانیکی، الکتریکی، هیدرولیکی و یا استفاده از لوله های مویین در ظرفیتهای مختلف ساخته می شوند. معروفترین انواع هیپوکلریناتورها به شرح زیرند:

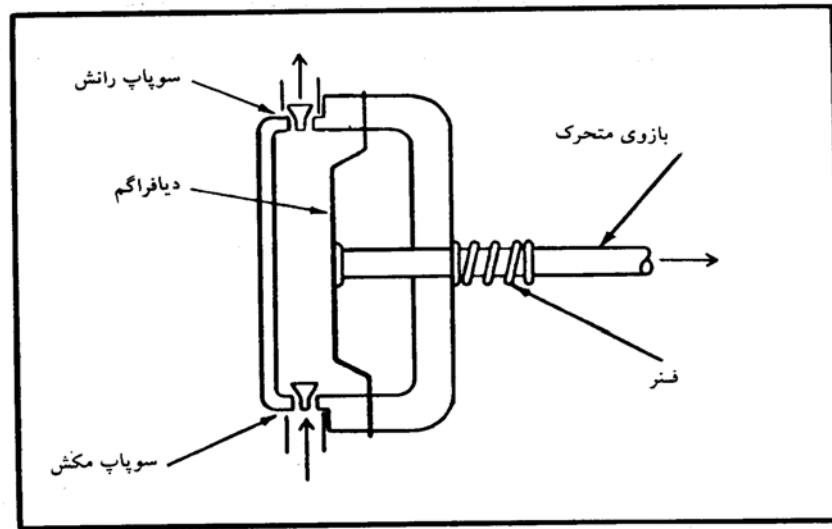
#### الف- پمپهای مکانیکی با دیافراگم

این نوع پمپها شامل یک دیافراگم قابل انعطاف است. که به یک بازوی متحرک متصل است، حرارت دورانی الکترو موتور به کمک بازوی (میل لنگ) مذکور به حرکت رفت و برگشت تبدیل می شود، شکل این دیافراگمها عموماً به صورت دایره است. برای برگشت دادن دیافراگم معمولاً از یک مکانیزم فنری برگشت دهنده استفاده می شود.

در زمان مکش حرارت دیافراگم سبب ایجاد خلاء نسبی در سوپاپ ورودی محلول هیپوکلریت می گردد و در عین حال باعث بسته شدن سوپاپ رانش می شود (شکل ۴-۲۲): در نتیجه محلول به داخل محفظه مکیده می شود. در پایان زمان مکش برای حرکت معکوس شده، محلول تحت فشار قرار می گیرد، سوپاپ مکش بسته و



سوپاپ رانش باز می‌شود و محلول تحت فشار به داخل لوله رانش فرستاده می‌شود. در پایان زمان رانش بازوی متحرک جهت حرکت را عوض می‌کند و چرخه پر و خالی شدن ادامه می‌یابد. کاربرد این نوع پمپها به علت اینکه دیافراگم بدون اتکا است، محدود به فشارهای کم (فشارهای کمتر از ۱۰ اتمسفر) است. در عین حال پایین بودن فشار سبب می‌شود که بتوان از انواع وسایل محرکه اصلی استفاده نمود؛ مثلاً: می‌توان بازوی متحرک را از جنس سولونوئید انتخاب کرد.



شکل ۴-۲۲ دیافراگم با سیستم مکانیکی

#### ب- پمپهای هیدرولیکی با دیافراگم

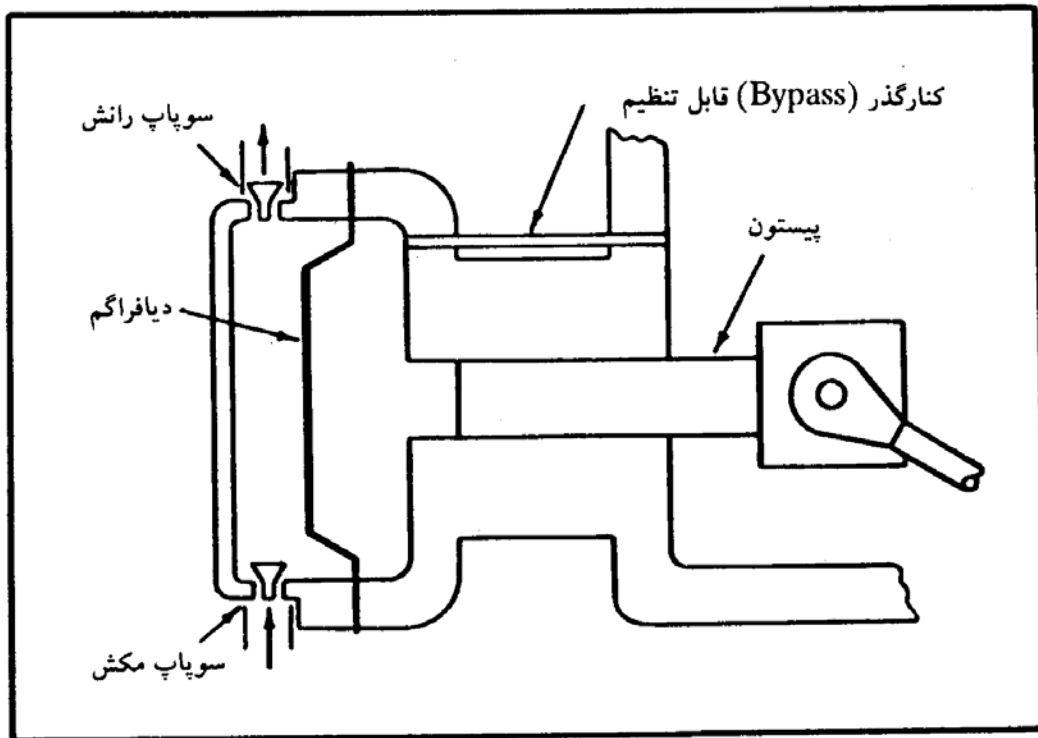
این پمپها ترکیبی است از پمپهای پیستونی و دیافراگمی (شکل ۴-۲۳) در این طرح پمپ پیستونی عمل ایجاد فشار مایع و دیافراگم عامل پمپ کردن محلول هیپوکلریت می‌شود. سیالی که پیستون روی آن عمل می‌کند باید مایع غیر خورنده باشد، برای آبیندیها از کاسه نمد استفاده می‌شود. ظرفیت این دستگاهها با کمک تغییر کورس پیستون قابل تنظیم است.

#### ج- پمپهای دیافراگمی استفاده از کنتور آب

در بعضی مدلها از نیروی محرکه محور کنتور آب برای راه‌اندازی پمپ هیپوکلریت استفاده می‌شود، این نوع پمپ دارای دو مزیت مهم است؛ اولاً برای کار کردن نیاز به مصرف برق ندارد و ثانیاً محلول هیپوکلریت مکیده شده به طور خودکار تابع بده جریان است. (شکل ۴-۲۴)

ظرفیت این هیپوکلریناتورها تا ۵ لیتر در ساعت و فشار ایجاد شده توسط پمپ این دستگاهها تا ۱۰ اتمسفر می‌رسد اکثر پمپها مورد استفاده در هیپوکلریناتورها از نوع دیافراگمی است. این پمپها خود ممکن است به صورت مکانیکی یا هیدرولیکی عمل نمایند. روش کار پمپ به صورت رفت و آمدی است که توسط میل‌لنگ یا بادامک ایجاد می‌شود. دیافراگم این پمپها از جنس قابل انعطاف با خاصیت ارتجاعی زیاد ساخته می‌شود. در زمان مکش، شیر یکطرفه (سوپاپ مکش) باز می‌شود و محلول هیپوکلریت به داخل محفظه پمپ مکیده می‌شود. در زمان رانش، دیافراگم به داخل محفظه پمپ رانده می‌شود و سبب ایجاد فشار در محفظه پمپ شده و در نتیجه سوپاپ مکش بسته و سوپاپ رانش باز می‌شود.

هیپوکلریناتورهایی نیز ساخته شده که حرکت رفت و آمدی پمپ آنها توسط محور کنتور آب که مجهز به بادامک است، تامین می‌گردد که در این صورت اولاً: حرکت پمپ نیاز به برق ندارد و ثانیاً حرکت و سرعت پمپ هیپوکلریت متناسب با بده جریان آب است و عملاً حالت خودکار بودن دستگاه هیپوکلریناتورها را با بده جریان آب میسر می‌سازد.



شکل ۴-۲۳ دیافراگم با مکانیزم هیدرولیکی (دیافراگم پلانجری)



تنظیم سرعت ضربه: در مورد هیپوکلریت‌زنهای مجهز به موتورهای خارجی، تنظیم سرعت ضربه توسط موتور دور متغیر اعمال می‌شود که با دریافت سیگنالهای نیوماتیک (بادی) و یا برقی و یا الکترونیکی متناسب با بده جریان دور آنها تنظیم می‌شود.

تنظیم سرعت ضربه را می‌توان همزمان با هر یک از روشهای مذکور در مورد کنترل طول ضربه انجام داد. همان طوری که قبلاً ذکر شد، هیپوکلریت‌زنهای با فعال‌ساز آبی به طور خودکار هماهنگ با کنترل آب کار می‌کند و سرعت ضربه را تغییر می‌دهد. در جدول زیر خلاصه‌ای از معمولترین روشهای کنترل آمده است.

سرعت ضربه	طول ضربه	حالات کنترل
ثابت	متغیر برای میزان تزریق	دستی (مستقل)
با فرمان روشن-خاموش از مدار	متغیر برای میزان تزریق	قطع و وصلی
موتور با دور متغیر	متغیر برای میزان تزریق	خودکار متناسب با بده جریان
ثابت	کنترل میزان تزریق توسط وضعیت‌ساز	خودکار متناسب با بده جریان
موتور با دور متغیر	کنترل میزان تزریق توسط وضعیت‌ساز تحت کنترل کافنده	کنترل ترکیبی بده جریان و کلر باقیمانده

#### ۴-۲-۵-۳ نگهداری و تعمیرات هیپوکلریناتورها

یکی از قطعات حساس کلریناتورها دیافراگم پمپ تزریق است که در ضمن کار دائماً تحت کشش و فشار قرار می‌گیرد، به همین جهت بازبینی و مراقبت بیشتری را طلب می‌کند. عمر مفید این دیافراگمها علاوه بر کیفیت و جنس آن، متناسب با نوع و غلظت محلول هیپوکلریت و شرایط فیزیکی کار است.

سوپاپهای رانش و مکش اغلب به دلیل شرایط خاص کار آنها ممکن است از آبنندی خارج شود و این امر ممکن است به جهت خوردگی نشیمنگاههای سوپاپها و یا خوردگی و سخت شدن خود سوپاپ و یا رسوب مواد خارجی در این قطعات باشد.

رسوبات را می‌توان با محلول اسید کلریدریک (۵ درصد) تمیز کرد. این رسوبات در نتیجه فعل و انفعال هیپوکلریت با سختی آب مصرف شده برای تهیه محلول هیپوکلریت به وجود می‌آید.

در این نوع پمپها، معمولاً محفظه سوپاپ رانش یا مکش از جنس شفاف ساخته می‌شود تا به خوبی عمل پمپ قابل رویت و کنترل باشد. زمانی که مقدار رسوبات در قسمت شفاف به حدی رسید که دیگر نتوان کار پمپ را مشاهده نمود، وقت شستشوی پمپ با اسید کلریدریک است.

واکنش کلر با هر ترکیبی که دارای اتم ازت با یک یا دو اتم هیدروژن متصل به آن باشد، موجب تشکیل موادی مرکب از ازت و کلر می‌شود که اصطلاحاً به آنها کلرآمین می‌گویند. کلرآمینها به دو دسته تقسیم می‌شوند: آلی و غیر آلی

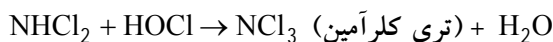
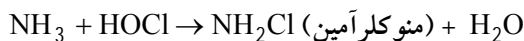
#### الف- کلرآمینهای آلی

کلرآمینهای آلی از ترکیب کلر و ازت موجود در پروتئینها، پلی‌پپتیدها و آمینو اسیدها به وجود می‌آیند. پروتئینها در کلرزنی، مشکل‌ترین مسئله‌اند، پروتئینها جزئی از زندگی حیوانات و گیاهان را تشکیل می‌دهند. همه پروتئینها از هیدروژن، کربن، اکسیژن و ازت درست شده‌اند و بعضی از آنها حاوی گوگرد نیز هستند. از این عناصر کربن، ازت و گوگرد با کلر ترکیبات پیچیده‌ای با وزن مولکولی زیاد در مراحل متعدد هیدرولیز به وجود می‌آورند، عمل هیدرولیز به کمک آنزیمها انجام می‌گیرد. بررسی ترکیبات آلی ازتدار به خاطر مواد متعدد حاصل از هیدرولیز از مسائل پیچیده و مشکل است و خوشبختانه بیشتر پروتئینها به صورت کلوییدی هستند که در عملیات معمولی تصفیه عمدتاً از آب جدا می‌شود.

#### ب- کلرآمینهای غیر آلی

کلرآمینهای غیر آلی از واکنش کلر در محیط آبی با آمونیاک آزاد به صورت طبیعی در آب آشامیدنی، فاضلابهای تصفیه شده یا فاضلابهای تصفیه نشده‌ای که مدت زمان طولانی از تخلیه آن به رودخانه گذشته باشد، به وجود می‌آیند، این کلرآمینها ترکیبات ساده‌ای هستند.

واکنش کلرو ازت آمونیاکی منتهی به تشکیل سه نوع کلر آمین به شرح زیر می‌شود :



در واکنش فوق جانشینی کلر به جای هیدروژنهای آمونیاک طی یک رشته واکنشهای پیچیده انجام می‌شود؛ این واکنشها به عوامل زیر بستگی دارد:

- غلظت اولیه کلر هیدروژن
- نسبت کلر و ازت آمونیاکی
- pH
- درجه حرارت
- زمان تماس

البته در هر سه واکنش کلر دارای ظرفیت «+۱» است.

غلظت کلرآمینها برای سالم‌سازی آب تصفیه‌خانه‌هایی که آب خام آنها از دریاچه یا رودخانه‌ها تامین می‌شود، به ترتیب ۱/۵ تا ۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر است.

در هنگام ترکیب کلر و آمونیاک هر چه نسبت کلر به آمونیاک بیشتر شود، به ترتیب ابتدا منوکلرآمین ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ) و سپس دی‌کلرآمین ( $\text{NHCl}_2$ ) و نهایتاً تری‌کلرآمین ( $\text{NCl}_3$ ) و همچنین ترکیباتی نظیر: گاز ازت، نیترات و غیره تشکیل می‌شود.

در سالم‌سازی آب آشامیدنی سعی می‌شود که نسبت کلر و آمونیاک در حدی حفظ شود که فقط منوکلرآمین تشکیل گردد، این نسبت در حدود ۴ به یک یا کمتر است.

کلرآمینها نسبت به کلر و دی‌اکسید کلر از خاصیت اکسید کنندگی کمتری برخوردار هستند؛ ولی بخش کوچکی از کلرآمینها در آب هیدرولیز می‌شوند و کلر آزاد تولید می‌کنند که می‌تواند ترکیبات جنبی کلر را مانند  $\text{HOCl}$  و  $\text{ClO}^-$  تولید کند، لذا ترکیبات جنبی مربوط به کلرآمینها نظیر: ترکیبات کلر مولکولی و آب است؛ با این تفاوت که غلظت این ترکیبات در مورد کلرآمینها بسیار کمتر است. روش اضافه کردن کلرآمین به آب و همچنین میزان آن در تولید ترکیبات جنبی موثر است.

متداولترین روش، اضافه کردن آمونیاک و کلر به طور جداگانه است، چنانچه ابتدا آمونیاک به آب اضافه شود، مقدار ترکیبات جنبی تولید شده کمتر خواهد بود.

البته اگر کلرآمینهای پیش ساخته مصرف شود، مقدار تولید ترکیبات جنبی به مراتب کمتر خواهد بود، ولی در حال حاضر این کار کمتر انجام می‌شود.

تا سال ۱۹۶۲ فقط ۲۶٪ از کل تصفیه‌خانه‌های آب آمریکا از کلرآمینها برای سالم‌سازی آب استفاده می‌کردند؛ در حالی که در سال ۱۹۸۷ متجاوز از ۱۳٪ از تصفیه‌خانه‌های کوچک و ۲۵٪ از تصفیه‌خانه‌های بزرگ از کلرآمینها برای سالم‌سازی استفاده کرده‌اند، دلیل اصلی سیر صعودی استفاده از کلرآمینها جلوگیری و یا کاستن از میزان تشکیل تری‌هالومتانها در آب است.

کلرآمینها در مقایسه با کلر در زمره میکروب‌کشهای ضعیف قرار دارند و مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اگر به کلرآمینها زمان تماس ۲۵ تا ۶۰ دقیقه داده شود، می‌توانند در کشتن ارگانیزمهای کلی فرم با کلر آزاد رقابت کنند. در شرایط یکسان از نظر درجه حرارت، pH (۶-۸) و زمان تماس برای حذف مقدار معینی میکروب، میزان مصرف کلرآمینها ۲۵ برابر بیشتر از مقدار کلر آزاد خواهد بود.

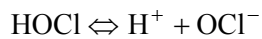
در صورت وجود آمونیاک اضافی در هنگام اضافه نمودن کلر تنها منوکلرآمین تشکیل خواهد شد و فرصتی برای تشکیل سایر ترکیبات آمینه کلر وجود نخواهد داشت.

#### الف- منوکلرآمین

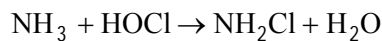
هنگامی که کلر در آب حل می‌شود، مطابق واکنش زیر سریعاً هیدرولیز می‌گردد:



اسید هیپوکلرو نیز خود به صورت زیر هیدرولیز می‌گردد:



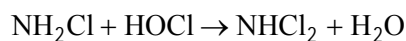
اسید هیپوکلرو از همه انواع کلر باقیمانده موثرتر است. یون  $\text{OCl}^-$  که حاصل پدیده یونیزاسیون اسید هیپوکلرو است یک ضد عفونی کننده ضعیف به شمار می‌رود؛ زیرا به علت بار منفی آن قدرت نفوذ موثر به دیواره میکرو ارگانیسم را ندارد. در صورتی که به آب کلردار مذکور آمونیاک اضافه شود، حاصل واکنش منوکلرآمین است.



تا زمانی که نسبت کلر به ازت آمونیاکی کمتر از ۱ به ۵ و pH حدود ۷/۵ باشد، با احتمال صد در صد فقط منوکلرآمین تولید می‌گردد. قدرت گندزدایی کلرآمین کمتر از اسید هیپوکلرو است.

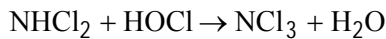
#### ب- دی کلر آمین

وقتی که نسبت کلر به ازت آمونیاکی از ۱ به ۵ بیشتر می‌شود، مطابق واکنش زیر که یک واکنش اکسیداسیون و احیا است، مقداری از منوکلرآمین به دی کلر آمین تبدیل می‌شود:



و در نتیجه غلظت منوکلرآمین در محلول کم می‌شود. دی کلر آمین به علت ایجاد طعم و بوی نامطبوع در آب کمتر مورد توجه است.

ج- تری کلر آمین یا تری کلرید نیتروژن  $\text{NCl}_3$  وقتی که نسبت کلر به آمونیاک برابر ۳ مول کلر به یک مول ازت آمونیاکی یا بیشتر شود و pH بین ۷ و ۸ باشد، تری کلر آمین (تری کلرید نیتروژن) تشکیل می‌شود.



از این ماده برای سفید کردن آرد به عنوان قارچ کش و برای کنترل میوه‌ها در مقابل حشرات در موقع انبار کردن با حمل نمودن آنها استفاده می‌شده است.

تری کلر آمین وقتی در آب آشامیدنی وجود داشته باشد، سبب بوی نامطبوع و طعم ناخوشایند می‌شود. این ترکیب از بوی تند و زننده که شبیه بوی کلر است، شناخته می‌شود و در غلظت‌های کم خیلی اشک‌آور است (این ترکیب تنها نمونه اشک‌آور ترکیبات کلر است). تری کلرید نیتروژن نمی‌تواند بدون حضور HOCl وجود داشته باشد.

#### ۱-۳-۵-۲-۴ بهره‌برداری و نگهداری

تزریق کلر آمین به آب به کمک پمپ‌های دوزر که قابل تنظیم هستند، انجام می‌گیرد و روش کار این پمپ‌ها و نگهداری آنها مشابه است با آنچه که در مورد پمپ‌ها دوزر یا هیپوکلریناتورها در بخش کلرزنی اشاره شد.

#### ۴-۵-۲-۴ دی اکسید کلر ( $\text{ClO}_2$ )

#### ۱-۴-۵-۲-۴ ویژگی‌های دی اکسید کلر

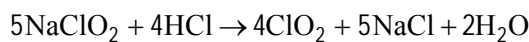
- رنگ دی اکسید کلر به حالت گازی، زرد و بوی آن تند و ناخوشایند و شبیه کلر سمی و فرار است. این ماده میکربکش بسیار قوی است و قدرت اکسید کنندگی، اصلاح رنگ و بوی آن بسیار زیاد است و در هوا قابلیت احتراق دارد.
- $\text{ClO}_2$  در غلظت بیش از ۱۰ درصد حجم در هوا سوزاننده است؛ ولی محلول آن در آب کاملاً بی‌خطر است.
- اگر غلظت دی اکسید کلر در هوا به ۱۴ تا ۱۷ ppm برسد، بوی دی اکسید کلر احساس می‌شود و چنانچه این غلظت به ۴۵ ppm برسد، سبب تحریک دستگاه تنفسی می‌گردد.



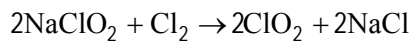
- گاز دی اکسید کلر در آب محلول است؛ به طوری که در شرایط معمولی و فشار ۳۰ میلیمتر جیوه به نسبت ۲/۹ گرم گاز در یک لیتر آب حل می‌شود و این از خصوصیات بارز دی اکسید کلر است که ۵ برابر کلر می‌باشد و در همین حال شدیداً فرار است؛ به طوری که با کمی هوادهی دی اکسید کلر از آب حذف می‌شود.
- گاز دی اکسید کلر در درجه حرارت معمولی و تحت فشار به مایع تبدیل می‌شود.
- دانسیته گاز دی اکسید کلر نسبت به هوا ۲/۴ است.
- دی اکسید کلر آتش‌زاست و برای اینکه بتوانند آن را از جایی به جای دیگر حمل کنند، آن را با هوا به نسبت ۸ تا ۱۲ درصد مخلوط می‌کنند.

#### ۲-۴-۵-۲-۴ روش تهیه

دی اکسید کلر از ترکیب یک اسید قوی (HCl یا H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) با کلریت سدیم به دست می‌آید:



روش دیگری که بیشتر برای تهیه دی اکسید کلر در تصفیه خانه اب بکار می‌رود ترکیب کلرو کلریت سدیم است:



تهیه ClO<sub>2</sub> باید در محل مصرف صورت گیرد.

همچنین دی اکسید کلر را می‌توان به طریق الکتریکی تولید نمود که به سیستم پیچیده‌ای نیاز دارد و هزینه تولید آن نیز بالا خواهد بود.

#### ۳-۴-۵-۲-۴ موارد استفاده از دی اکسید کلر در تصفیه آب

##### الف- سالم‌سازی آب

در عمل کلرزنی آب، در کنسروسازی و بسته‌بندی غذاهای یخزده که از کلر استفاده می‌شد، همیشه ناخوشایندی طعم و بوی کنسرو مطرح بوده است و این پدیده به سبب ترکیب کلر با مواد ازتدار موجود در کنسرو به وجود می‌آید، لذا با جایگزینی دی اکسید کلر به جای کلر هم بوی ناخوشایند برطرف می‌شود و هم قیمت تمام شده کمتر خواهد شد. لکن در شرایط معمولی به لحاظ مشکلات و مخاطرات تهیه و تولید از دی اکسید کلر کمتر استفاده می‌شود.

## ب- حذف طعم و بو

اکثر کارخانجاتی که دارای فاضلاب آغشته به فنل بودند تا سال ۱۹۹۴ برای حذف بو و طعم فنل، از کلر با تزریق مقادیر زیاد<sup>۱</sup> استفاده می کردند.

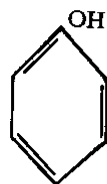
ولی از آنجای که مقادیر جزئی فنل موجود در آب قادر به ترکیب با کلر است و ایجاد مزه ناخوشایند و بوی نامطبوع کلر و فنل می کند، استفاده از دی اکسید کلر بر کلر ارجحیت پیدا کرد.  $\text{ClO}_2$  تا حذف کامل ترکیبات فنلی موجود در آب آلوده اثر می کند و طعم و بوی نامطبوع این ترکیبات را از بین می برد و نسبت به کلر خیلی سریعتر عمل می نماید.

• ترکیب فنل با کلر: که منجر به تشکیل کلرو فنلها می گردد:

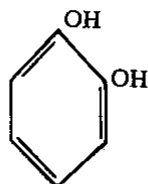


فنلها ترکیبات آلی آروماتیک (حلقوی) هستند که از طریق پساب کارخانجات مختلف مانند: کارخانجات داروسازی، رنگ سازی، پلاستیک سازی و غیره به آب وارد می شوند.

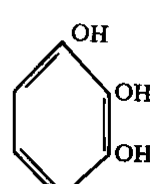
فنلها به عنوان آنتی سبتیک و گندزدا نیز به کار می روند و در قطران زغال سنگ یافت می شوند و فنلها به ۳ صورت یک ظرفیتی، دو ظرفیتی و سه ظرفیتی موجودند:



یک ظرفیتی



دو ظرفیتی



سه ظرفیتی

این ترکیبات در صورتی که به میزان ۰/۰۱ تا ۰/۱ میلیگرم بر لیتر در آب وجود داشته باشند، طعم و بوی محسوسی در آب ایجاد می کنند.

وجود فنل به میزان ۱ میکرو گرم در آبهایی که تصفیه میکربی آنها با کلر صورت می گیرد، سبب خواهد گردید که در آب تصفیه شده بو و طعم نامطبوعی ایجاد شود. به منظور رفع این مشکل و تصفیه میکربی آب اکسیداسیون کامل به وسیله دی اکسید کلر یا ازونیزاسیون باید صورت گیرد.

### ج- بوی ناشی از پوسیدگی مواد گیاهی

از دی اکسید کلر برای حذف بوهای ناشی از پوسیدگی گیاهان، قارچها و آلگها استفاده می‌شود و به فرایند حذف مواد به وسیله کربن فعال کمک می‌کند و در نتیجه مقدار کربن فعال لازم کمتر خواهد شد.

### د- حذف منگنز

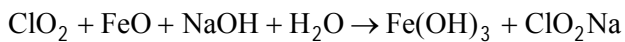
استفاده بهینه برای حذف کامل منگنز وقتی حاصل می‌شود که pH آب بیشتر از ۷ (حداقل بین ۹ تا ۹/۵) باشد:



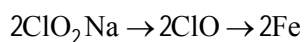
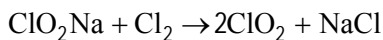
دی اکسید کلر نمکهای منگنز را در محیط قلیایی به دی اکسید منگنز تبدیل می‌کند.

### ه- حذف آهن

به کمک دی اکسید کلر می‌توان نمکهای فرو به حالت معمول را اکسید کرد و به صورت آهن ۳ ظرفیتی (هیدرات فریک) در آورد که به تشکیل لخته‌های ژلاتینی قهوه‌ای منجر خواهد شد. این فلوکها قابل ته‌نشینی هستند و به کمک صافی نیز از آب جدا می‌شوند:



بهترین pH برای این عمل pHهای بالاتر از ۷ و ترجیحاً ۸ یا ۹ است که باید از طریق آزمایش تعیین شود. بنابراین برای حذف هر میلیگرم آهن حدود ۱/۶ میلیگرم کلریت سدیم لازم است.



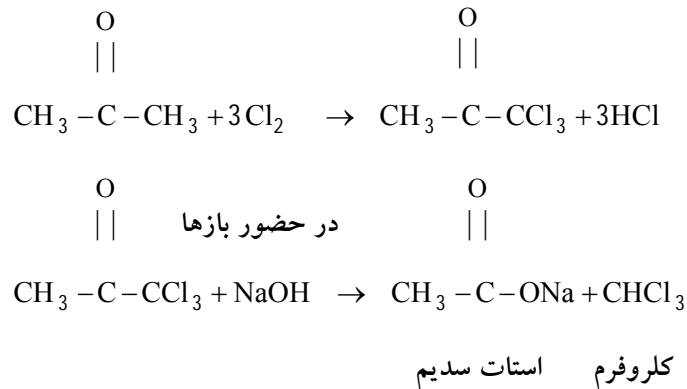
### ۴-۴-۵-۲-۴ مزایای استفاده از دی اکسید کلر نسبت به کلر

- یکی از مشکلاتی که ضد عفونی کردن با کلر در بر دارد، ایجاد ترکیبات هالوژنه، متان و بخصوص تری کلرومتان یا ( $\text{CHCl}_3$ ) کلروفرم است که تقریباً ۶۰٪ تری هالومتانها را در آب تشکیل می‌دهد که خواص سرطانزایی این ترکیبات امروزه مورد بحث قرار می‌گیرد و از اثر کلربر آبهای آلوده به مواد آلی به وجود می‌آیند.

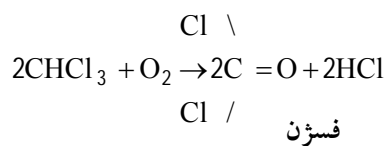
تشکیل تری هالومتانها بستگی به غلظت مواد هیومیک در آب دارد. ماده اولیه تشکیل دهنده تری هالومتانها اسیدهای هیومیک است که از تجربه برگها، جلبکها و پلانکتونها وارد آب می‌گردند. فرآیندهای فساد گیاهان طبیعی مهمترین عامل ایجاد این ترکیبات در آبهای سطحی است.

تشکیل تری‌هالومتان براساس مکانیزمهای متعدد رخ می‌دهد. یکی از این مکانیزمها واکنش هالوفرم است. در این واکنش کلر جانشین هیدروژن فرم انولی یک متیل کتون شده سپس تشکیل کلرواستیل می‌دهد و در حضور بازها کلروفرم و یک استات ایجاد می‌گردد:

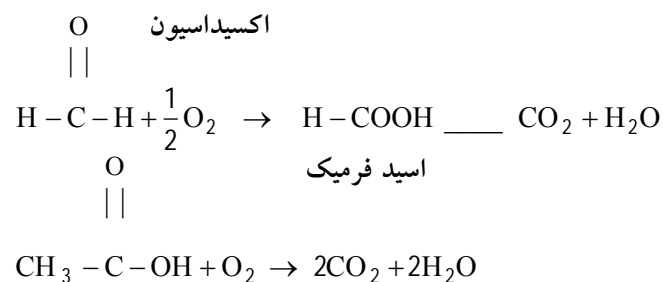
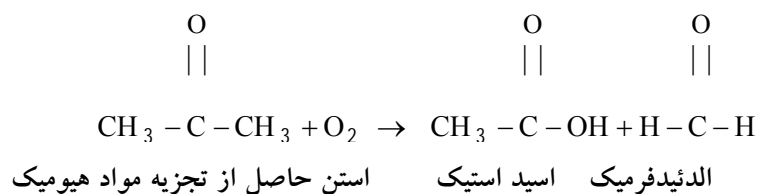
تری کلرواستیل



واکنشهای فوق در اثر کلرزی ایجاد می‌شود که منجر به تشکیل کلروفرم می‌گردد. کلروفرم در اثر اکسیداسیون ترکیب خطرناکی به نام فسژن (کلرید کرنیل) ایجاد می‌نماید:



گندزدایی با اوزن و یاد دی اکسید کلر منجر به تشکیل کلروفرم نخواهد شد. واکنشهای ایجاد شده در اثر اکسیداسیون کامل اسیدهای هیومیک که منجر به تشکیل اسیدهای آلی و در نهایت منجر به تولید گاز دی اکسید کربن خواهد گردید به شرح زیرند:



-  $\text{ClO}_2$  بر آمونیاک و ترکیبات ازتدار که دارای اسیدهای آمینه ساده‌اند، اثر نمی‌کند؛ در حالی که به صورت HOCl در اثر ترکیب با آمونیاک و ترکیبات ازتدار، کلرآمینها و دیگر ترکیبات ازتدار را تولید می‌نماید.



راندمان  $\text{ClO}_2$  در مقایسه با HOCl در محیط آبی با pH بالا خیلی بیشتر است. در تصفیه نهایی<sup>۱</sup> برای حذف بو و مزه ترکیبات کلر ناشی از تصفیه مقدماتی (وقتی که کلر زنی مقدماتی به وسیله کلر انجام شده باشد) از دی اکسید کلر استفاده می‌شود.

به طور کلی وقتی که در سیستم تصفیه، کلر برای کلر زنی اولیه مصرف شده باشد، در تصفیه نهایی بهتر است، از دی اکسید کلر برای بو و مزه ناشی از ترکیبات کلر استفاده گردد.

گرچه دی اکسید کلر بدون مزه است، ولی در صورتی که مقدار دی اکسید کلر باقیمانده بیش از ۰/۸ تا ۱ میلی‌گرم بر لیتر باشد، کمی مزه فلزی احساس می‌شود.

#### ۴-۲-۵-۴ راندمان میکربکشی

به طور خلاصه می‌توان گفت: راندمان میکربکشی دی اکسید کلر در pHهای طبیعی قابل رقابت با کلر است. راندمان میکربکشی  $\text{ClO}_2$  با افزایش pH محیط تا حدود ۸/۵ افزایش می‌یابد (برخلاف کلر).  $\text{ClO}_2$  در سالم‌سازی پساب فاضلاب موثرتر از کلر است.

#### ۴-۲-۵-۶ انبار کردن و نقل و انتقال

دقت و توجهات ویژه‌ای برای انبار کردن کلریت سدیم باید اعمال شود:

(کلریت سدیم ماده اولیه تهیه  $\text{ClO}_2$  است).

- محل نگهداری  $\text{ClO}_2$  باید خارج از ساختمانهای دیگر و حتی المقدور از هر گونه تاسیسات دیگری مجزا و جنس ساختمان آن باید از مواد غیر قابل اشتعال باشد.

- در کنار انبار  $\text{ClO}_2$  باید امکانات اطفای حریق و آب قابل دسترسی برای سرد کردن و حفاظت مواد آتشزا وجود داشته باشد.

- کیسه‌های کلریت سدیم باید با حداقل ضربه جابه‌جا شوند.

- برای تمیز کردن و جارو کردن کلریت سدیم هرگز نباید از دستگاههای مکنده استفاده نمود؛ در صورتی که مقدار آب شستشو کم باشد، خطر آن از زمانی که اصلاً آب نباشد بیشتر است.  
محل انبار کردن به شرح زیر آماده شود:
- الف- کف انبار را با سولفیت سدیم بپوشانند (۲۵۰ گرم برای هر متر مربع).
- ب- با حداقل آب لازم سولفیت سدیم را حل و به طور یکنواخت در سطح پخش کنند، در هنگام حمل و جابه‌جایی بسته کلریت سدیم نباید دستکشها پارگی یا سوراخ داشته باشند.
- ج- اگر کلریت سدیم به مواد قابل اشتعال مانند: پارچه و لباس ریخته شود، باید فوراً آن را در آب غوطه‌ور ساخت و یا آن را از محوطه خارج نمود و سوزاند.

#### ۴-۲-۵-۵ اوزون

اوزون برای اولین بار در سال ۱۸۹۳ در شهر oudshoon هلند برای سالم‌سازی و اصلاح و کیفیت آب خام از رودخانه راین مورد استفاده قرار گرفت. در این مورد تنها مسئله ضد عفونی کردن آبهای آشامیدنی به وسیله اوزون مطرح نبوده است بلکه حذف قطعی آهن، منگنز، نابود کردن سورفاکتانتها، حذف مواد معلق و از بین بردن کامل بو و طعم و رنگ نامطلوب و از همه مهمتر تخریب ترکیبات و مولکولهای مواد آلی مضر و سرطان‌زا از قبیل:  $C_{20}H_{12}$  (۳ و ۴- بنزپیرن) در آبهای آشامیدنی از جمله مزایای استفاده از اوزون در تصفیه آب نیز در نظر بوده است.

عمل ضد عفونی کردن را اوزون به مراتب عمیقتر و قطعی‌تر از کلر انجام می‌دهد و کلیه میکرو ارگانیسمها و ویروسها را نابود می‌سازد.

#### ۴-۲-۵-۵-۱ خواص فیزیکی و شیمیایی و ترمودینامیکی اوزون

اوزون گازی است، آبی رنگ با بوی تند و دانسیته بالا و فرمول شیمیایی  $O_3$  که از نظر شیمیایی آلوتروپ اکسیژن است. در مولکول اکسیژن دو اتم اکسیژن و در مولکول اوزون سه اتم اکسیژن وجود دارد. با توجه به اینکه یکی از اتمهای اکسیژن در مولکول اوزون به سهولت از آن جدا می‌شود، اوزون قویترین خاصیت اکسید کنندگی را در رابطه با سالم‌سازی آب داراست.

#### ۲-۵-۵-۲-۴ روش تهیه اوزن

برای تهیه اوزون باید یک مولکول اکسیژن به صورت اتم اکسیژن شکافته شود، یا اتم اکسیژن بر اثر تجزیه شیمیایی مواد حاوی اکسیژن به وجود آید. سپس از پیوند یک اتم اکسیژن با یک مولکول اکسیژن اوزون به دست آید.



پس برای تهیه یک مولکول اوزون از اکسیژن انرژی مورد نیاز حداقل ۱/۴۷۴ الکترون ولت است که این انرژی به روشهای زیر قابل تامین است:

- انرژی شیمیایی<sup>۱</sup>
- انرژی نوری<sup>۲</sup>
- انرژی هسته‌ای<sup>۳</sup>
- انرژی الکتریکی<sup>۴</sup>

بین ۴٪ تا ۵٪ انرژی به کار گرفته شده، صرف تهیه اوزون و بقیه آن به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود و باید از سیستم خارج گردد. به همین دلیل سرد کردن ژنراتورهای تولید اوزون در این تکنیک نقش و اهمیت مهمی را داراست. در یک واحد صنعتی اوزون با عبور هوا یا اکسیژن بین الکتروود و برقراری یک اختلاف پتانسیل مناسب تهیه می‌شود. معمولاً یکی از الکتروودها (یا هر دو آنها) به وسیله یک عایق یکنواخت ضخیم پوشانیده می‌شود و اختلاف پتانسیل بین الکتروودها به سطح الکتروود، ضخامت عایق، فاصله بین الکتروودها و فشار هوا یا اکسیژن ورودی بستگی دارد و معمولاً بین ۶۰۰۰۷ تا ۱۸۰۰۰۷ AC متفاوت است. از طرفی کارایی ژنراتور اوزون اساساً به شکل هندسی الکتروودها و درجه حرارت و فشار پلاسمای سرد نیز بستگی خواهد داشت و همچنین مقدار اوزون تولید شده به ظرفیت و سرعت جریان و خلوص گاز ورودی بستگی دارد.

#### ۳-۵-۵-۲-۴ انواع ژنراتورهای گاز اوزون (بار الکتروودهای باز و بسته)

در دستگاههای تولید کننده اوزون از قوس الکتریکی استفاده می‌شود و عمل تخلیه الکتریکی در یک میدان با ولتاژ بالا بین دو الکتروود انجام می‌پذیرد. الکتروودهای جدید تولید کننده اوزون در واقع از دو عدد الکتروود لوله‌ای متحدالمرکز تشکیل شده است که الکتروود خارجی از جنس فولاد و داخلی از فلز قلع و دارای روکش عایق است. دستگاه تولید کننده اوزون شبیه استوانه و شامل مقدار زیادی الکتروود است که اجزای آن در شکل ۲۵-۴ نمایش داده شده است.

- 
- 1 - Chemical Energy
  - 2 - Photo Energy
  - 3 - Radiolysis Energy
  - 4 - Electrical Energy

به طور کلی دستگاههای تولید اوزون به دو گروه تقسیم می‌شوند:

الف- دستگاههای تولید اوزون از اکسیژن خالص

ب- دستگاههای تولید اوزون از هوا

دستگاههای تولید اوزون از گاز اکسیژن شامل قسمتهای زیر است:

- تانک اکسیژن مایع
- تبخیر کننده
- دستگاه تولید گاز اوزون (واحد اصلی- ترانسفورماتور- مبدل فرکانس و منبع تغذیه).
- راکتور (اتاقک تماس اوزون و آب)
- واحد حذف کننده اوزون اضافی

دستگاههای تولید اوزون از هوا شامل قسمتهای زیر است:

- ورودی هوا
- فیلتر
- کمپرسور
- سیستم سرد کننده
- سیستم خشک کن
- دستگاه تولید گاز اوزون (واحد اصلی- ترانسفورماتور- مبدل فرکانس و منبع تغذیه)
- راکتور (اتاقک تماس اوزون و آب)
- واحد حذف کننده اوزون اضافی

برای حذف اوزون اضافی، اگر اوزون در فاز گاز باشد، باید آن را از کاتالیزور عبور داد و به وسیله حرارت به

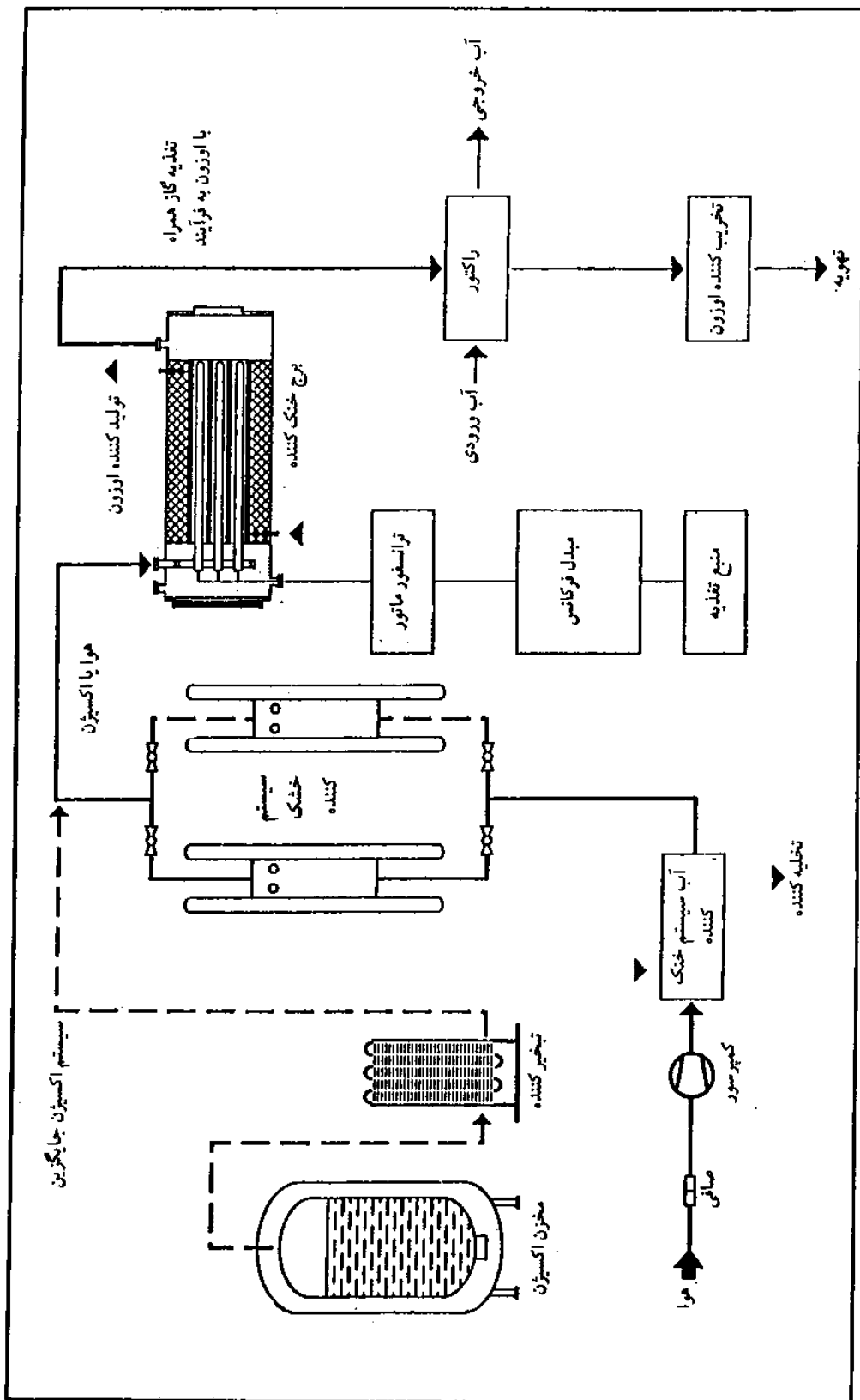
اکسیژن تبدیل کرد و اگر اوزون به صورت اوزون باقیمانده در آب باشد، باید آب را از بستر ذغال فعال عبور

داد. طرحهای مختلفی از دستگاه تولید اوزون موجود است که در نخستین طرحها، الکترودهای دستگاه تولید

اوزون صفحه‌ای بوده است، ولی امروزه به دلایل ذیل از آنها استفاده نمی‌شود:

- تولید پایین در واحد سطح الکتروود
- فشار عملی پایین
- مشکل برودت
- قابلیت اطمینان پایین





۲۵-۴ سیستم تولید و توزیع اوزون

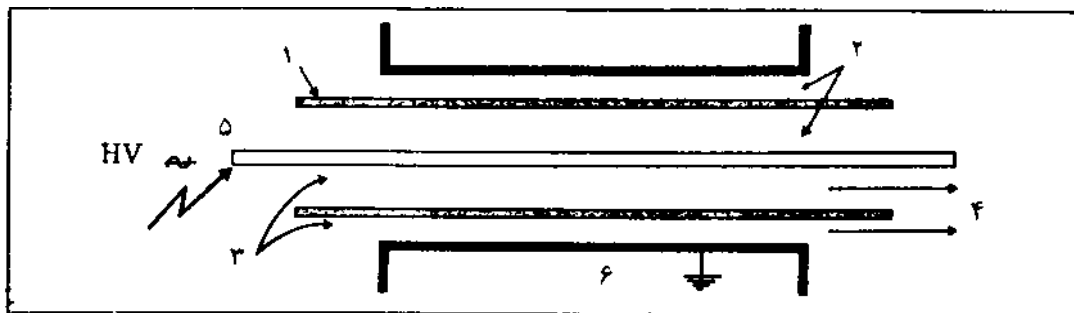
امروزه دستگاههای تولید اوزون، منحصرأ با الکترودهای لوله‌ای شکل طراحی می‌شوند و انواع ژنراتورها به شرح زیرند:

- دستگاههای با الکترودهای باز (شکل ۴-۲۶)
- دستگاههای با الکترودهای بسته (شکل ۴-۲۷) که نوع اخیر دستگاه تولید اوزون غالباً در خط تولید قرار دارد.
- دستگاه تولید اوزون از نوع الکترودهای افقی که در این نوع دستگاه هر کدام از الکترودها مقابل یک لوله خارجی فولادی بوده که الکتروود داخلی را که عایق است، احاطه می‌کند و الکتروود فولاد خارجی توسط آب سرد می‌شود.

#### ۴-۵-۲-۴ ویژگیهای گاز ورودی به دستگاه تولید اوزون

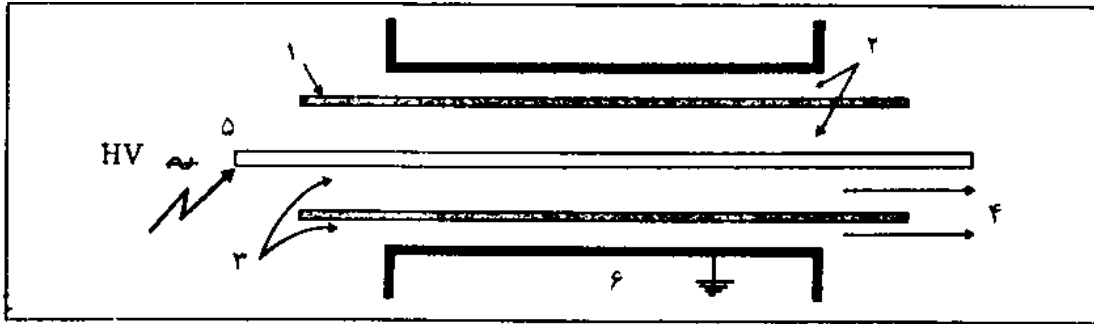
گاز اکسیژن یا هوا برای ورود به دستگاه تولید اوزون باید دارای مشخصه‌های زیر باشد:

- ترکیب ثابت با خلوص بالا
- کاملاً فیلتر شده
- فاقد مواد آلی
- بدون رطوبت
- با فشار ثابت



- |                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| ۱- دی الکتریک         | ۴- خروجی هوای اوزون‌دار / اکسیژن |
| ۲- راه خروج           | ۵- الکتروود با ولتاژ زیاد (HV)   |
| ۳- ورودی اکسیژن / هوا | ۶- الکتروود زمین                 |

شکل ۴-۲۶ دستگاههای تولید اوزون با الکتروود باز



- |                                |                                  |
|--------------------------------|----------------------------------|
| ۱- ورودی هوا / اکسیژن          | ۶- جذب کننده‌ها                  |
| ۲- الکتروود با ولتاژ زیاد (HV) | ۷- آب خنک کننده                  |
| ۳- الکتروود زمین               | ۸- خروجی هوای اوزون دار / اکسیژن |
| ۴- دی الکتریک                  | ۹- تأمین برق                     |
| ۵- راه خروج                    |                                  |

شکل ۴-۲۷ دستگاه‌های تولید اوزون با الکتروود بسته

#### ۴-۲-۵-۵-۵ عوامل مؤثر بر بازده دستگاه‌های تولید گاز اوزون

میزان اوزون تولیدی دستگاهها و درجه خلوص آن به عوامل ذیل بستگی دارد.

##### الف- نوع گاز ورودی به دستگاه (هوا یا اکسیژن)

- ترکیب گاز و درجه خلوص آن
- نقطه شبنم (دمایی که در آن بخار آب موجود در هوا به آب تبدیل می‌شود و در واقع عمل میعان انجام می‌گیرد).
- فشار گاز

##### ب- آب خنک کننده

- کیفیت آب
- مقدار آب
- درجه حرارت آب

##### ج- منبع تغذیه

- ولتاژ
- فرکانس

#### د- دستگاه تولید اوزون

- فاصله بین الکترودها
- سرعت عبور گاز بین الکترودها
- نوع عایق
- نوع و طول الکترودها
- میزان فشار گاز در سمت خروجی

#### ۴-۲-۵-۵-۶ توان الکتریکی مصرفی دستگاههای تولید اوزون

قدرت مصرفی دستگاه تولید اوزون بستگی به مقدار ظرفیت اوزون تهیه شده دارد. برای مقادیر کمتر از ۷ کیلوگرم بر ساعت از دستگاه با فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز استفاده می‌شود، برای مقادیر بیشتر مقرون به صرفه است که از یک مبدل استاتیک با فرکانس متوسط حدود ۶۰۰ هرتز استفاده شود. در حال حاضر دستگاههای تولید کننده اوزون می‌توانند در هر ساعت تا حدود ۲۰۰ کیلوگرم اوزون تولید نمایند. به طور متوسط برای حذف هر کیلوگرم COD و BOD، ۳ تا ۶ کیلوگرم اوزون و برای سالم‌سازی هر متر مکعب آب که از آلودگیهای متعارفی برخوردار باشد، حدود یک گرم اوزون لازم است.

#### ۴-۲-۵-۵-۷ واحدهای تولید

غلظت گاز اوزون خروجی از دستگاه تولید اوزون براساس  $(\text{gro}_3 / \text{m}^3)$  یک گرم اوزون در یک متر مکعب هوا بیان می‌شود. میزان تولید گاز اوزون به وسیله دستگاه مولد اوزون براساس  $(\text{gro}_3 / \text{hr})$  یا  $(\text{kgo}_3 / \text{hr})$  گرم یا کیلوگرم بر ساعت بیان می‌شود.

#### ۴-۲-۵-۵-۸ روشهای مختلف ازوناسیون آب

روشهای مختلفی برای ازونیزه کردن آب مورد استفاده قرار می‌گیرد که در اینجا به طور مختصر، به سه روش که کاربرد بیشتری دارند، اشاره می‌شود:

#### الف- اوزون زنی ساده

گاز اوزون توسط شبکه‌های توزیع کننده با فشار در مخازن بسته به آب دمیده می‌شود. که زمان مجاورت بسته به نوع آلودگیهای آب بین ۸ تا ۲۰ دقیقه در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعدی آب به صورت آبشار جریان می‌یابد تا گاز اوزون اضافی موجود در آب خارج شود و گاز اوزون حاصل شده به یک سیستم حذف کننده گاز اوزون هدایت شده، از بین برود. (شکل ۴-۲۸-الف)

### ب- اوزون زنی توربینی

در روش دیگر که به سیستم توربینی معروف است، گاز اوزون به داخل توربین وارد می‌شود و به صورت حبابهای بسیار ریز در عمق آب دمیده می‌شود و در آب حل و پس از زمان تماس لازم دوباره گاز اوزون اضافی به داخل سیستم حذف کننده هدایت می‌کند تا از بین برود

روشهای الف و ب در تصفیه‌خانه‌هایی که قبلاً احداث شده‌اند و در حال حاضر می‌خواهند از سیستم اوزون استفاده کنند، کاربرد بیشتری دارند؛ چون مخازن سرپوشیده و یا باز مورد نیاز در سیستم موجود دارد. (شکل ۴-۲۸ ب)

### ج- اوزون زنی در خط

در روش (Inline) گاز اوزون به وسیله سیستمی مانند: کلریناتور گازی در آب انحلال پیدا می‌کند و سپس به داخل لوله تزریق می‌شود (شکل ۴-۲۹).

روش (Inline) در تأسیساتی کاربرد دارد که فاقد مخازن باز و سرپوشیده باشند و یا امکان ساخت این مخازن وجود نداشته باشد؛ همچنین این سیستم در شهرهایی فاقد تصفیه‌خانه‌های بزرگ هستند کاربرد زیادی دارد و به دلیل اقتصادی بودن آن هر روز رواج بیشتری پیدا می‌کند. در هر صورت مسئله خوردگی ناشی از وجود اوزون باقیمانده در آب پدیده‌ایست که باید به دقت مورد توجه قرار گیرد.

### ۴-۲-۵-۵-۹ موارد کاربرد اوزون

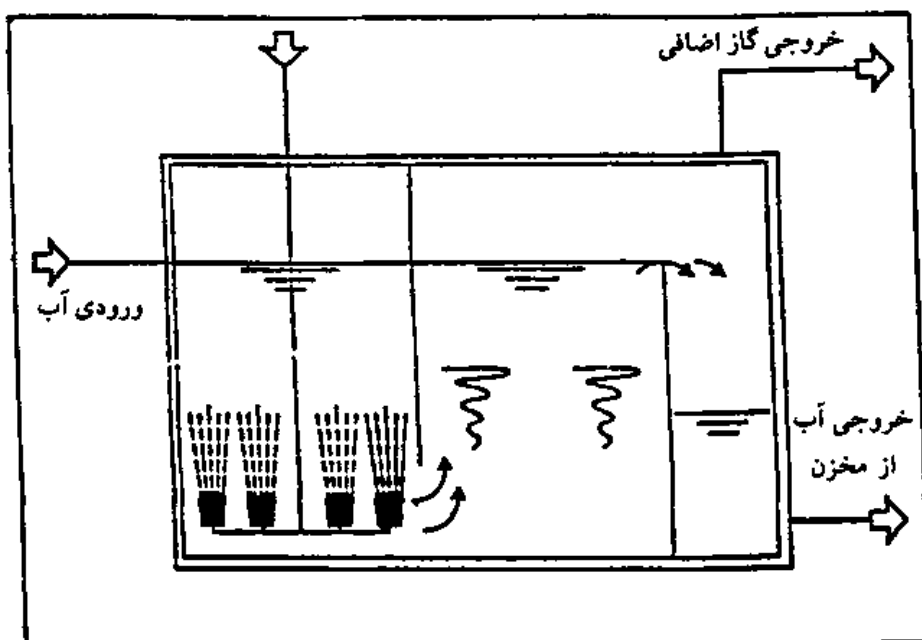
#### الف- آب آشامیدنی

- اصلاح کیفیت ارگانولپتیکها<sup>۱</sup> (از نظر رنگ و حد آستانه طعم و بو)
- تجزیه برخی از مواد آلی آمینه
- حذف کردن باکتریها و ویروسها
- اکسیداسیون مواد آلی
- اکسیداسیون میکرو پلوتانتها<sup>۲</sup>
- اکسیداسیون نمکهای فلزی محلول (آهن و منگنز)
- بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیکی مواد آلی<sup>۳</sup> قبل از تصفیه با کربن فعال (دانه‌ای)
- بهبود شکل ظاهری آب (ایجاد رنگ آبی دلپذیر)

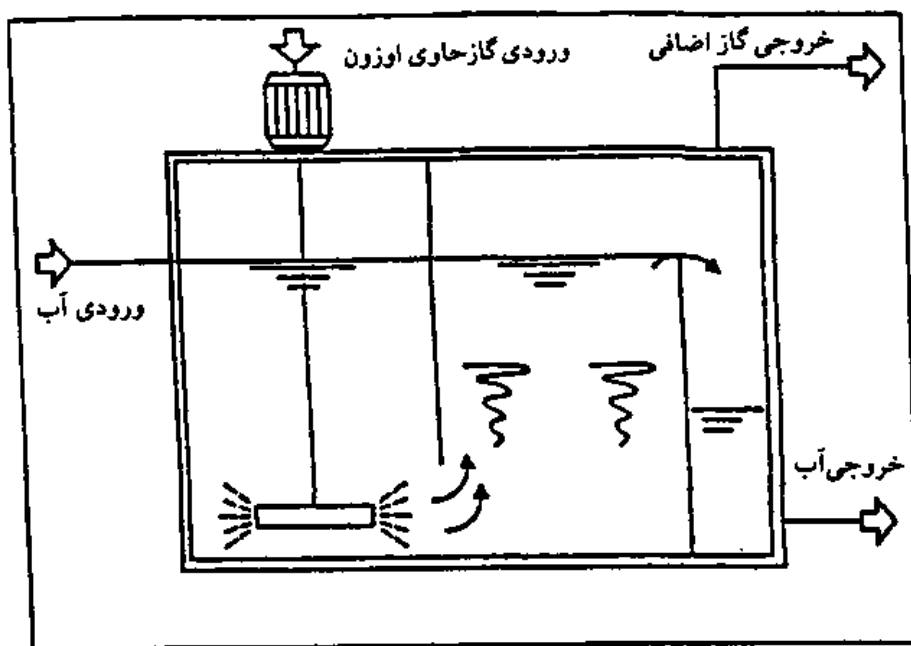
1 - Organolptics

2- Micropollutants (ترکیبات آلی نامطلوب با غلظتهای بسیار پایین)

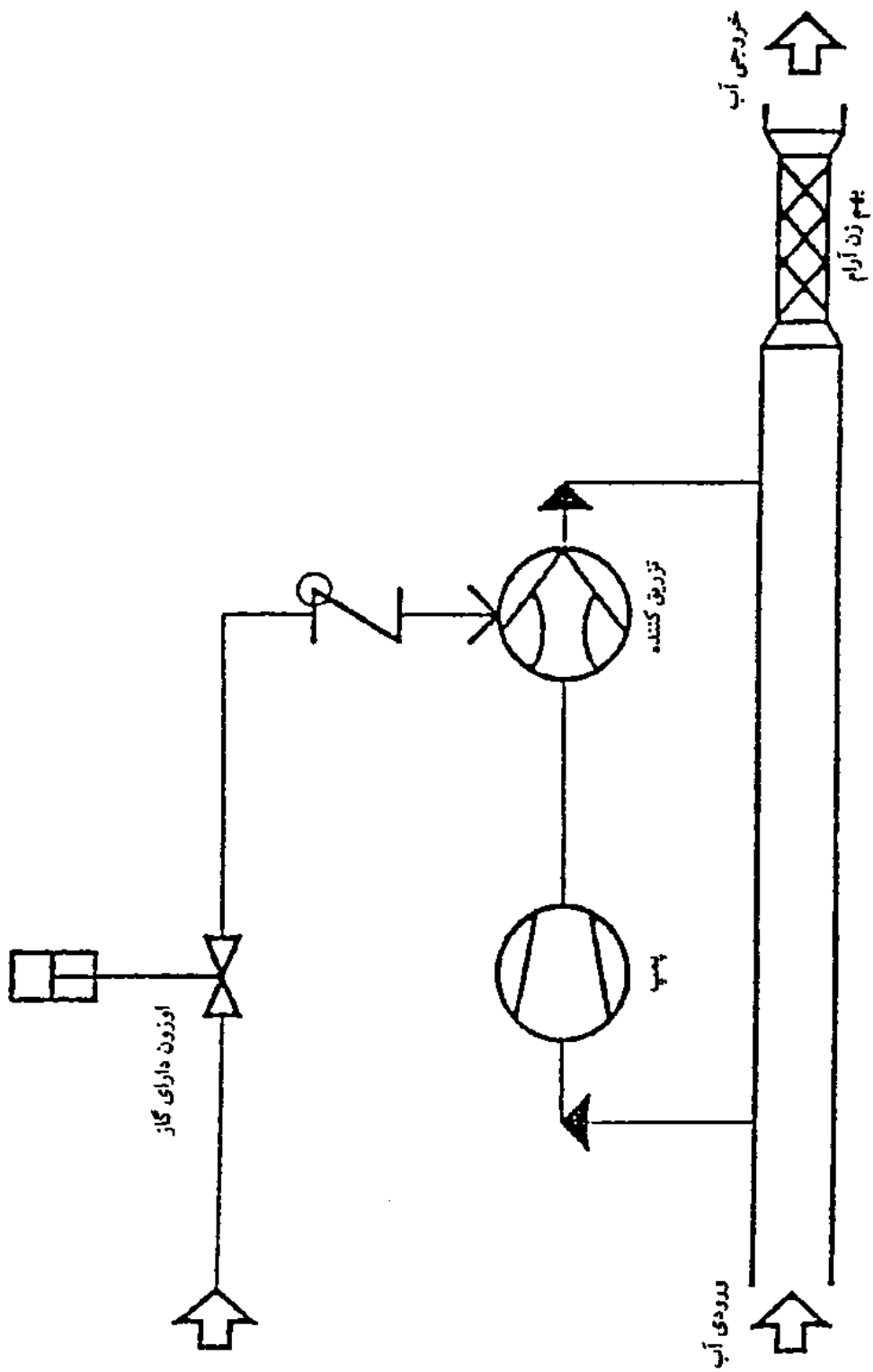
3- Biodegradability



شکل ۲۸-۴ - الف - راکتور مجهز به پخشان با حبابهای ریز



شکل ۲۸-۴ - ب - راکتور توربینی



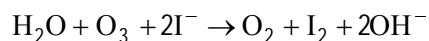
شکل ۴-۲۹ اوزون زنی در خط (INLINE)

#### ۴-۲-۵-۱۰ اوزوناسیون چند مرحله‌ای

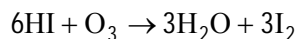
با توجه به کاربرد و خواص متنوع اوزون در تصفیه آب به عنوان کمک منعقد کننده، میکروبزدا و نیز برای کنترل بو، طعم و رنگ، اکسیداسیون آلاینده‌های آلی و نابود کننده TOC<sup>۱</sup>، مصرف اوزون در هر یک از این مواد در حد معینی است که ممکن است این مقادیر با یکدیگر در تضاد باشند؛ به عنوان مثال برای کاربرد اوزون به منظور کمک منعقد کننده ضروری است که اوزوناسیون قبل از مرحله افزایش عامل اصلی انعقاد صورت پذیرد و مقدار مناسب آن حدود  $\frac{0/4-0/8\text{mgO}_3}{\text{mgTOC}}$  است. حال آنکه اوزوناسیون برای اکسیداسیون آهن و منگنز و ترکیبات آلی مولد بو، مقدار اوزون بیشتری لازم دارد که سبب می‌شود مقدار اوزون از حد مناسب به منظور عامل انعقاد کمی خارج شود. اگر اوزون برای تصفیه بیولوژیکی آب به کار رود، باید بلافاصله قبل از صاف‌سازی افزوده شود و حد آن برابر  $\frac{1/2\text{mgO}_3}{\text{mgTOC}}$  است. اگر به عنوان میکروبزدایی اولیه به کار رود، نقطه مطلوب برای تزریق آن در مرحله آب خام صاف شده است؛ همچنین اوزون باید در حد مناسبی به کار رود تا اوزون باقیمانده آزاد برای مدت زمان معینی در جهت تامین ضریب ct (حاصلضرب غلظت اوزون باقیمانده در زمان تماس) در آب حفظ شود. این امر لزوم مقادیر بالای اوزون را ضروری می‌سازد که بستگی به روش اوزوناسیون pH و سایر مشخصات آب دارد. در بیشتر روشهای تصفیه آب، اوزوناسیون طی یک مرحله به یک نقطه از زنجیره فرایند اعمال می‌شود (غالباً به آب خام). نتایج مطالعات در مورد اکسیداسیون چند مرحله‌ای نشان می‌دهد که کاربرد چند مرحله‌ای اوزون می‌تواند به طریقه مناسبی تنظیم شود تا نتیجه مطلوبتری حاصل گردد و هزینه آن نیز خیلی بیشتر از یک مرحله‌ای نخواهد بود.

#### ۴-۲-۵-۱۱ روش اندازه گیری اوزون باقیمانده در آب

روش استاندارد اندازه گیری کمی اوزون در آب یدومتری است. پایه و اساس این روش، اکسیداسیون KI به I<sub>2</sub> در حضور یدید اضافی است. این روش بین‌المللی بوده و دقت روش یدومتری 1% ± است و برای مقادیر کم اوزون باقیمانده موجود در آب دقیق نیست. در محلولهای خنثی و قلیایی O<sub>3</sub> مطابق واکنش زیر عمل می‌کند:



در محلولهای اسیدی نسبت ید آزاد شده افزایش پیدا می‌کند؛ بنابراین در محلولهای یدید هیدروژن غلیظ، واکنش مطابق فرمول زیر عمل می‌کند؛



---

1- TOC= Total Organic Carbon

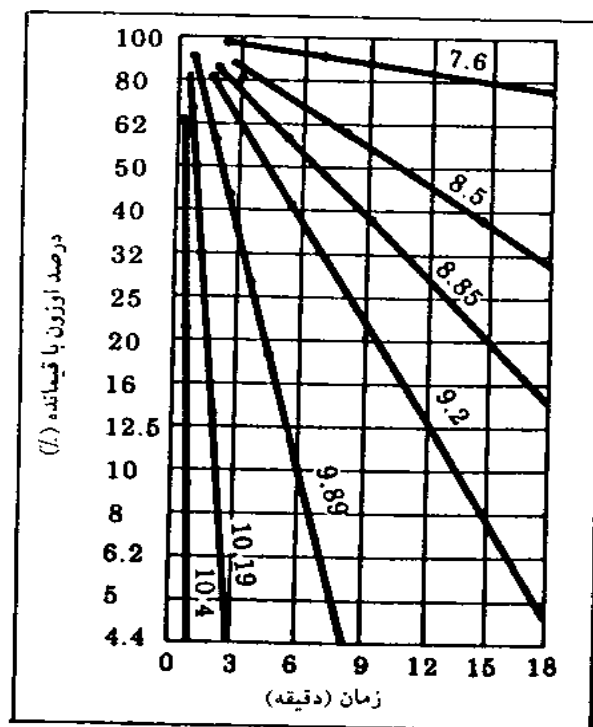


روش جدید دیگری برای تعیین اوزون باقیمانده پیشنهاد شده به نام: (Indigo Chlorimetric Method) که در این روش ماده رنگی در مجاورت اوزون بیرنگ می‌شود و برای اندازه‌گیری اوزون باقیمانده در حد  $O_3$  .  $1/5-0/0$  mg/l مناسب است.

#### ۱۲-۵-۵-۲-۴ اوزون باقیمانده در آب و روش حذف آن

اوزون در آب باقی می‌ماند، و لیکن اوزون در آب نمی‌تواند به مدت طولانی در سیستم ذخیره، انتقال و توزیع حفظ گردد (شکل ۴-۳۰). این امر سبب شده است که اوزون به تنهایی برای ضد عفونی کردن آب به کار گرفته نشود و برای حفاظت آب در مقابل آلودگیهای مجدد بیولوژیکی، کلریناسیون بعد از ازوناسیون ضروری است، برای پیشگیری از خوردگی ناشی از اوزون باقیمانده در آب و یا ورود اوزون باقیمانده در آب به محیط، لازم است اوزون اضافی حذف گردد، بدین منظور روش‌های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

اوزون باقیمانده در آب را باید به وسیله عبور آب از بستر زغال فعال حذف نمود. اوزون حاصل از خروج اوزون باقیمانده آب را باید از کاتالیزور مناسب عبور داد و با حرارت به اکسیژن تبدیل نمود.



شکل ۴-۳۰ اثر pH بر تجزیه اوزون باقیمانده در آب در درجه حرارت ۱۵°C

غلظت اوزون باقیمانده در آب و میزان اوزون مورد نیاز آب براساس  $\frac{gr}{m^3} O_3$  و یا  $\frac{mg}{l} O_3$  بیان می‌شود. حد آستانه<sup>۱</sup> (T.L.V) اوزون در محیط کار نباید بیش از ۰/۱ppm باشد. میزان مورد نیاز اوزون برای گندزدایی آب آشامیدنی معمولاً بین ۰/۵ تا ۴ ppm و میزان اوزون مورد نیاز برای گندزدایی فاضلاب اعم از صنعتی و خانگی بین ۵۰ تا ۶۰ ppm گزارش شده است.

#### ۱۴-۵-۵-۲-۴ تاثیرات اوزون بر ترکیبات شیمیایی آب

اوزون یکی از اکسیدکننده‌های قوی است که در تصفیه آب آشامیدنی استفاده می‌شود. اوزون به صورت گاز بوده و در محل استفاده باید تهیه شود. واکنش اوزون در آب نتیجه دو فرآیند متوالی است.

- حل شدن در آب (انتقال از فاز گاز و انحلال در مایع)
- مؤثر شدن اوزون انحلال یافته بر روی اکسید شونده‌ها

اوزون دو نوع فعالیت دارد.

- فعالیت اوزون به وسیله واکنش مستقیم اوزون مولکولی که این واکنش انتخابی است.
- فعالیت اوزون بوسیله وجود رادیکال  $OH^\circ$  که از تجزیه اوزون مولکولی به وجود می‌آید.

اوزون نه تنها عمل ضد عفونی کردن آب را به نحو احسن و به مراتب کاملتر از کلر انجام می‌دهد، بلکه براساس آخرین تحقیقات عمل اوزون کلیه ویروسها را در حد استاندارد حذف می‌کند.

اوزون آهن دو ظرفیتی را به هیدروکسید آهن سه ظرفیتی تبدیل و از محیط آبی خارج می‌سازد. اوزون منگنز را به پرمنگنات اکسید می‌کند و پرمنگنات حاصل نیز خود، اثر ضد عفونی کنندگی دارد و مواد آلی را نیز اکسیده و تجزیه می‌کند. در نتیجه پرمنگنات احیاء شده و تبدیل به رسوب هیدروکسید چهار ظرفیتی منگنز می‌گردد. بدین ترتیب برای آبهایی که کمپلکسهای پیچیده آلی از این دو فلز را دارند، کاربرد اوزون در تجزیه و تخریب این کمپلکسهای پیچیده بسیار موثر است. اوزون نیتريت را به نترات، هیدروژن سولفور و به طور کلی سولفیتها را به سولفات تبدیل می‌کند، اوزون آمونیاک را هم اکسید کرده و حذف می‌کند، سیانیدها و کمپلکس آنها در مقابل اوزون در آب به سیانات اکسیده شده و در مقابل غلظت اضافی اوزون تبدیل به گاز کربنیک و ازت می‌گردند، اوزون با برمیدها و یدیدها سریعاً تولید برمور و یدور می‌کند که از این خاصیت برای اندازه گیری کمی اوزون در آب استفاده می‌شود، جیوه و نقره موجود در آب آشامیدنی بر اثر اوزوناسیون اکسیده می‌گردند، اوزون ترکیبات رنگی را بیرنگ کند و از این خاصیت برای از بین بردن رنگ و بو در صنایع کاغذسازی، واکس، روغن، نشاسته

1 - T.I.V= Threshold Limit Value

و نظایر آنها استفاده می‌کنند. اوزون قادر است اتصالات دوگانه را در ترکیبات حلقوی و خطی به اوزونیدودی پراکسید تبدیل و نابود کند؛ درجه و قدرت اکسیداسیون تا حدی است که حتی نایلون را نیز اکسیده می‌کند. ترکیبات پیچیده آلی گوگرددار و ازتدار و سموم گیاهی از قبیل آنتراسین<sup>۱</sup> در مقابل اوزون نابود و از آنها و پسابهای صنعتی حذف می‌گردند.

اوزون به سرعت در آب فعال می‌شود و در بهبود کیفی آب به طور فزاینده‌ای مؤثر است؛ بخصوص در مورد کاهش میزان مواد آلی<sup>۲</sup> و اصلاح رنگ، بو و طعم آب.

#### ۴-۲-۵-۵-۱۵ تولیدات فرعی و روشهای حذف آنها

##### • ترکیبات آلی حاصل از اوزوناسیون

بررسیهای انجام شده حاکی از آن است که سه دسته از محصولات آلی حاصل از اوزوناسیون از نظر آثار بهداشتی حائز اهمیت هستند که عبارتند از:

- پراکسیدهای آلی (هر ترکیبی شامل یک گروه o-o)

- آلدئیدهای غیر اشباع  $R-\overset{\text{H}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}=O$  (R' یک زنجیره غیر اشباع)

- اپوکسیدهای (ترکیباتی دارای گروه  $\begin{matrix} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} - \text{C} \end{matrix}$ )

پراکسیدهای آلی وقتی در آب به وجود می‌آیند که اوزون با اولفینها<sup>۳</sup> و مواد حلقوی وارد عمل شود. به نظر می‌رسد که آلدئیدهای غیر اشباع از شکست پلی‌آلکینی غیر اشباع یا حلقوی به وسیله اوزون به وجود می‌آیند. این آلدئیدها عبارتند از:

$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CHO}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$	هگزانال
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CHO}$	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$	هپتانال
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{CHO}$	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$	اکتانال
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CHO}$	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$	نونانال
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{CHO}$	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$	آن دکانال
$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CHO}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}$	دودکانال

- 1 - Antrazin
- 2 - Organic Matter
- 3 - Olefine

(اولفینها= آلکنها= زنجیره هیدروکربن غیر اشباع با فرمول عمومی  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ )

پراکسیدهایی که توان سرطانزایی دارند، به نظر نمی‌رسد که ناشی از واکنش اوزون با اولفینها و حلقویها باشند؛ گرچه غالباً در واکنشهای اوزوناسیون ترکیبات آلی غیر اشباع مورد شناسایی قرار گرفته‌اند. مسئله دیگر که باید مورد توجه قرار گیرد. اثر اوزوناسیون مقدماتی بر ترکیبات ناشی از کلریناسیون و کلرامیناسیون است که در مورد بیشتر ترکیبات غالباً هالوژنه‌اند؛ مانند: THMها (تری‌هالومتانها) و هالواستیک اسیدها که اوزوناسیون پیشرفت تشکیل آنها را کند می‌کند؛ اما کلریناسیونی که در پی اوزوناسیون انجام می‌شود، باعث تشکیل بهتر کلروپیکرین<sup>۱</sup> (تری کلرونیترومتان) می‌شود و ثابت شده است که این عمل در پی کلرامیناسیون سبب تشکیل بهتر کلرور سیانوژن می‌گردد که آثار بهداشتی این پدیده‌ها هنوز مشخص نیست.

#### ۴-۲-۵-۵-۱۶ فواید اوزون

##### • اوزون به عنوان ماده کمک منعقد کننده

وقتی اوزون به آب افزوده می‌شود، موجب تشکیل ذرات معلق درشت‌تر می‌گردد، این ذرات معلق خود سبب جذب مواد کلوئیدی از مواد آلی و تغییر اساسی در TOC و کدورت می‌شوند که این امر نهایتاً سبب کاهش ماده منعقد کننده مصرفی، تسریع در فرآیند ته‌نشینی ذرات معلق می‌گردد، البته مشخص شده که کاربرد مقادیر کم اوزون در عمل انعقاد مؤثرتر است (کمتر از 3mg و معمولاً  $1/5 \text{ mg/L} - 0/5$ ). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقدار اوزون مورد نیاز برای تسریع عمل درشت کردن ذرات معلق در آبهای سخت که نسبت TOC در آنها پایین است کاهش می‌یابد؛ حال آنکه در آبهای سختی که TOC آنها بالاست، اوزون اضافی عمل درشت شدن ذرات معلق را بهبود می‌دهد. لذا میزان تزریق اوزون بستگی به TOC و سختی آب دارد.

مکانیزمها و عوامل مختلفی پیش‌بینی می‌شود که سبب تسریع عمل انعقاد به وسیله اوزوناسیون می‌گردد. از جمله: بسیاری از مشخصات کیفی آب خام مانند (PH، TOC، کدورت سختی، قلیائیت، آهن و منگنز احیاء شده) و شرایط تصفیه مانند: (میزان اوزون تزریقی، شرایط اختلال، نقطه تزریق ماده منعقد کننده در رابطه با نقطه تزریق اوزون) می‌تواند در فرآیند انعقاد تأثیر گذارد.

---

1- Chloropicrin=  $\text{ccl}_3\text{NO}_2$

• مزایا

- اوزوناسیون به لحاظ پتانسیل اکسیداسیون بالا دارای خواص مشروحه زیر است:
- طیف وسیع و سریع‌گندزدایی و سالم‌سازی آب و فاضلاب
- حذف موثر رنگ، بو طعم نامطلوب
- افزایش اکسیژن محلول (DO) در آب
- شکستن ترکیبات آلی از جمله: دترجتها (آنیونی، غیریونی)
- حذف نسبی BOD و COD در تصفیه فاضلاب
- کفایت مقادیر کم آن برای سالم‌سازی آب
- افزایش سیکل زمانی و سرعت فیلتراسیون تا حدود ۵۰٪ که در نتیجه می‌توان سطح فیلترهای کمتری را مورد استفاده قرار داد.
- تسریع در فرآیند انعقاد و ته‌نشینی و نتیجتاً کاهش در مصرف مواد منعقد کننده و امکان کاهش زمین مورد نیاز برای احداث حوضهای زلال‌ساز
- حذف نسبی ترکیبات آلی کلره

• معایب

- اوزون در شرایط مساوی بسیار گرانتر است.
- برای تهیه اوزون، پالایش و آماده‌سازی قبلی هوای مورد نیاز ضروری است.
- در تصفیه آب، برای حرکت آب و تزریق اوزون باید مخالف یکدیگر باشد.
- در شرایط معمولی حلالیت کمی در آب دارد.
- دارای قدرت واکنش بالا و انتخاب‌پذیری کم است.
- تنفس آن بسیار خطرناک است.
- تأثیر اوزون روی میکرو ارگانیسمها تابع همه یا هیچ است؛ یعنی: یا اثر می‌کند و همه را از بین می‌برد و یا اگر به میزان کافی نباشد، اصلاً اثر نمی‌گذارد و بنابراین استفاده از اوزون احتیاج به تخصص و کنترل‌های مطمئن‌تری دارد.
- اوزون باید در محل مصرف تولید شود.
- باقیمانده اوزون نمی‌تواند مدت زیادی در آب دوام آورد و کلریناسیون بعدی تقریباً در بسیاری از موارد اجتناب‌ناپذیر است.

#### ۴-۲-۵-۶ استفاده از اشعه فرابنفش

پرتوتابی فرابنفش یا اشعه ماورای بنفش<sup>۱</sup> با علامت اختصاری U.V نام برده شده که پرتوهای نورانی با تابش غیر قابل رؤیت به طول موج بین ۱۵۰ تا ۴۰۰ نانومتر<sup>۲</sup> و با خواص متفاوت نسبت به طول موج است که جزو امواج الکترومغناطیک اند. طول موج پرتوهای مختلف در زیر نشان داده شده است:

اشعه ایکس اشعه گاما	لوله خلاء UV	فرابنفش با امواج کوتاه	فرابنفش با امواج متوسط	فرابنفش با امواج بلند	انوار مرئی
	۱۰۰ ۱۸۵ ۲۰۰	۲۸۰ ۳۰۰ ۳۱۵	۴۰۰	۸۰۰	نانومتر →
		طیف‌های باکتری کش		طیف امواج الکترومغناطیک	

از خواص باکتری و ویروس کشی که در پرتوهای فرابنفش وجود دارد، می‌توان در تصفیه میکروبیولوژی آب و فاضلاب استفاده کرد، نور آفتاب که بخش مهمی از این پرتو را داراست، در نابودسازی باکتری و ویروسها در محیط آب، هوا موثر واقع می‌شود.

پرتوهای فرابنفش که طول موج آنها ۲۵۳/۷ نانومتر است، می‌توانند در شرایط مناسب باکتریها و ویروسها را به کلی از بین ببرند، بدون اینکه در خواص فیزیکی و شیمیایی آب و فاضلاب موثر واقع شوند و انرژی نورانی به صورت گرما جذب آب می‌گردد. بنابراین با به کار گرفتن سیستم پرتوتابی U.V در شرایط مناسب، حذف و نابود کردن باکتریها و باسیلهای موجود در آب امکانپذیر است.

باید گفت که هرگونه عامل که کاهش دهنده شدت نور یا مانع از تماس نور با ارگانسیمهای موجود در جریان آب باشد، اثر باکتریکشی و ضد عفونی سیستم را کاهش خواهد داد. بنابراین اگر آب برای ضد عفونی شدن در معرض پرتو افشانی فرابنفش قرار گیرد باید قبلاً به خوبی زلال سازی شده و عاری از هرگونه مواد معلق و مواد رنگین باشد.

1 - Ultra Violet Irradiation

2 - Nanometer

از طرف دیگر سرعت جریان یا زمان مجاورت آب با پرتو فرابنفش نیز در پاکسازی آب از میکرو ارگانیسم‌ها موثر است و سیستم به نحوی طرح می‌شود که در حداکثر آبدهی نیز عمل پاکسازی و ضدعفونی آب به طور اطمینان بخش انجام گیرد.

پرتوتابی فرابنفش موقعی مورد استفاده قرار خواهد گرفت که اولاً مقدار آب مورد نیاز محدود باشد و یا تزریق کلر برای ضد عفونی به لحاظ حساسیت مصرف توصیه نشده و یا مقدار کلر لازم در حدی مورد نیاز باشد که در مرحله پایانی موضوع حذف کلر اضافی مطرح شود. در چنین حالاتی با استفاده از فرایند پرتوتابی فرابنفش کلر لازم به حداقلی رسانیده می‌شود که بتوان "کلر باقیمانده آزاد" را در حد مجاز در کلرزی که بعد از مرحله عبور از ماورای بنفش انجام گیرد، به دست آورد و اگر آب مورد نیاز در حد زیادی باشد، تعداد واحدهای پرتوتابی افزایش خواهد یافت تا بتوان آب مورد نیاز را تدارک دید.

#### ۴-۲-۵-۶-۱ راکتورهای پرتوتابی فرابنفش

معمولاً دو نوع راکتور U.V طرح می‌شود. یکی از این دو نوع به لامپهای با پوشش کوارتز مجهز است که مستقیماً در جریان آب یا پساب تصفیه شده غوطه‌ور می‌شوند و در نوع دوم آب یا پساب معمولاً از یک لوله ساخته شده از کوارتز با پوشش تفلون در مقابل تابش U.V عبور داده می‌شود و لامپ در پساب غوطه‌ور نیست. شیشه‌های کوارتزی پرتوهای U.V را به خوبی هدایت می‌کنند و تفلون نیز اثر نگهداری ممانعت در مقابل تابش پرتو U.V ایجاد نمی‌کند. (شکل شماره ۴-۳۱)

با توجه به زمان کوتاهی که برای پرتوتابی در شرایط لایه نازک به وجود می‌آید، اطاقک استقرار لامپ در U.V دارای حجم به نسبت کوچک و بازده موثر خواهد بود و ضرورت دارد که قبل از ورود آب یا فاضلاب در مقابل تابش انوار از زلال و شفاف بودن آب اطمینان کامل حاصل شود.

#### ۴-۲-۵-۶-۲ لامپهای U.V

لامپهای U.V از شیشه مقاوم به حرارت که در شرایط محیط سالم بماند، ساخته می‌شود و داخل لوله لامپ، بخار جیوه با فشار جزئی قرار می‌گیرد که عامل پرتو افشانی در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر است.

#### ۴-۲-۵-۶-۳ شرح تاسیسات

سیستم پرتوتابی فرابنفش دارای تجهیزات و متعلقاتی است که در شکل ۴-۳۲ نشان داده شده است و لوازم و متعلقات نیز به شرح پیوست است:

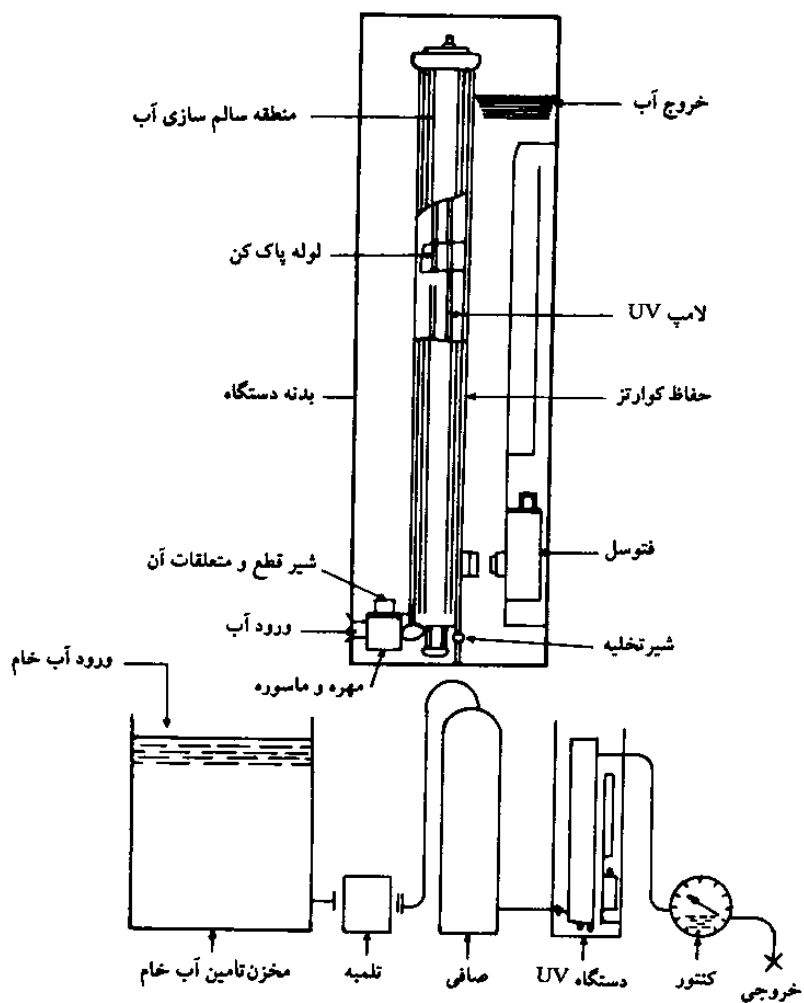
تجهیزات	شرایط استفاده	کارآئی
اطاقک پرتوتابی U.V	جریان آب یا پساب از اتافک	پرتو افشانی به جریان در طول مدت پیش‌بینی شده
جعبه کنترل یا تابلو برق و کلید راه‌اندازی	با فرمان از راه دور با لامپ اعلام وضعیت	تنظیم جریان الکتریکی و کنترل کارکرد لامپ U.V و اخبار
لامپ U.V	با اتصال سه راهه با دستگاه تنظیم ساعت کار با روشن کردن لامپ کمکی و تعویض ساعتی	برای پرتو افشانی و دستگاهی برای ثبت مدت پرتو افشانی و تعویض نوبتی لامپ در حال کار با لامپ کمکی
شیر برقی <sup>۱</sup>	برای اجرای تعویض نوبتی لامپها	
دستگاه کنترل دبی آب از نوع Weir Over Flow Box		برای نگهداری جریان در حد تراز ماگزیمم در جوار لامپ
دستگاه اخطار	اعلام خطر با آژیر	برای اعلام سرریز یا کمبود تراز آب در جوار لامپ و یا اشکالات پرتو افشانی
دستگاه انعکاس شدت نور	فتوسل با جریان برق	برای اندازه‌گیری پرتو افشانی و اعلام انرژی U.V که از سطح لامپ تا کف آب تاییده است.
لامپ اندیکاتور	با نور سبز و کهربایی	اعلام کننده کاهش قدرت لامپ U.V و نیاز به پاکسازی جدار لامپ یا تعویض
لامپ اندیکاتور	نور قرمز	اعلام خطر و کاهش پرتو افشانی به پائین‌تر از حد قابل اطمینان

علاوه بر تجهیزات فوق، تابلو کنترل اصلی توزیع جریان الکتریکی و یا واحد تولید نیرو و تجهیزات مربوط به دستگاههای کنترل اصلی سیستم نیز مورد نیاز است که سازنده ارائه خواهد نمود.

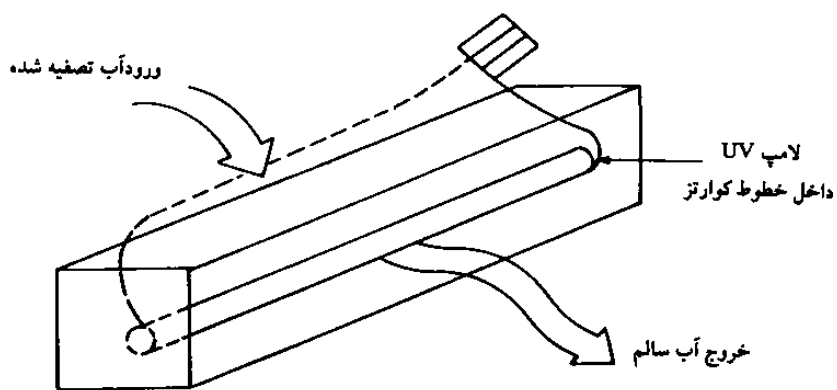
---

1- Solenoid Valve





شکل ۳۱-۴ لامپ (ماورای بنفش) و محفظه و متعلقات آن با نصب در سیستم سالم سازی آب



شکل ۳۲-۴ دستگاه کنترل دبی آب در مقابل UV - تابلو و کلید راه اندازی

#### ۴-۲-۵-۶-۴ اصول کلی به کارگیری U.V

به کارگیری سیستم U.V در عملیات میکروبخشی آب یا پساب، چنانکه در بخشهای قبلی ذکر شد، علاوه بر آماده‌سازی آب یا پساب از نظر کیفیت فیزیکی مستلزم انتخاب لامپ و شدت تابش مناسب در شرایط عمل است.

به طور کلی ایشریشیاکلی از غالب باکتریهای نوع گرما دوست مقاومتر است و به خوبی حذف خواهد شد و ویروسهای فلج اطفال<sup>۱</sup> نیز که جزو ارگانسیم‌های مقاوم است، تحت تأثیر اشعه ماورای بنفش کشته می‌شوند؛ ولی برای آلگها و پروتوزوئرها مقدار تابش فوق‌العاده زیاد لازم است، که به طور کلی بین  $25 \text{ mw.s/cm}^2$  تا ۲۰ (۲۰ تا ۲۵ میلی‌وات ثانیه برای هر سانتیمتر مربع از سطح تابش پرتو) مورد نیاز خواهد بود.

#### ۴-۲-۵-۶-۵ مراقبت از بازتاب فرابنفش

دستگاه بازتاب U.V با مراقبتهای لازم از نظر حفاظت محیط و افرادی که در جوار آن رفت و آمد دارند، ساخته می‌شود و آثار نامطلوب شدیدی بر افراد مجاور خود ندارد، لیکن ممکن است در بعضی مسائل تعمیرات و نگهداری نیاز به مراقبت داشته باشد.

افرادی که با این نوع دستگاهها سر و کار دارند، باید توجه نمایند که هرگونه فلزی که در ساختن ابزار کار مصرف می‌شود، قابلیت جذب نیرو از بازتاب فرابنفش را داراست و باید در مواردی که موضوع نگهداری و تعمیرات در اطراف این دستگاه مطرح است، لامپ U.V خاموش شود و از لامپ دیگری برای روشنایی استفاده شود.

کارکنانی که وارد اتاق U.V می‌شوند یا در جوار آن رفت و آمد دارند، باید از لباس و دستکش حفاظتی استفاده نمایند.

#### ۵- مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی

عوامل شیمیایی نامطلوبی که همراه با سایر عوامل در منابع آب سطحی و زیرزمینی به ویژه حائز اهمیت هستند و شناخت دقیق از آنها در تجزیه و تحلیل اولیه آب خام و مآلاً انتخاب روش تصفیه برای تقلیل و یا حذف کامل آنها ضرورت پیدا می‌نماید؛ عبارتند از:

- کلسیم و منیزیم
- آهن و منگنز
- فلزات سنگین
- کلورها

<sup>1</sup> - Poliovirus

- فلئورورها
- سولفات‌ها و سولفورها
- نیترات‌ها
- تری هالومتانها
- پاک کننده‌ها
- سموم دفع آفات و علف کشها
- مواد رادیواکتیو

در بخشهای ذیل عوامل شیمیایی نامطلوب فوق‌الذکر بررسی گردیده، ترکیب شیمیایی آنها در منابع آب خام شناخته شده و بالاخره روشهای تصفیه‌ای برای تقلیل و یا حذف آنها به کار گرفته می‌شوند، در پی آمده است.

### ۵-۱ کلسیم و منیزیم

هر چند وجود کلسیم در آب به لحاظ داشتن سلامت با محدودیتی روبه‌رو نیست، ولی از نظر حفاظت سیستم آبرسانی شهری در برابر رسوب‌گذاری و خوردگی و همچنین حفاظت لوازم خانگی و سیستمهای حرارتی-برودتی و نظافت، باید مقادیر کلسیم و منیزیم در آب تحت کنترل قرار گیرد که به علت وجود بیش از حد این دو عنصر در بسیاری از منابع آب کشور و وجود تصفیه‌خانه‌های متعدد برای حذف آنها و اهمیت موضوع، این مورد در بخش ۶-۱ (سختی‌زدایی با مواد شیمیایی) به تفصیل شرح داده شده است.

### ۵-۲ آهن و منگنز

#### ۵-۲-۱ وضعیت شیمیایی و تاثیرات

آهن و منگنز در طبیعت در حالت اکسیداسیون غیر محلول ( $Fe^{+4}$  و  $Mn^{+4}$ ) و محلول ( $Fe^{+2}$  و  $Mn^{+2}$ ) یافت می‌شوند. آهن و منگنز در حالت غیر محلول در آبهای خام در هنگام تصفیه فیزیکی و شیمیایی آب با استفاده از انعقاد، ته‌نشینی و عبور از صافی از آب جدا می‌شوند، در حالی که جداسازی آهن و منگنز محلول با دشواریهای متعددی همراه است.

در منابع آب سطحی و زیرزمینی آهن و منگنز محلول به صورت نمکهای آهن و منگنز دو ظرفیتی هستند آهن و منگنز محلول نیز به صورت کمپلکسهای آلی در منابع آب دیده می‌شوند. این کمپلکسها حاصل تجمع ملکولهای مواد آلی با بار منفی گرد یونهای مثبت آهن و منگنز و مالا ایجاد ترکیب شیمیایی با آنهاست که اصطلاحاً "لیگاند" نامیده می‌شود. حذف این کمپلکسها از آب به مراتب از حذف یون آهن و منگنز محلول، در عملیات تصفیه، دشوارتر است؛ چرا که ملکولهای آلی مانند پوسته محافظی از یونهای آهن و منگنز محافظت می‌نمایند.

وجود یونهای آهن و منگنز به صورت جداگانه و یا توأم در غلظت بیش از استاندارد در آب آماده توزیع موجب دشواریهای ذیل می‌شود.

- رنگ آب در شبکه توزیع به رنگ سیاه و یا قرمز تغییر پیدا می‌نماید.
- پس از شستشوی البسه لکه‌های متعددی بر روی پارچه‌ها کمرنگ ظاهر می‌شود.
- باکتریایی به نام (Clonothrix) و (Crenothrix) با استفاده از یونهای آهن و منگنز در متابولیسم خود، تکثیر پیدا می‌نمایند. این باکتریها که اصطلاحاً باکتریهای آهن نامیده می‌شوند؛ در شبکه توزیع به صورت کولونی‌هایی غده مانند شکل می‌گیرند و به دیواره لوله می‌چسبند. ترکیب کلر با تجمع این باکتریها از منابع اصلی بو و مزه نامطلوب در آبهای آشامیدنی است. به علل فوق، استاندارد بین‌المللی آب آشامیدنی<sup>۱</sup> (۱۹۸۴) حدود غلظت آهن و منگنز را به شرح ذیل تعیین نموده است:

منگنز	آهن	
۰/۱	۰/۳	حداکثر قابل قبول (ppm)
۰/۵	۱/۰	حداکثر مجاز (ppm)

ضمناً استاندارد سازمان بهداشت جهانی (W.H.O - ۱۹۹۳) حداکثر مجاز را در مورد آهن و منگنز به ترتیب ۰/۳ و ۰/۱ ppm توصیه نموده است.

\* آبی که برای مصارف صنعتی در کارخانه‌های پارچه باقی، رنگرزی، نوشابه‌سازی و کاغذ سازی استفاده می‌شود، باید حاوی کمتر از ۰/۵ ppm آهن و منگنز باشد.

## ۲-۲-۵ روش تصفیه

روش تصفیه آهن و منگنز نسبت به سایر روشهای تصفیه آب پیچیده‌تر است. آنچه مسلم است، مؤثرترین روش تصفیه را اکسیداسیون آهن و منگنز محلول به هیدراتهای غیر محلول آهن و منگنز و سپس حذف آنها از آب تشکیل می‌دهد، رزینهای تبادل یونی نیز برای حذف غلظتهای کم آهن و منگنز کاربرد دارند؛ ولی معمولاً با هزینه اولیه زیاد و دشواریهای بهره‌برداری بسیار همراهند. با توجه به ویژگیهای منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین تنوع ترکیبات شیمیایی حاوی آهن و منگنز، روشهای مختلف تصفیه آهن و منگنز در آب در جدول شماره ۱-۵ خلاصه شده است. انتخاب هر یک از روشها با توجه به شرایط خاص محلی کاربرد دارد؛ ولی غالباً پنج حالت ذیل در این انتخاب نظر گرفته می‌شوند:

الف- آبهایی که حاوی آهن‌اند و pH آنها پس از هوادهی ۷ و یا بیشتر است؛ با استفاده از هوادهی، آهن بدون استفاده از تنظیم و یا کاربرد کاتالیزور اکسیده می‌شود.

ب- آبهایی که حاوی آهن و میزان محدودی منگنزاند: عمل اکسیداسیون مستلزم استفاده از صافیهای تماسی<sup>۲</sup>، کلرزی و یا تنظیم pH قبل از عملیات صافی است. اخیراً اکسیداسیون با استفاده از پرمنگنات پتاسیم (فرایند ۶،

1 - International Standard for Drinking water

2- Contact Beds

جدول ۵-۱) و یا کاربرد آن به صورت مداوم در فرایند صافیهای تماسی (فرایند ۴، جدول ۵-۱) به استفاده از کلر رجحان داده شده است.

ج- آبهایی که حاوی ترکیبات آلی آهن‌دار هستند: تنظیم pH تا حد ۸/۵ الی ۹ برای حصول اطمینان از اکسیداسیون و عملیات صافی ضروری است. آبهایی که حاوی منگنز است، حدود pH ۷/۵-۱۰ اکسیده می‌شوند. د- آبهایی با سختی بالا که حاوی آهن یا منگنز هستند: این آبها با فرایند سودا و آهک و یا ژئولایت از آهن و منگنز تصفیه می‌شوند.

ه- آبهایی که حاوی منگنز به تنهایی و یا با آهن‌اند: این آبها لازم است با استفاده از کاتالیزور با سنگهای پیرولوسیت<sup>۱</sup> در غیاب هوا به منظور تبدیل کمپلکسهای منگن‌دار به هیدروکسید منگنز تصفیه شوند (فرایند ۵، جدول ۵-۱). آهن به همراه منگنز در این فرایند پس از هوادهی در یک صافی تماسی باز و صافی شنی پس از آن اکسیده می‌شود. استفاده از آهک برای تنظیم pH ضرورت ندارد. در صورتی که رقم pH، ۷ و یا بیشتر باشد، باید توجه داشت از هوادهی اولیه اجتناب نبود، چرا که هیدروکسید منگنز در "صافی تماسی" ایجاد نخواهد شد و به جای آن شکل کلویدی منگنز تشکیل می‌شود که به سختی رسوب می‌کند؛ مگر اینکه از آب آهک، پرمنگنات پتاسیم و یا کلر (مانند فرایند ۴ و ۶، جدول ۵-۱) استفاده گردد.

#### ۵-۲-۲-۱ تصفیه با آب آهک

آب آهک برای تنظیم pH در عملیات تصفیه آهن و منگنز به کار می‌رود. ظرفیت دستگاههای تغذیه آب آهک لازم است، حداقل ۵۰ درصد بیش از میزان تغذیه برای رساندن pH آب به حد اکسیداسیون و انعقاد آهن و منگنز باشد.

#### ۵-۲-۲-۲ اکسیداسیون توسط کلر

منگنز به وسیله کلر اکسیده می‌شود، ولی این اکسیداسیون به کندی صورت می‌گیرد؛ مگر آنکه pH آب در حد ۸/۵-۱۰ تنظیم شود. غلظت کلر لازم است طوری انتخاب شود که کلر آزادی معادل ۱/۲۵ppm برای هر ppm منگنزی که باید اکسیده شود باقی بماند. آهن با سرعت بیشتری در همان غلظت کلر استفاده شده برای حذف منگنز، اکسیده می‌شود؛ منتهی حدود pH در اکسیداسیون آهن وسیعتر است. عمل اکسیداسیون آهن و منگنز توسط کلر معمولاً به وسیله ۰/۲ppm سولفات مس به عنوان کاتالیزور تسهیل می‌گردد.

معمولاً قبل از استفاده از کلر برای حذف آهن و منگنز لازم است. از کارآیی کلر در این فرایند اطمینان حاصل نمود؛ به ویژه از نظر اقتصادی هزینه استفاده از کلر را در غیاب اکسیژن محلول در برابر فرایند هوادهی و پمپاژ مکرر مقایسه کرد.

جدول شماره ۵-۱: فرآیندهای معمول برای حذف آهن و منگنز در آبهای مختلف

ملاحظات	مواد شیمیایی لازم	حدود pH لازم	وسائل تصفیه مورد نیاز	مشخصات آب خام	نیاز به اکسیداسیون	روش تصفیه
بهره‌برداری آسان، بدون کنترل مواد شیمیایی		بیش از ۷	هواده، حوضچه ته‌نشینی، صافی شنی	دارای آهن در غیاب مواد آلی قابل توجه	بلی	۱- هوادهی، ته‌نشینی، صافی
دوبار پمپاژ، بهره‌برداری آسان		بیش از ۷ برای حذف آهن، ۷/۵-۱۰ برای حذف منگنز	هوادهی در بستر تماسی ساخته شده از کک و یا پیرولوسیت و یا شن، حوضچه ته‌نشینی، صافی شنی	دارای آهن و منگنز ترکیب شده ضعیف با مواد آلی، بدون اکسید دو کربن و اسیدهای آلی	بلی	۲- هوادهی، اکسیداسیون در بستر تماس
دو بار پمپاژ، نیاز به هوادهی محدود، کنترل آسان	آب آهک برای حذف منگنز		هواده، صافی با لایه شنی با پوشش منگنزی، پیرولوسیت خرد شده و یا ژئولیت منگنز	دارای آهن و منگنز ترکیب شده با مواد آلی در غیاب اسیدهای آلی	بلی	۳- هوادهی، صافی تماسی
یک بار پمپاژ، بدون هوادهی	احیای صافی با استفاده از کلر در حد متناوب و یا با استفاده از پرمنگنات پناسیم به صورت مداوم در هنگام شستشو	بیش از ۷ برای حذف آهن، بیش از ۸/۵ برای حذف منگنز	صافی با لایه شنی با پوشش منگنزی، پیرولوسیت خرد شده و یا ژئولیت منگنز	دارای آهن و منگنز ترکیب شده با مواد آلی، بدون اکسید دو کربن و اسیدهای آلی	بلی ولی نه با هوادهی	۴- صافی تماسی
اکسیداسیون منگنز به هیدروکسید منگنز در بستر تماسی بسته در غیاب هوا و تحت تاثیر کاتالیزوری بستر		بیش از ۷	بستر تماسی پیرولوسیت بسته، هوادهی در بستر تماسی دوم به صورت باز، صافی شنی	دارای منگنز همراه با مواد آلی	بلی	۵- استفاده از کاتالیزور، هوادهی، ته‌نشینی، صافی

ادامه جدول ۵-۱ فرآیندهای معمولی برای حذف آهن و منگنز در آبهای مختلف

روش تصفیه	نیاز به اکسیداسیون	مشخصات آب خام	وسائل تصفیه مورد نیاز	حدود pH لازم	مواد شیمیایی لازم	ملاحظات
۶- هوادهی، کلریناسیون، ته‌نشینی، صافی	بلی	دارای آهن و منگنز ترکیب شده ضعیف با مواد آلی	هواده، کلریناتور، حوضچه ته‌نشینی، صافی شنی	۷ تا ۸	کلروپرمنگنات پتاسیم	نیاز به هوادهی قبل از کلریناسیون
۷- هوادهی، انعقاد، آهک‌زنی، ته‌نشینی، صافی شنی	بلی	دارای آهن و منگنز ترکیب شده با مواد آلی همراه با اسیدهای آلی	هواده، حوضچه اختلاط با آهک، حوضچه ته‌نشینی، صافی شنی	۸/۵ تا ۱۰	آهک	نیاز به کنترل pH
۸- هوادهی، انعقاد، آهک‌زنی، ته‌نشینی، صافی شنی	بلی	دارای آهن و منگنز ترکیب شده با مواد آلی همراه با تیرگی و رنگ در آب	صافیهای شنی سریع متعارف	۸/۵ تا ۹/۵	آهک با کلورفریک و یا سولفات فریک و یا کاپراس کلرینه شده و یا آهک و کاپراس	نیاز به کنترل آزمایشگاهی دقیق
۹- سختی‌گیری با زئولیت	نه	آب چاه بدون اکسیژن و دارای کمتر از ۰/۵ پی، ام، آهن و منگنز برای هر ۱۷ پی، ام سختی حذف شده	واحدهای متعارف زئولیت سدیم برای سختی‌گیری و واحدهای زئولیت منگنز و یا مشابه برای تصفیه بخش سختی‌گیری نشده	بیش از ۶/۵	احیای بسترهای تبادل بونی با استفاده از محلول کلرور سدیم	موثر برای حذف آهن و منگنز به صورت بیکربنات آهن و منگنز محلول
۱۰- تصفیه با آب هک، ته‌نشینی، صافی	نه	آب چاه با سختی محدود، بدون اکسیژن دارای آهن به صورت کربنات آهن دو ظرفیتی	تغذیه کننده آهک، ته‌نشینی بسته، صافی تحت فشار	۸/۱ تا ۸/۵	آهک	موثر برای ترکیب آهن به صورت کربنات آهن دو ظرفیتی در غیاب اکسیژن

#### ۳-۲-۲-۵ اکسیداسیون توسط پرمنگنات پتاسیم

پرمنگنات پتاسیم در اکسیداسیون آهن و منگنز به مراتب از کلر مؤثرتر است. عمل اکسیداسیون در صورتی که pH بیش از ۷ باشد، مستقل از pH آب، انجام پذیر است. لذا منگنز بودن استفاده از آب آهک قابل حذف است. سرعت اکسیداسیون بالنسبه سریع است، مگر آنکه مواد آلی و یا هیدروژن سولفور در آب وجود داشته باشد که در آن صورت مدت زمان ۵ تا ۲۰ دقیقه برای عملیات اکسیداسیون قبل از عملیات صافی ضروری خواهد بود. چنانچه در فرآیند ۴ جدول (۵-۱) از پرمنگنات پتاسیم استفاده شود، توان اکسیداسیون صافیهای تماس کاهش نمی یابد و چه بسا به احیای صافیها نیز نیاز نخواهد بود. غلظت پرمنگنات پتاسیم طوری انتخاب می شود که رنگ صورتی باز در آب قبل از صافیها دیده شود. معمولاً غلظت مورد نیاز پرمنگنات پتاسیم برای حذف آهن معادل دو سوم میزان آهن موجود و برای منگنز دو برابر منگنز موجود در آب است. غلظت اضافی پرمنگنات ایجاد دشواری نخواهد نمود، چرا که این غلظت اضافی به سهولت در صافیها یا بسترهای تماسی جذب می شود.

پرمنگنات پتاسیم به صورت بلور و یا به صورت محلول کاربرد دارد. این ماده شیمیایی برای لوله های پلاستیکی و دیافراگمهای دستگاه تغذیه مضر است، ولی هیچ گونه تاثیری بر وسائل فلزی به کار گرفته شده در تاسیسات آبرسانی ندارد.

#### ۴-۲-۲-۵ هوادهی

هوادهی معمولاً برای حذف گاز کربنیک و رفع بو و مزه با استفاده از انحلال اکسیژن در آب کاربرد دارد و معمولاً هوادهی پخشانه<sup>۱</sup> مناسب ترین شیوه برای این منظور است؛ ولی برای حذف آهن و منگنز هوادهی توسط عبور دادن آب از صافیهای شنی چکنده انجام می پذیرد؛ چرا که سطح دانه های شن به صورت بستر تماس اولیه اکسیژن با آب و مانند یک کاتالیزور عمل می نماید. شنها در چهار تا شش لایه که بر روی سینی های مشبک قرارداده شده اند بکار گرفته می شود. هر لایه دارای عمق معادل ۳۰ سانتی متر است و بین سینی های مشبک نیز فواصلی، به منظور توزیع مناسب آب در حال فرو ریختن، در نظر گرفته می شود. صافیهای یک لایه ای با عمق ۱/۲ تا ۱/۸ متر نیز مناسبند، در صورتی که دیوارهای مشبک، برای تسهیل عمل هوادهی، انتخاب شود، دیوارهایی از نوع لوور<sup>۲</sup> به منظور تهویه بهتر صافی و همچنین شستشوی آسانتر آن کاربرد دارند، میزان جریان آب معادل ۲۴ متر در ساعت (۸۰ گالن آمریکایی در دقیقه بر فوت مربع و یا ۸۰ فوت در ساعت) انتخاب می گردد و معمولاً ۰/۱۴ ppm اکسیژن برای اکسیده کردن ۱/۰ ppm آهن کفایت می نماید.

1 - Spray type Aeration

2- Louver



## ۵-۲-۲-۵ بستریهای تماسی

بستریهای تماسی در فرآیند حذف آهن و منگنز دارای لایه‌ای از سنگهای معدنی منگنزدار و یا پیرولوسیت است که نوعی اکسید منگنز محسوب می‌شود. اکسیدهای راسب آهن و یا منگنز بر سطح دانه‌های بستر به صورت کاتالیزور در اکسیداسیون آهن و منگنز عمل می‌نماید. عمق لایه معمولاً حدود ۱/۸ متر (۶ فوت) و یا بیشتر انتخاب می‌شود. معمولاً تمهیداتی برای شستشوی بدون دشواری بستر به کار گرفته می‌شود تا بتوان اکسیدهای بیش از حد ایجاد شده بر روی دانه‌های شن را از لایه زدود. غالباً احیای بستر توسط محلول پرمنگنات انجام می‌پذیرد. در این گونه بستریها جهت جریان از پایین به بالا و حدود ۹/۶ متر بر ساعت (۳۲ فوت بر ساعت) و یا ۴ گالن آمریکایی بر دقیقه بر فوت مربع) است.

بستریهای تماسی بالا به پیرولوسیت برای حذف منگنز بدون استفاده از آب آهک و یا پرمنگنات پتاسیم کاربرد دارد. این بستریها لازم است در سازه‌های بسته به کار گرفته شوند تا از نفوذ هوا به درون بستر جلوگیری شود. جهت جریان از پایین به بالا و سرعت جریان ۴/۸ متر بر ساعت (۱۶ فوت بر ساعت) در این گونه بستریها مناسب تشخیص داده شده است. در این سرعت جریان، با در نظر گرفتن ۴۰ درصد تخلخل در لایه بستر، زمان تماسی حدود ۹ دقیقه ایجاد خواهد شد. لازم است خروجی بستر در هوادهای ریزشی هوادهی شده و سپس از صافیهای شنی عبور داده شود. لایه‌های ساخته شده از ژئولیت منگنز<sup>۱</sup> که از ترکیب ژئولیت سدیم با پرمنگنات پتاسیم حاصل می‌شود دارای راندمان رضایتبخش در حذف منگنزند. در این گونه بستریها در هر سیکل ۱/۶۳ کیلوگرم منگنز در هر متر مکعب بستر جذب و از آب حذف می‌گردد. احیای بستر توسط محلول پرمنگنات پتاسیم انجام می‌پذیرد و در عملیات احیا ۳/۲۶ کیلوگرم پرمنگنات پتاسیم برای هر متر مکعب بستر مصرف می‌شود.

## ۵-۲-۲-۶ حوضهای ته‌نشینی

طرح کلی سیستم تصفیه، تعیین کننده نیاز به ته‌نشینی بعد از هوادهی، بستریهای تماسی و یا تصفیه شیمیایی قبل از صاف کردن است. معمولاً به منظور صرفه‌جویی اقتصادی در طرح صافیها از ته‌نشینی استفاده می‌شود؛ به ویژه هنگامی که تصفیه با آب آهک ضروری تشخیص داده شود و یا اینکه میزان غلظت آهن در آب از ۲ppm فراتر رود. زمان ماند حوضچه ته‌نشینی به کیفیت آب مورد نظر بستگی دارد؛ ولی برای حذف آهن بین ۱ تا ۲ ساعت تعیین شده است. سیستمهای تصفیه‌ای که برای حذف آهن در غیاب اکسیژن طرح شده‌اند (فرآیند ۱۰ در جدول ۱-۵) از واحدهای تحت فشار، لخته‌بندی، ته‌نشینی و صافی به منظور جلوگیری از تماس آب چاه با هوا تشکیل شده‌اند.

باید توجه داشت که واحدهای لخته‌بندی از نوع استوانه‌ای با زمان ماندی حدود ۵ دقیقه انتخاب شوند. محل ورودی و خروجی در این واحدها در جایی انتخاب می‌شود که جریان به صورت حلزونی در درون مخزن لخته‌بندی به منظور ایجاد حداکثر اختلاط، تشکیل گردد. ته‌نشینی تحت فشار در مخازن استوانه‌ای با حداقل زمان ماند یک ساعت امکانپذیر است.

#### ۵-۲-۲-۷ صافیها

صافیها در فرآیندهای حذف آهن و منگنز بعد از هوادهی، بسترهای تماسی و یا مخازن ته‌نشینی کاربرد دارند و طبق اصول طراحی صافیها طرح می‌شوند. سرعت صاف کردن آب حدود ۹/۶ متر بر ساعت (۳۲ فوت بر ساعت، ۴ گالن آمریکایی بر دقیقه بر فوت مربع) و یا کمتر انتخاب می‌شود. ماسه لایه صافی لازم است دارای اندازه مؤثر<sup>۱</sup> ۰/۷ تا ۱/۰ میلیمتر باشد و یا به عبارت دیگر از شن ماسه‌های صافیهای معمولی برای حذف باکتریها در آب، درشت‌تر انتخاب شود. صافیهایی از نوع صافیهای ثقلی و یا صافیهای تحت فشار بر حسب مورد کاربرد دارند و محدودیت استفاده از انواع صافی به حد صافیهای متعارف برای حذف باکتریها نیست. چنانچه تنها حذف آهن در فرآیند تصفیه مطرح باشد، استفاده از صافیها به عنوان بستر تماسی بلافاصله پس از هوادهی میسر است. در این گونه فرآیندها لازم است از پیش در واحدی آزمایشی<sup>۲</sup> عملکرد صافی، برای حصول اطمینان از ایمنی بهره‌برداری، آزمایش گردد.

#### ۵-۲-۲-۸ حذف آهن و منگنز با تبادل یونی

سختی‌گیرهای تبادل یونی که در عملیات سختی‌گیری آبهای سخت به کار می‌رود، برای حذف آهن و منگنز نیز کاربرد دارند؛ مشروط بر آنکه آب چاه فاقد اکسیژن باشد؛ چرا که در عملیات تبادل یونی تنها آهن و منگنز محلول همراه با کلسیم و منیزیم از آب حذف می‌گردند. این فرآیند در مورد آبهایی که دارای بیش از ۵ppm آهن و منگنز در مقابل هر ۱۷ppm سختی هستند، کاربرد ندارد. در واقع این ضابطه حداقل سختی ۳۴۰ppm در برابر ۱۰ppm آهن را نشان می‌دهد.

#### ۵-۲-۳ دشواریهای بهره‌برداری از واحدهای تصفیه آهن و منگنز

مسائل بهره‌برداری در فرآیندهای حذف آهن و منگنز به دو بخش تقسیم می‌شود. ابتدا فرآیندهای متعارفی مانند: انعقاد، ته‌نشینی و صافیهای شنی و سپس فرآیندهایی که به ویژه برای حذف آهن و منگنز طرح شده‌اند.

1 - Effective size

2 - Pilot

آبهای خامی که دارای غلظت محدودی از آهن و منگنزاند، توسط انعقاد با سولفات آلومینیوم با استفاده از پیش کلرزنی و به ویژه هنگامی که رنگ در آب به صورت کمپلکس ترکیبات آهن و منگنز و مواد آلی است، ممکن است از آهن و منگنز تصفیه شوند. چنانچه غلظت آهن و منگنز آب در حدی زیاد است و حذف تیرگی و رنگ نیز ضروری تشخیص داده می‌شود، اکسیداسیون توسط هوادهی تنظیم pH لازم است. شایان ذکر است در این گونه مواقع ازدیاد pH و یا قلیابیت آب توسط آب آهک موجب دشواریهایی در کاربرد سولفات آلومینیوم به عنوان عامل انعقاد خواهد گردید. در این صورت لازم است از سولفات و یا کلروفریک و در صورت در دسترس نبودن این عوامل انعقاد از سولفات مس- سولفات فرو<sup>۱</sup>، و یا سولفات مس کلرینه شده استفاده نمود. سولفات مس کلرینه شده به ویژه به سبب ادغام فرآیند کلرزنی و انعقاد جالب توجه است.

در عملیات لخته‌بندی، لخته‌های آهن معمولاً از لخته‌های آلومینیوم سنگینترند؛ ولی لخته‌های آهن، پرمانند و شکننده‌اند؛ مگر آنکه لخته‌بندی به دقت کنترل شود. لخته‌بندی به ویژه اهمیت خواهد داشت، چرا که وجود آهن لخته نشده میزان آهن آب را بالا خواهد برد و در واقع جذب آهن را بی‌اثر خواهد نمود. باید توجه داشت غلظت آهن در آب خروجی صافیها کمتر از ۰/۳ppm باشد، در صورتی که در عملیات انعقاد غیر موثر با سولفات آلومینیوم، غلظت آلومینیوم در آب خروجی صافی در حد ۰/۵-۱/۰ppm مجاز تشخیص داده شده است. لخته‌های آهن معمولاً دانه‌های ماسه را در صافیها پوشش می‌دهد که زدودن آن از لایه ماسه‌ای صافی بسیار دشوار است. در حالی که لخته‌های آلومینیومی به راحتی توسط شستشو از لایه ماسه‌ای شسته می‌شود.

حذف منگنز از حذف آهن دشوارتر است، زیرا در کاربرد عوامل انعقاد آهن‌دار، آهک زیادی برای بالا بردن pH به حد ۸/۵-۹ لازم است. پیش‌کلرزنی ممکن است عمل انعقاد را تسهیل نماید و انعقاد در pH پایین‌تری در حد مطلوب ایجاد شود، در هر حال آزمایشهای لابراتوری شرایط فرآیند را تعیین می‌نماید. حذف منگنز به ویژه در هنگام تماس آب با منگنز از پیش اکسیده شده جمع شده بر روی دانه‌های ماسه در لایه صافی، تسهیل می‌گردد. بدین سبب شستشوی صافیها در این فرآیند اهمیت ویژه‌ای کسب می‌کند و باید دقت شود، در هنگام شستشوی صافی تنها لخته‌های چسبیده به دانه‌ها از لایه صافی جدا شوند و سطح دانه‌های ماسه، طی عملیات شستشو، کاملاً پاک نشود. مشاهده مدت زمان کارکرد صافی و افت فشار پیش رس راهنمای مفیدی برای شستشوی صافیها خواهد بود.

۱- نام تجاری آن زاج سبز یا کاپراس است. (Copperas, FeSO<sub>4</sub>, VH<sub>2</sub>O)

## ۵-۲-۳-۲ فرآیندهای ویژه حذف آهن و منگنز

بهره‌برداری از این فرآیندها بر حسب نوع فرآیند متفاوت است، فرآیند ۱، ۲ و ۵ در جدول ۵-۱ به اضافه نمودن مواد شیمیایی نیاز ندارند. آب آهک در فرآیندهای ۳، ۷ و ۱۰ برای تنظیم pH لازم است. در فرآیندهای ۹ و ۱۰ لازم است از انحلال اکسیژن در آب جلوگیری گردد، زیرا بیکربنات آهن و منگنز اکسیده نشده طی فرآیند ۹ از آب حذف می‌شود و حذف کربنات آهن و منگنز در رسوبگیری و صافیها در فرآیند ۱۰ اتفاق می‌افتد. فرآیند ۵ پیچیده‌تر است، به سبب اینکه تصفیه در مرحله اول فرآیند باید در غیاب اکسیژن انجام پذیرد، بدین سبب باید دقت نمود، اکسیژن در مکش پمپهای چاه و یا در بسترهای تماسی اولیه در آب حل نشود. چنین حالتی در صورتی مقدور است که آب چاه از پایین به بالا به بسترهای سنگهای منگنزدار و یا پیرولوسیت برای ایجاد هیدروکسید منگنز تغذیه شود. سپس آب از بالا به لایه‌ای از همان نوع بستر به صورت باز تغذیه شود و در واقع هوادهی به صورت متعارف در بستر تماسی انجام گردد.

بسترهای تماسی به عمل کاتالیزری ترکیبات اکسیده شده آهن و منگنز جمع شده بر روی سنگها و یا پیرولوسیت متکی‌اند. بنابراین این بسترها هرگز نباید به طور کامل شستشو داده شوند؛ بلکه مواد جمع شده بر سطح سنگها در محدوده‌های زمانی مشخصی لازم است شسته شوند. بسترهای بسته باید با سرعت جریان ۶۰ متر بر ساعت (۲۰۰ فوت بر ساعت، ۲۵ گالن آمریکایی بر دقیقه بر فوت مربع) شستشو داده شوند. بسترهای باز هوادهی با شلنگهای ویژه شستشو و با سرعت بیشتری قابل شستشویند. غالباً لازم است لایه تماسی کاملاً خارج شود تا بتوان بخشهای داخلی لایه را در حد مطلوب شستشو داد.

## ۵-۲-۳-۳ کنترل آزمایشگاهی

آزمایشگاههای آهن و منگنز، کلر باقیمانده pH و قلیابیت در فرآیندهای ویژه حذف آهن و منگنز بسیار با اهمیت‌اند. این آزمایشها با آزمایشهای مربوط به تیرگی، رنگ و بالاخره جارتست<sup>۱</sup> در کنترل فرآیندهای حذف آهن و منگنز نقش اساسی خواهند داشت. بنابراین استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی کافی و همچنین انتخاب روشهای استاندارد شده آزمایشگاهی از اقدامات بسیار مؤثر در بهره‌برداری و کنترل واحدهای متشکله فرآیندهای حذف آهن و منگنز است.

---

1 - Jar Test

### ۳-۵ فلزات سنگین

فلزات سنگین به صورت طبیعی در پوسته زمین وجود دارند و در برخی نقاط در آبهای زیرزمینی نیز ظاهر می‌گردند؛ ولی منبع اصلی این فلزات در فاضلابهای صنعتی است که هنگام دفع، آبهای پذیرنده سطحی و زیرزمینی را به این گونه فلزات آلوده می‌سازند. در میان فلزات سنگین، سرب، جیوه، کادمیوم و باریوم به ویژه مسایل متعددی را در کنترل کیفیت آب آشامیدنی به وجود آورده‌اند. این فلزات هر یک دارای خواص متفاوت و بالتیجه تاثیرات ویژه بر فیزیولوژی انسان دارند؛ ولی آنچه مسلم است، وجود فلزات سنگین بیش از حدود تعیین شده در استانداردها خطرهای جدی برای مصرف کنندگان آب به وجود می‌آورد.

### ۱-۳-۵ منابع آلودگی و تاثیرات

مهمترین منبع آلودگی فلزات سنگین را فاضلابهای صنعتی تصفیه نشده و یا لجنهای حاصل از عملیات تصفیه این گونه فاضلابها تشکیل می‌دهد. چنانچه فاضلاب تصفیه نشده صنعتی به منابع آب خام برای مصارف آشامیدنی راه یابند، آلودگی این گونه منابع محتمل است و دشواریهای بسیار در عملیات تصفیه را به همراه دارد. چنانچه این گونه فاضلابها برای استفاده مجدد برای آبیاری به کار روند و یا اینکه لجن حاصل از تصفیه این فاضلابها برای اصلاح خاک در کشاورزی مورد استفاده واقع شود، فلزات سنگین به گیاهان و سبزیجات راه می‌یابد و در زنجیره غذایی انسان قرار خواهند گرفت که در نتیجه موجبات آسیبهای فیزیولوژیکی در بدن انسان را فراهم می‌آورند.

حد مجاز برخی از فلزات سنگین برای آب آشامیدنی در استاندارد سازمان بهداشت جهانی (WHO) در جدول ۲-۵ خلاصه شده است:

جدول شماره ۲-۵ حد مجاز برخی از فلزات سنگین در آب آشامیدنی

فلزات سنگین	حداکثر مجاز، میلیگرم بر لیتر (WHO)
کادمیم	۰/۰۰۵
کروم	۰/۰۵
سرب	۰/۰۵
جیوه	۰/۰۰۱
سلنیوم	۰/۰۱

فلزات سنگین به صورت ترکیبات معدنی و یا همراه با ترکیبات آلی در آب وجود دارند. نظر به اینکه غالب اکسیدهای فلزات سنگین غیر محلولند؛ بنابراین اکسیده کردن فلزات سنگین و سپس راسب نمودن آنها طی فرآیندهای ته‌نشینی و صافی در حذف فلزات سنگین مؤثر است. روش حذف کلسیم و منیزیم توسط آهک و کربنات سدیم در حذف فلزات سنگینی که به شیوه کلسیم و منیزیم عمل می‌کنند، مؤثر است.

حذف فلزات سنگین ترکیب شده با مواد آلی نسبتاً دشوارتر است. در این حالت از مکانیزم جذب سطحی برای حذف مولکولهای آلی و مالم فلزات سنگین استفاده می‌شود. معمولاً پودر کربن فعال به عنوان ماده جاذب کاربرد اطمینان بخشی دارد. دیگر روشها مانند اسمز معکوس به ویژه برای حذف فلزات سنگین ترکیب شده با مواد آلی کارایی قابل توجهی داشته‌اند. بدیهی است چنانچه فلزات سنگین به صورت معدنی و یا به صورت یون در آب وجود داشته باشند، به راحتی قادر به عبور از پرده مشبک<sup>۱</sup> در این فرآیندند، لذا اسمز معکوس در حذف این شکل از فلزات سنگین مؤثر نیست.

حذف و کاهش فلزات سنگین گرچه در فرآیندهای مختلف تصفیه آب بخصوص آب آشامیدنی معمول نیست، ولی با توجه به اهمیت آنها و افزایش غلظتشان در منابع آب دانستن اطلاعاتی در این زمینه لازم به نظر می‌رسد بدین جهت در این بخش به طور خلاصه روشهای حذف و کاهش فلزات سنگین مورد بررسی قرار می‌گیرند: همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، معمولترین راه حذف این عناصر به روش ترسیب به شرح زیر است:

#### ۵-۳-۱ ترسیب شیمیایی<sup>۲</sup>

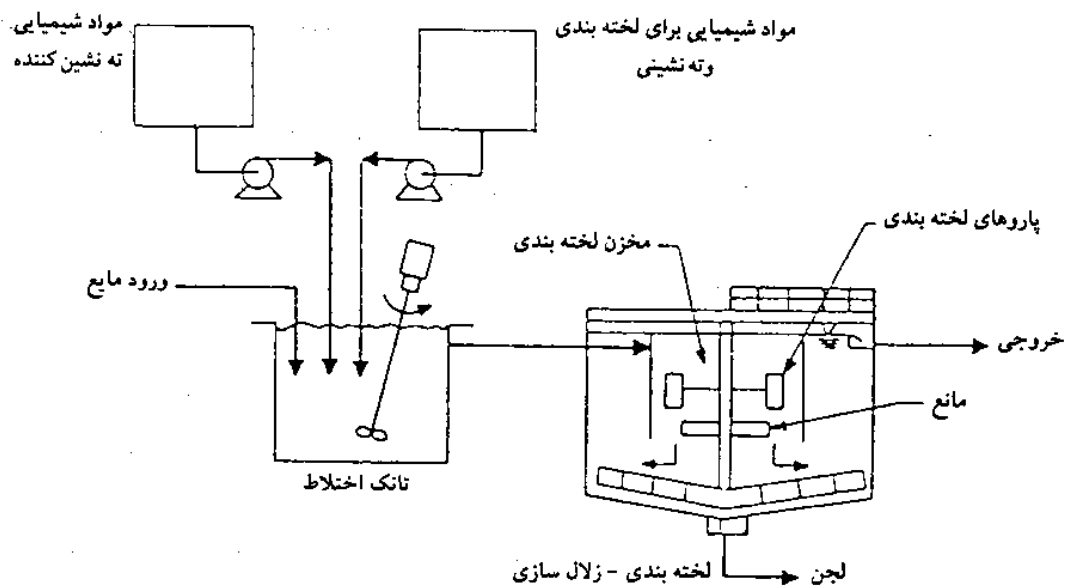
ترسیب شیمیایی فرآیندی است که طی آن مواد محلول به کمک واکنش شیمیایی و یا تغییر در حلال تبدیل به نامحلول می‌گردند. جامدات حاصله را می‌توان به کمک ته‌نشینی و یا فیلتراسیون جدا نمود. فلزاتی که با این فرآیند می‌توان آنها را جداسازی نمود؛ عبارتند از: باریم، کادمیم، کروم، مس، سرب، جیوه، نیکل، سلنیم، نقره، تالیم، روی و آرسینک.

1 - Membrane

2 - Chemical Precipitation

### ۵-۳-۱-۱ شرح فرآیند<sup>۱</sup>

فرآیند ترسیب و حذف فلزات به صورت شماتیک شکل ۵-۱ نشان داده شده است. ماده شیمیایی اضافه می‌گردد و فلزات سنگین حل شده را به صورت غیر محلول در می‌آورد. مواد جامد معلق حاصله در واحد ته‌نشینی رسوب می‌کنند جدا می‌گردند.



شکل ۵-۱ رسوبدهی شیمیایی

چند روش متفاوت برای ترسیب و جداسازی یونهای فلزی سمی از فاضلاب‌های صنعتی وجود دارد که کلیه آنها دارای این وجه مشترک هستند که همگی به تشکیل شبکه‌های بلورین یونی منتهی می‌شوند. برای تشریح جنبه‌های کمی فرآیندها، می‌توان حاصلضرب حلالیت نمک یا هیدروکسید راسب را مورد استفاده قرار داد.

بر این اساس می‌توان دید که اساساً بین ماده حل شده و رسوب آن تعادل برقرار است و اگر مقدار یکی از یونها در محلول بیش از غلظت تعادلی آن شود، می‌توان یون مخالف خود را از حالت محلول خارج به فاز رسوب وارد کند. غلظت باقیمانده فلز در محلول تصفیه شده را می‌توان در دمای ثابت و در محلول رقیق براساس

حلالیت رسوب (مثلاً: در خنثی‌سازی ترسیبی، براساس حلالیت هیدروکسید راسب) محاسبه کرد. در مورد مثال اخیر، می‌توان حلالیت را با افزایش pH کم نمود.

فرآیندهایی که اصولاً برای ترسیب فلزات سمی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ عبارتند از:

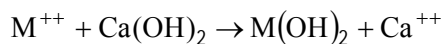
- ایجاد رسوب هیدروکسید به کمک آهک

- فرآیند تولید رسوب سولفید

- ایجاد رسوبات کربنات

### ۵-۳-۲-۱ ترسیب هیدراکسیدی

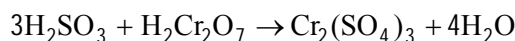
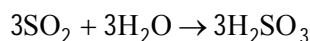
در این فرآیند با استفاده از آهک و هیدروکسید سدیم فلز سمی به صورت هیدروکسید فلزی که رسوب است در می‌آید. این واکنش را برای یک فلز دو ظرفیتی می‌توان به صورت خلاصه در زیر مشاهده نمود:



میزان غلظت هیدراکسید در پساب تابع حضور فلزات، ماده مصرفی برای ترسیب، شرایط واکنش مخصوصاً pH و سایر مواد موثر در ترسیب است. غلظت فلزات سمی را در پساب از لحاظ تنوری می‌توان به کمتر از ۱ mg/l و بعضی مواقع کمتر از ۰/۱ mg/l رسانید.

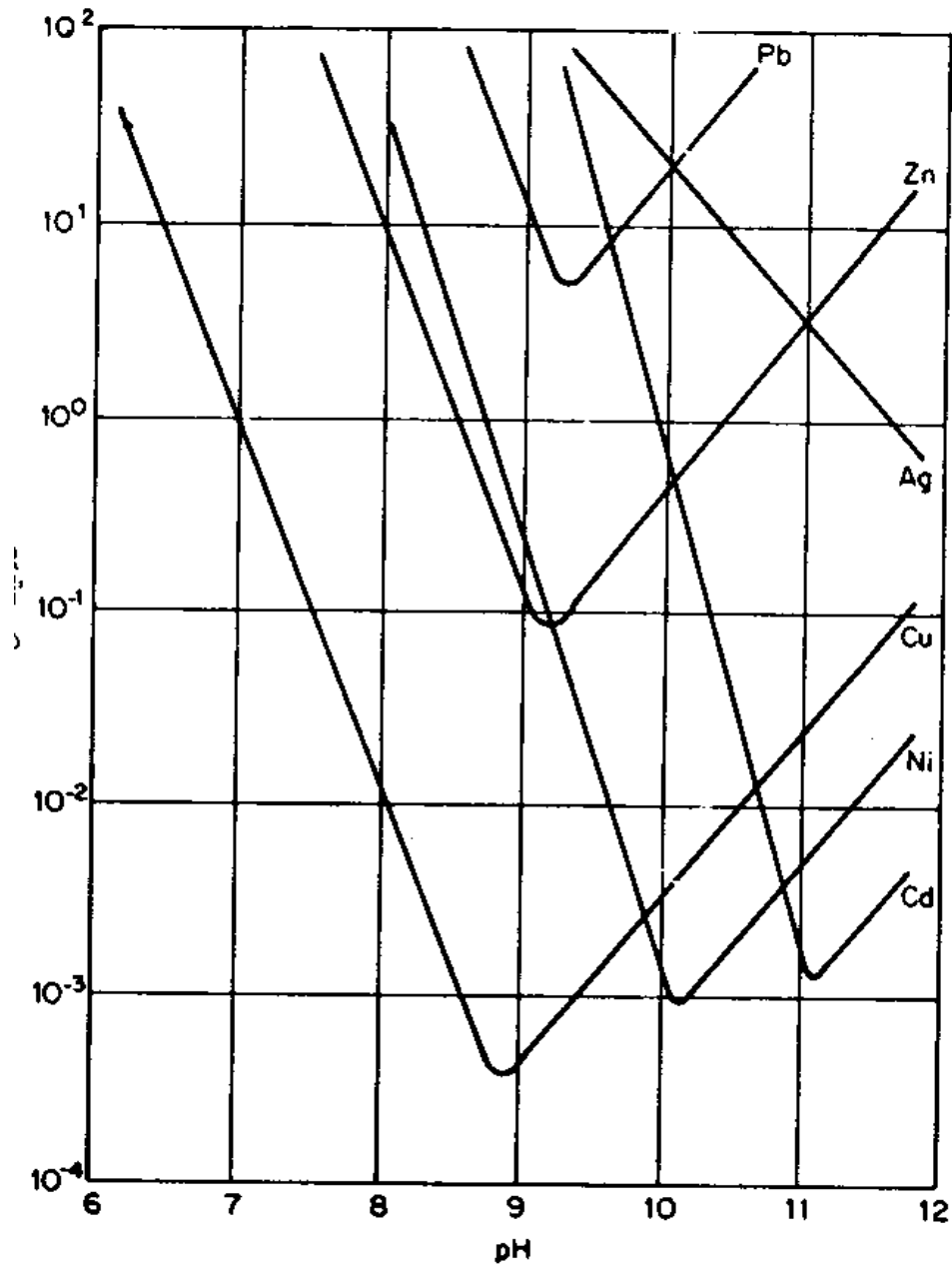
از لحاظ تنوری انحلال چند رسوب هیدروکسیدی را می‌توان در شکل ۵-۲ ملاحظه نمود. بر اساس این شکل هیدروکسید فلزات آفوتور بوده و حلالیت آنها در pH کم و زیاد افزایش می‌یابد و در نقاطی حداقل حلالیت را دارند (pH ایتیمم برای ترسیب) که این نقاط ممکن است برای یک فلز بیشترین حلالیت را در همان pH برای فلزات مختلف در شرایط pH مناسب برای یک فلز بیشترین حلالیت را در همان pH برای فلز دیگر داشته باشد. در بیشتر مواقع رقم pH بین ۹ تا ۱۱ براساس آزمایش چارتست حاصل می‌گردد که نتایج مطلوبی به دست می‌آید. چنانچه فاضلابی بیش از یک نوع فلز داشته باشد، باید چند مرحله ترسیب در pH های مختلف انجام پذیرد و گاهی بیش از یک ماده شیمیایی هم مورد نیاز است.

در مورد فلز کروم، چون هیدروکسید کروم شش ظرفیتی نمی‌تواند رسوب نماید، لازم است ابتدا تصفیه مقدماتی انجام پذیرد و pH حدود ۲ تا ۳ کروم احیا و به فلز سه ظرفیتی تبدیل گردد. این واکنش را می‌توان به کمک مواد مختلفی نظیر: سولفوردی اکسید، سدیم بی‌سولفیت، سدیم متابی سولفیت یا سولفات فرو انجام داد. واکنش انجام گرفته به کمک سولفوردی اکسید عبارت است از:





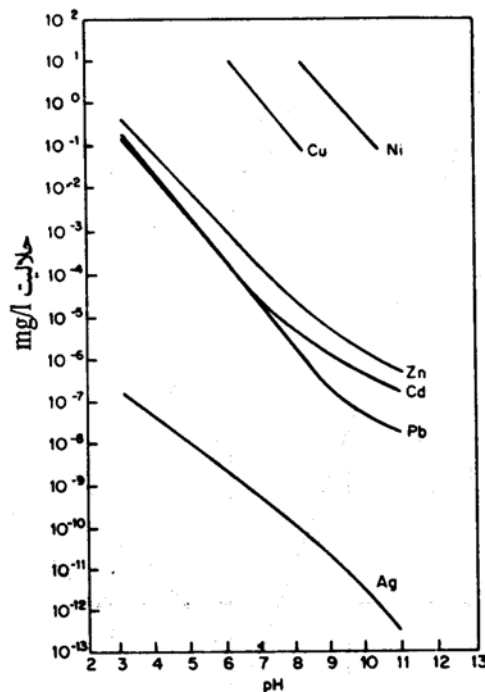
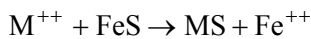
کروم پیش تصفیه شده را می‌توان تنها یا همراه با محلول سایر فلزات سنگین به کمک آهک یا سود با افزایش pH تا بالای ۸ رسوب داد.



شکل ۲-۵ حلالیت هیدروکسیدهای فلزی بر اساس PH

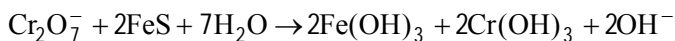
### ۳-۱-۲-۳-۵ ترسیب سولفیدی

ترسیب فلزات به صورت سولفید به عنوان گزینه دیگر امتیازاتی نسبت به روش قبلی دارد. همان‌گونه که در شکل ۳-۵ نشان داده شده است، حلالیت سولفیدها کمتر از هیدروکسیدها بوده بعلاوه اینکه حلالیت آموتری هم ندارند و کروم شش ظرفیتی هم بودن اینکه نیاز به احیا داشته باشد، رسوب می‌کند. این فرآیند شامل ترکیب یون فلز سنگین با ترکیبات سولفیددار است، همانند آنچه در واکنش زیر نشان داده شده است:



شکل ۳-۵ حلالیت سولفیدها بر اساس pH

حذف کروم شش ظرفیتی در یک مرحله که شامل احیا و ترسیب است، مطابق فرمول زیر انجام می‌پذیرد.



سولفید مورد استفاده می‌تواند به صورت سولفید سدیم ( $Na_2S$ ) یا سدیم هیدروسولفید ( $NaHS$ ) باشد که محلولند، و یا به صورت سولفید فرو ( $FeS$ ) باشد که به مقدار کمی محلول است.

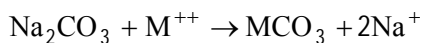
عیب بزرگ استفاده از سولفید ایجاد گاز سمی سولفید هیدروژن است. با نگاهداشتن pH محیط بیش از رقم ۸ از پیدایش این گاز جلوگیری می‌گردد. در pH قلیایی هم به علت هیدرولیز سریع نمک محلول سولفید هیدروژن ممکن است، به وجود آید. عیب دیگر رسوب سولفیدی موجود سولفید در پساب بوده که ممکن است احتیاج به تصفیه مرحله بعدی داشته باشد.

غالباً ترسیب سولفیدی به صورت یک فرآیند ساده و سریع نیست و مراحل ترسیب و رسوبات تشکیل شده حاوی فلزات مختلف هستند. انجام دادن ترسیب کامل و بدون تاخیر را نمی‌توان تضمین کرد.

#### ۴-۱-۲-۳-۵ ترسیب کربناتی

بعضی از فلزات نظیر: رسوب و کادمیم را می‌توان به صورت کربنات رسوب داد که این روش امتیازاتی از قبیل: pH پایین و قابلیت فیلتر شدن بهتر لجن نسبت به ترسیب هیدراکسیدی دارد. در ترسیب هیدراکسیدی pH مورد نیاز برای دو فلز کادمیم و سرب بیش از ۱۰ است، در صورتی که این نوع ترسیب حدود ۷/۵ تا ۸/۵ است.

رسوبدهی توسط کربنات سدیم<sup>۱</sup> را می‌توان با مثال زیر توضیح داد:



ایجاب رسوب به وسیله کربنات سدیم برای همه فلزات امکانپذیر است.

#### ۲-۲-۳-۵ تبادل یونی

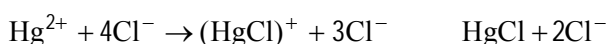
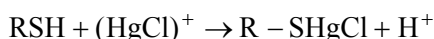
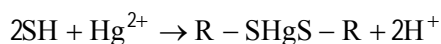
علاوه بر روشهای فیزیکی- شیمیایی که تاکنون در مورد کاهش بار نمک در آب و فاضلاب ها و حذف اجزای سمی موجود در آنها تشریح کردیم، فرآیند تبدیل یونی نیز یک روش شیمیایی برای انجام دادن این منظور در غلظتهای کم است. روش تبادل یونی همچنانکه کاربرد وسیعی در زمینه تهیه آب بسیار خالص و باز یافت مواد اولیه پیدا کرده است، می‌تواند در سمزدایی محلولهای رقیق یونی نیز به کار رود، معمولترین مواد اولیه ساخت رزینهای تعویض یونی عبارتند از: مشتقات اسید آکریلیک و استیرن که پس از افزایش عواملی نظیر: دی وینیل بنزن، پلیمریزه می‌شوند.

انتخاب رزین برای هر منظور خاص بستگی به pH محلول مورد تصفیه دارد. مبادله کنندگان آنیونی می‌توانند یونها را در محدوده اسیدی قوی تا بازی ضعیف جذب کنند (محدوده بازی قوی pH=۱۰ و بازی ضعیف تا حدود pH=۸ است). مبادله کنندگان اسیدی قوی در محدوده ۱-۱۳ pH و مبادله کنندگان اسیدی ضعیف در محدوده ۴-۹ عمل می‌کنند.

---

1 - Soda ash

برای مثال، اخیراً نوعی رزین پلیمری اختصاصی برای جیوه ساخته شده است که برای جداسازی آن از پساب فرآیند سلوی (الکترولیز آب نمک) کاربرد دارد و اصولاً برای جداسازی جیوه از سایر فاضلابها نیز مناسب است. این رزین یونهای جیوه  $Hg^{2+}$ ،  $(HgCl)^+$  را به راحتی از محلول اشباع شده آن جذب می‌کند. با این عمل، تعادل تشکیل  $(HgCl_4)^{2-}$  که در حالت عادی کاملاً به سمت راست متمایل است، به طور کامل به سمت چپ کشیده می‌شود.



### ۳-۳-۵ ارسنیک

به سبب اینکه وجود ارسنیک در منابع آب کشور محتمل است، بنابراین شناخت ویژگیهای آن و روش حذف آن اجمالاً در این بخش شرح داده شده است.

ارسنیک به طور طبیعی در برخی آبهای زیرزمینی در مناطق آتشفشانی وجود دارد؛ ولی غالب منابع اصلی ارسنیک را فاضلابهای صنعتی تشکیل می‌دهند که پس از تخلیه در آبهای پذیرنده و یا در چاههای جذبی آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی را به این عنصر فراهم می‌سازند. ارسنیک در فرمول شیمیایی بعضی حشره‌کشها به کار گرفته می‌شود که در مناطق وسیعی در گذشته کاربرد داشته‌اند. این مواد حشره‌کش موجب ازدیاد غلظت ارسنیک در خاکهای زراعی می‌شود، به حدی که در بعضی اوقات کشاورزان مجبور به تعویض خاک شده‌اند. برخی کودهای شیمیایی و مواد پاک‌کننده در ترکیب خود حاوی ارسنیک هستند.

### ۱-۳-۳-۵ خواص شیمیایی و تاثیرات

ترکیبات ارسنیک از جمله مواد سمی است که وجود آن در آب آشامیدنی خطرناک است. بر طبق استاندارد آب آشامیدنی سازمان بهداشت جهانی حداکثر غلظت قابل قبول ارسنیک در آب آشامیدنی برابر با ۰/۰۱ میلیگرم بر لیتر و حداکثر مجاز آن معادل ۰/۰۵ میلیگرم بر لیتر است. مسمومیت با آبهای آلوده به مواد ارسنیکدار موجب تهوع شدید، اسهال و دل‌پیچه خواهد گردید. ارسنیک در شکل عنصر ارسنیک به تنهایی دارای سمیت کمی است، هر چند که خوردن مداوم ارسنیک در حد ۰/۳ میلیگرم بر لیتر در ابتدا به سرطان پوست نقش عمده‌ای داشته است. به ویژه ترکیبات آلی حاوی ارسنیک مسموم‌کننده‌اند، ولی در ترکیبات معدنی ارسنیک‌دار، ارسنیت‌ها از ارسنات‌ها خطرناکترند. ارسنیک در طبیعت در حالت اکسیداسیون  $As^{+3}$  و  $As^{+5}$  یافت می‌شود.

ارسنیک با استفاده از تصفیه فیزیکی و شیمیایی شامل بر انعقاد، ته‌نشینی و صافی از آب حذف می‌گردد. استفاده از عوامل انعقاد به شرح ذیل است:

$As^{+3}$  انعقاد با سولفات فریک، با pH ۶ تا ۸

انعقاد با سولفات آلومینیوم، با pH ۶ تا ۷ همراه با نرم‌سازی آهک زیاد و اکسیداسیون قبل از تصفیه

$As^{+5}$  انعقاد با سولفات فریک، pH ۶ تا ۸

انعقاد با سولفات آلومینیوم، pH ۶ تا ۷ همراه با نرم‌سازی توسط آهک زیاد

بیش از ۹۰ درصد ارسنات سدیم در انعقاد با سولفات آلومینیوم و سولفات فریک از آب حذف می‌شود. سختی‌گیری با استفاده از آهک در حذف ارسنات سدیم بسیار موثر است، به ویژه وقتی pH به ۱۰/۶ و یا بیشتر افزایش داده شود.

ارسنیت سدیم تا حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد در pH طبیعی آب با استفاده از عوامل انعقاد سولفات فریک از آب حذف می‌شود. چنانچه نرم‌سازی با استفاده از آهک<sup>۱</sup> در pH معادل ۱۱ به کار گرفته شود، راندمان حذف تا ۸۰ درصد افزایش می‌یابد.

سولفات آلومینیوم تنها قادر به حذف حدود ۲۰ درصد ارسنیت سدیم است، ولی می‌توان ارسنیت سدیم را به کمک کلر و پرمنگنات پتاسیم اکسیده و به ارسنات سدیم تبدیل کرد که در آن صورت حذف آن سهلتر انجام می‌پذیرد. استفاده از کلر در عمل اکسیداسیون ارسنیک، در صورت وجود مواد آلی در آب ممکن است منجر به تشکیل "تری هالومتان" گردد؛ که ترکیبی زیانبار است؛ در این ارتباط علاوه بر نکات اشاره شده در مورد پرمنگنات که مصرف آن مشکل ایجاد رنگ در آب را در پی دارد، می‌توان از گاز اوزون نیز استفاده نمود.

حذف ارسنیک توسط روش تبادل یونی با استفاده از رزین‌های آنیونی و یا ذغال استخوان<sup>۲</sup> امکانپذیر است. این روش برای حذف ارسنیت و یا ارسنات سدیم راندمانی یکسان خواهد داشت، ولی در هر حال بررسی در سطح "پایلوت" در ابتدای مطالعات کاربردی تصفیه ضروری است. اخیراً اسمز معکوس و الکتروذلالی نیز نتایج جالبی در حذف ارسنیک داشته‌اند.

1 - Lime softening

2 - Bone Char

### ۳-۳-۳-۵ دشواریهای بهره‌برداری

معمولاً حذف آرسنیک در غلظتهای زیاد (۱۰۰ میلیگرم بر لیتر و یا بیشتر) به سهولت با استفاده از تصفیه فیزیکی، شیمیایی امکانپذیر است. برای مثال در غلظت ۱۰۰ میلیگرم بر لیتر آرسنیک تنها به دو مول سولفات فریک در برابر هر مول آرسنیک طی تصفیه فیزیکی و شیمیایی با استفاده از: انعقاد، ته‌نشینی، صافی و تنظیم pH توسط آب آهک به ۶/۸ نیاز خواهد بود. معمولاً آرسنیک باقیمانده در آب حدود ۵ میلیگرم بر لیتر است. استفاده از این روش تصفیه برای غلظتهای کم آرسنیک نتایج مثبتی نداشته است.

برای حذف غلظتهای کم آرسنیک (کمتر از ۵ میلیگرم بر لیتر) و رساندن غلظت به حد ۰/۰۱ میلیگرم بر لیتر، به ویژه روشهای تبادل یونی راندمان مطلوبی داشته‌اند. برای مثال، در یکی از این روشها ابتدا pH به ۷/۱ تنظیم شده، سپس آب از بستر آلومینای فعال<sup>۱</sup> به ضخامت ۳ فوت با سرعت سه گالن بر دقیقه بر فوت مربع عبور داده می‌شود. این روش قادر است حتی غلظت ۰/۱۰۶ میلیگرم بر لیتر آرسنیک را به ۰/۰۱ میلیگرم بر لیتر تغییر دهد، ظرفیت بستر ۷۰۰۰ گالن بر فوت مکعب است. احیای بستر با محلول سودسوزآور با غلظت یک درصد و متعاقباً شستشوی بستر با اسید سولفوریک ۵/۵ نرمال امکانپذیر است.

شایان ذکر است با استفاده از روشهای متعارف تصفیه آب (انعقاد، لخته‌بندی، ته‌نشینی و صافی) تا ۵۰ درصد آرسنیک حذف می‌گردد؛ ولی در غلظتهای کم آرسنیک این راندمان در حد بسیار زیاد کاهش می‌یابد.

### ۴-۳-۵ کروم

کروم معمولاً در آبهای طبیعی به مقدار خیلی کم یافت می‌شود، وقتی که کروم بیش از حد در آب وجود داشته باشد، آلودگی آب در فاضلابهای صنعتی نشان می‌دهد. ترکیبات کروم به مقدار زیاد در صنایعی نظیر: آبکاری و دباغی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کروم ممکن است به دو صورت ۳ و ۶ ظرفیتی در آب یا پسابهای صنعتی یافت شود. چون وجود کروم به ویژه به صورت کرومات در آب برای بهداشت خطرناک است؛ بنابراین آب برای مصارف عمومی باید عاری از کروم باشد کروم ۶ ظرفیتی سمیت بیشتری از کروم ۳ ظرفیتی دارد و در صورت جذب در بدن دفع آن از طریق کلیه و مقداری از طریق صفرا و پوست انجام می‌گیرد. ضمناً حداکثر مقدار مجاز در آب شرب براساس استاندارد EPA، ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر است.

مهمترین علامت مسمومیت اثر آن بر روی پوست و مخاط است، بدین معنی که در پوست حالتی شبیه به سوختگی ایجاد می‌شود، همچنین مخاط بینی صدمه می‌بیند. از تاثیرات دیگر کروم ۶ ظرفیتی می‌توان به کم خونی، تنگی نفس، احتمال ایجاد سرطانهای ریه، دستگاه گوارش، پروستات اشاره نمود.

---

1 - Activated Alumina

کروم به صورت سه ظرفیتی در pH بیش از ۸ به صورت رسوب هیدروکسید از آب جدا می‌گردد؛ ولی به صورت شش ظرفیتی (که خطرناکتر از کروم سه ظرفیتی است) قابل ته‌نشین شدن نیست. برای حذف کروم شش ظرفیتی ابتدا آن را به کروم سه ظرفیتی احیا می‌کنند و سپس با افزایش pH آن را ترسیب می‌نمایند. مواد احیا کننده که برای احیا کروم معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ عبارتند از: سدیم متابی سولفیت ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )، انیدرید سولفورر ( $\text{SO}_2$ ) و سولفات فرو ( $\text{FeSO}_4$ ). از آنجا که احیا کروم در pH اسیدی باید انجام پذیرد. احیا کننده‌ای که خاصیت اسیدی داشته باشد، مناسبتر است.

### ۵-۳-۵ کادمیوم

این عنصر از لحاظ شیمیایی شباهت زیادی به فلز روی و جیوه دارد. کادمیوم در خاک به صورت سولفید و یا ترکیب با عناصر دیگر که غالباً ناخالصیهای سنگ معدنهای روی، مس و سرب است، یافت می‌شود، همچنین ممکن است به طور طبیعی در نفت خام و یا روغن اتومبیل وجود داشته باشد. منشا اصلی فلزات کادمیوم در محیط به واسطه فاضلاب صنایعی نظیر: آبکاری، پلاستیک سازی، تهیه مواد رنگی، سرامیک سازی، برخی پسابهای عکاسی و غیره است. اخیراً کادمیوم به عنوان یکی از آلوده کننده‌های جدی محیط زیست شناخته شده است. کادمیوم پس از جذب توسط دستگاه گردش خون به تمام نقاط بدن منتقل می‌گردد و تقریباً تمام اعضا آن را دریافت می‌کنند، ولی بیشترین تمرکز در کبد، کلیه و سپس در پانکراس و طحال است. آشامیدن آبی که با کادمیوم آلوده شده باشد، سبب اختلالات گوارش نظیر: درد شکم، قی، گاستریت و چنانچه مدت نسبتاً طولانی مصرف شود، باعث کم خونی، نکروز کبدی، ضایعات کلیوی و سرطان پروستات می‌شود. حداکثر مقدار مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی را سازمان بهداشت جهانی  $0/005$  میلی‌گرم بر لیتر اعلام کرده است. روشهای معمولی حذف این فلز خطرناک همانند سایر فلزات سنگین، رسوبدهی به صورت هیدروکسید، سولفید و روش تعویض است که عمدتاً در صنایع آبکاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۵-۳-۶ سرب

این فلز در صنایع همچون: باطری سازی، تولید پیگمان‌ها، شیشه‌های سربی، تهیه سوخت، عکاسی، مواد منفجره مورد استفاده قرار می‌گیرد. فعالیتهای غیر اصولی مرکز صنعتی و معدنی و همچنین تخلیه زوائد آلوده به این مراکز به محیط زیست (منابع آب، خاک و هوا) باعث آلودگی آنها می‌گردد. سرب یک عنصر سمی و قابل تجمع در بدن انسان است و طی سالیان گذشته خطرات ناشی از آن به اثبات رسیده است، عوارض مسمومیت از سرب (ساتورنیسم) ممکن است به مرور در افرادی که تماس بیشتر با این فلز دارند، ظاهر گردد. سرب یک ماده اصلی و طبیعی بدن نیست، بلکه سمی است که خطر نهایی آن زیاد است؛ زیرا در بدن تجمع می‌کند و به حد دوز کشنده که معمولاً خیلی بالا هم نیست، ممکن است برسد.

مسمومیت با سرب ممکن است خوش خیم و مدت زیادی نامرئی باشد؛ اما چون تدریجاً در بدن تجمع می کند عوارض آن به صورت حاد ظاهر خواهد شد. علائم مسمومیت از سرب و آثار آن عبارتند از: رنگ پریدگی، خستگی، تنفس بد بو و متعفن، فشار خون بالا، یبوست، کم خونی، کم اشتها، آسیبهای کلیوی عصبی، استخوانی و ناراحتیهای گوارشی.

علاوه بر صنایعی که باعث افزایش سرب در محیط می گردند، سرب در آبهای کنار جاده ها به علت آلوده شدن با بنزین که در آن تراتیل سرب وجود دارد به مقادیر قابل توجهی دیده می شود. عمده ترین روشهای حذف سرب همان گونه که اشاره شد، مبتنی بر ایجاد رسوب به صورت هیدروکسید، سولفید و کربنات است. رزین ها هم قابلیت جذب سرب را دارند.

### ۵-۳-۷ جیوه

جیوه یکی از عناصری است که در پوسته زمین فراوانی کمتری دارد. جیوه بیشتر در صنایع الکترونیک، تولید آفتکشها به عنوان ضد عفونی کننده و کاتالیزور مورد استفاده قرار می گیرد. روشهای متداول تصفیه جیوه تشکیل رسوب سولفید، تبادل یونی، انعقاد با آلوم و املاح آهن و جذب توسط کربن فعال است.

طبق توصیه سازمان بهداشت جهانی میزان حداکثر مجاز جیوه در آب آشامیدنی باید  $0/001$  میلی گرم بر لیتر باشد. این فلز به شکل فلزی و به عنوان املاح غیر آلی یکی از مواد تشکیل دهنده پوسته زمین است. مطالعات اخیر نشان می دهد که با صنعتی شدن جوامع به مرور مقدار جیوه در زنجیره غذایی افزایش یافته است. مسمومیت های دسته جمعی و مواردی از مرگ و میر انسانها به وسیله آلودگی آب و غذای مصرفی با ترکیبات این عنصر که معمولاً به دستگاه عصبی صدمه می زند، زیاد مشاهده گردیده است.

تأثیرات عمده جیوه، در صورتی که بیش از حد استاندارد در آب آشامیدنی وجود داشته باشد؛ عبارتند از: خاصیت سمیت، تجمع ترکیبات آن در کلیه، صدمه زدن به مغز، نخاع، اعصاب و آثار موتاژنیکی آن که ایجاد مسمومیت می نماید. در پایان این بخش لازم به ذکر است که معمولاً در طراحی تصفیه خانه های متعارف آب شرب به لحاظ عدم وجود یا ناچیز بودن مقادیر به طور اخص به حذف فلزات سنگین توجه نمی شود. به علاوه حذف فلزات سنگین از آب هزینه زیادی در بر دارد و بهره برداری از تاسیسات مربوطه هم نیازمند مهارت و تخصص بالایی است. در صورتی که منابع آبی آلوده به چنین فلزاتی باشد، بهتر آن است که منابع دیگر آب را جستجو نمود. ولی به هر حال اقدامات باز دارنده زیر هم توصیه می گردد:

- حفاظت موثر از محیط زیست و منابع آب
- جلوگیری از احداث صنایع در مجاورت منابع آب باعث آلودگی می شوند.
- اجبار در احداث تصفیه خانه های فاضلابهای صنعتی برای حذف این گونه آلاینده ها
- احداث سیستم های آبرسانی بهداشتی و تامین آب سالم و کافی برای شرب
- احداث ایستگاههای کنترل منابع، محیط زیست و نظارت بر تداوم کار آنها



کلوروبرم  $Cl^-$  یکی از یونهای اصلی آب و فاضلاب است. کلورورها یعنی ترکیبات کلر با سایر عناصر و رادیکالها مانند  $NaCl$ ،  $KCl$ ،  $CaCl_2$ ،  $MgCl_2$  تقریباً در کلیه آبهای طبیعی یافت می‌شوند و غلظت آنها می‌تواند بسیار متفاوت باشد و این مواد از اجزای پایدار آب هستند.

کلور در طبیعی به طور وسیعی پراکنده است و معمولاً به فرمولهای کلوروسدیم  $NaCl$ ، کلورپتاسیم  $KCl$  و کلورکلسیم  $CaCl_2$  تقریباً ۰/۰۵ درصد لایه لیتوسفر<sup>۲</sup> را تشکیل می‌دهند.

بیشترین مقادیر کلور در آب اقیانوسهاست. وجود کلور در آبهای طبیعی را می‌توان ناشی از انحلال نمک موجود در خاک، معادن نمک، استفاده از نمک به منظور کنترل یخ و برف در جاده‌ها، تخلیه پسابهای صنایع شیمیایی، تخلیه فاضلابها، عملیات حفاری چاههای نفت، زهاب‌های کشاورزی، نفوذ آب دریا به نواحی ساحلی و غیره... دانست. هر یک از این منابع می‌توانند باعث آلودگی آبهای سطحی و آبهای زیرزمینی گردند.

کلور در غلظتهای پایین در آبهای سطحی وجود دارد. در آبهای آلوده نشده کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر است و گاهی هم می‌تواند به حد کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر برسد.

هر گونه افزایش قابل توجه کلور در آب، نشانه‌ای از آلودگی احتمالی به شمار می‌آید. در آب آشامیدنی مزه ایجاد شده به وسیله غلظت کلور متغیر است و بستگی به ترکیبات شیمیایی آن دارد. در بعضی از آبهای حاوی حدود ۲۵۰ میلیگرم بر لیتر کلور چنانچه کاتیون ترکیب شده با کلور، سدیم باشد. مزه شوری در آب احساس می‌گردد؛ ولی اگر کاتیونهای کلسیم و منیزیم فراوانتر باشد، حتی اگر غلظت کلور به ۱۰۰۰ میلیگرم بر لیتر برسد ممکن است مزه شوری احساس نگردد.

طبق استانداردهای بین‌المللی و سازمان بهداشت جهانی WHO حداکثر غلظت مجاز یون کلور ۲۵۰ میلیگرم بر لیتر است. با وجود اینکه کلورها در حد معمول برای سلامت انسان مضر نیستند، ولی مقدار نمک معمولی یا کلور سدیم برای بیماران قلبی و کلیوی باید محدود گردد. گرچه میزان دریافت نمک از آب آشامیدنی در مقایسه با نمک مواد غذایی بسیار کمتر است، ولی با وجود این کوشش می‌شود که غلظت کلورها در آب پایین نگهداشته شود.

1 - Chloride  
2 - Lithospher

تخمین دریافت روزانه کلرور از غذاها به علت استفاده زیاد از نمک طعام به عنوان چاشنی مشکل است، ولی تقریباً دریافت روزانه ۶۰۰ میلی‌گرم کلرور در یک رژیم بدون نمک را می‌توان پیش‌بینی کرد. به علت افزودن نمک به غذاها دریافت متوسط روزانه کلرور ۶ گرم است که ممکن است تا حد ۱۲ گرم نیز برسد. دریافت متوسط روزانه کلرور از آب آشامیدنی تقریباً ۱۰۰ میلی‌گرم است.

کلرور فراوانترین آنیون در بدن انسان است. بدن یک انسان ۷۰ کیلوگرمی شامل: تقریباً ۸۱ گرم کلرور و ۴۵ لیتر آب است. در سوخت و ساز طبیعی بدن روزانه ۹۰ تا ۹۵ درصد از کلرور از طریق ادرار و ۴ تا ۸ درصد از طریق مدفوع و حدود ۲ درصد از طریق عرق از بدن خارج می‌شود.

غلظت کلرور در فاضلابها بیشتر از آب خام است؛ زیرا کلرور سدیم که همواره در برنامه غذایی انسان وجود دارد. بدون تغییر از سیستم هاضمه عبور می‌نماید. وجود کلرور در آب همیشه با منشا معدنی نیست؛ بلکه گاهی اوقات می‌تواند از طریق آلودگیهایی مانند ادرار باشد. چنانچه در یک منطقه جغرافیایی میزان کلروریک چاه نسبت به چاه دیگر مجاور آن از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد می‌توان احتمال آلودگی برای آن آب را تصور نمود. همچنین بالا بودن غیر طبیعی میزان کلرور آب چاه می‌تواند حاصل نفوذ فاضلاب خانگی باشد.

وجود کلرور با غلظت بالا ممکن است به ساختمان لوله‌های فلزی آسیب برساند و همین طور به رشد بعضی از گیاهان صدمه وارد نماید. تحقیق شده است که کلرور بیشتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، اگر به صورت طولانی توسط گیاهان مصرف شود، می‌تواند به گونه‌های حساس به نمک آسیب رساند.

#### ۱-۴-۵ روشهای آزمایش در آب

به چهار روش می‌توان میزان کلرور را در آب تعیین نمود:

الف- روش سنجش حجمی یون کلر به وسیله محلول نیترات نقره ( $AgNO_3$ ) و در مجاورت اندیکاتور کرومات پتاسیم ( $K_2CrO_4$ ) به نام روش Mohr معروف است. به این روش Argentometric Method نیز می‌گویند.

از این روش در مواردی استفاده می‌شود که مقدار یون کلر موجود در حجمی از نمونه که برای اندازه‌گیری برداشته می‌شود بین ۰/۱۵ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد.

ب- روش نیترات مرکوریک  $Hg(NO_3)_2$ : در این روش خاتمه عمل به علت ایجاد کمپلکس ارغوانی مشخصتر است.

ج- روش پتانسیومتریکی: زمانی که نمونه دارای کدورت یا رنگ می‌باشد به کار می‌رود.

د- روش فری‌سیانید: در صورتی که یون کلر زیاد باشد به کار می‌رود.

روشهای اندازه‌گیری ذکر شده، روشهایی است که در کتاب استاندارد متد<sup>۱</sup> پیشنهاد شده است.

1 - Standard Methods for the Examination of water and waste water

## ۲-۴-۵ روشهای کنترل و حذف

برای کنترل و حذف کلرور روشهای زیر را می توان نام برد:

- روش اسمز معکوس
- روشهای تبادل یونی
- تقطیر در خلاء
- الکترو دیالیز

روشهای فوق در بخش حذف مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی توضیح داده شده است.

## ۳-۴-۵ ترکیبات آلی کلردار

بسیاری از ترکیبات آلی کلردار شناخته شده اند که خواص سرطانزایی بعضی از آنها مورد بحث است. بعضی از این ترکیبات بر اثر کلرزی در آب به وجود می آیند.

آبهای سطحی حاوی مقادیری ترکیبات آلی اند که از تجزیه بقایای گیاهی مانند هیومیک اسید که از تخریب برگها، جلبکها و امثالهم ایجاد شده و به جریانهای آب وارد می گردند، به وجود می آیند. با توجه به اینکه برای ضد عفونی و از بین بردن ویروسها و انگلها معمولاً از کلر استفاده می شود، کلر می تواند با مواد آلی باقیمانده در آب ترکیباتی بنام تری هالومتانها تولید کند. تشکیل تری هالومتانها بستگی به غلظت مواد هیومیک در آب دارد. از مهمترین تری هالومتانهای تولیدی در این واکنش کلروفرم ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) است که حدود ۶۰ درصد کل تری هالومتانها را شامل می شود. بسیاری از ترکیبات سمی کلره، آفتکشها و یا محصولات فرعی کارخانجات صنعتی هستند؛ مانند:

PCB (بی فنیلهای پلی کلرینه) - DDT (دی کلرودی فنیل تری کلرواتان) - PAH پلی آروماتیک هیدروکربن (هیدروکربنهای آروماتیک چند هسته ای کلره) - دی اکسین ها و...

بعضی از این ترکیبات سمی برای دهها سال باقی می ماندند و توانایی تحریک سیستمهای بیولوژیکی را که متابولیسم رشد و رفتار را تنظیم می کنند، دارند. این مواد سیستم غدد درون ریز را مختل می سازد و بر دستگاههای مختلف بدن مانند: دستگاه گوارش، تخمگذاری، رفتار جنسی، دستگاه عصبی، فعالیت کبدی، رشد سلولی و سیستم تولید مثل تاثیر می گذارند و زندگی آبزیان و سلامتی انسانها و حیوانات را به خطر می اندازد. با استفاده از ذغال فعال<sup>۱</sup> بعضی مواد آلی فوق الذکر را تا حد زیادی می توان در آب تقلیل داد. تری هالومتانها از ترکیباتی هستند که تا حد زیادی جذب کربن فعال می گردند.

---

1 - Activated Carbon

## ۵-۵ فلئورورها

عنصر فلئور به صورت فلئورور و یا فلئور ترکیب شده در پوسته زمین به فراوانی یافت می‌شود، بخصوص در سنگهای آذرین و رسوبی به میزان قابل توجهی دیده می‌شود. مواد معدنی عمده حاوی فلئور به صورت  $(\text{Na}_3\text{AlF}_6)$  بنام «کریولیت»،  $(\text{CaF}_2)$  و به نام «فلورسپار» و بالاخره  $[\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6]$  و به نام «فلوراپاتیت» در طبیعت وجود دارند. نهشته‌های حاوی فلئور در طبیعت تنها یکی از منابع فلئور هستند؛ در حالی که گروه وسیعی از صنایع در فاضلابها و یا گازهای متصاعد شده از فرآیندهای خود فلئور را به طبیعت اضافه می‌نمایند. برای مثال صنایع کود شیمیایی، فسفات‌سازی، صنایع فولاد، ریخته‌گری فلزات غیر آهنی و بالاخره صنایع کاشی سازی را می‌توان نام برد.

### ۱-۵-۵ خواص شیمیایی و تاثیرات

آبهای زیرزمینی در مقایسه با آبهای سطحی دارای فلئور بیشترند. حداقل فلئور در آب به ویژه به لحاظ جلوگیری از پوسیدگی دندانها و حداکثر فلئور در آب به دلیل ایجاد فلئوروسیس و یا ایجاد لکه بر روی دندانها اهمیت دارد غالب مطلوب فلئور در آب آشامیدنی بین  $1/5-0/6$  میلیگرم بر لیتر است. حداکثر مجاز فلئور در آب آشامیدنی در غالب استانداردهای بهداشت عمومی برابر  $1/5$  میلیگرم بر لیتر است؛ ولی حد مسموم کننده آن کمتر از  $115$  میلیگرم بر لیتر گزارش شده است. در غلظتهای بیش از  $1/5$  میلیگرم بر لیتر امکان ایجاد "فلئوروسیس" (لکه بر روی دندانها) وجود دارد.

### ۲-۵-۵ روش اضافه نمودن فلئور

به منظور کنترل پوسیدگی دندانها از اضافه نمودن مصنوعی ترکیبات فلئوردار<sup>۱</sup> به آب آشامیدنی در تصفیه‌خانه‌های آب استفاده می‌شود، هرچند که خیلی از منابع آب به صورت طبیعی دارای فلئور به حد کافی اند و نیازی به اضافه نمودن فلئور اضافی نیست. ترکیباتی که در این فرآیند کاربرد دارند؛ عبارتند از:

سدیم فلوراید  $\text{NaF}$

سدیم سیلیکو فلوراید  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$

هیدرو فلورو سیلیسیک اسید  $\text{H}_2\text{SiF}_6$

هیدرو فلوریک اسید  $\text{HF}$

آمونیم سیلیکو فلوراید  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$

کاربرد ترکیبات فلوئوردار در واحدهای تصفیه آب به ویژه کاربرد سیستم فلوراید (NaF) مستلزم استفاده از دستگاههای تغذیه مواد شیمیایی جامد خاصی است. بدین سبب انجمن آب آمریکا (AWWA) اندکس خاصی را به نام "اندکس تغذیه" برای ارزیابی سهولت تغذیه مواد شیمیایی فلوئوردار پیشنهاد نموده است. اندکس تغذیه برای سدیم سیلیکو فلوراید برابر است با:

$$F = 100 - (A + B + 10C)$$

F = اندکس تغذیه

A = درصد سدیم "سیلیکو فلوراید" که بر روی الک شماره ۱۰۰ باقی می ماند.

B = "درصد سدیم سیلیکو فلوراید که از الک شماره ۳۲۵ عبور می نماید.

C = درصد رطوبت سدیم سیلیکو فلوراید

اندکس بیشتر از ۸۰ نشانه امکان تغذیه بدون دشواری برای سدیم سیلیکوفلوراید است.

### ۳-۵-۵ روش تصفیه

روشهایی که برای حذف فلوئور در آبهای آشامیدنی به کار گرفته می شود؛ عبارتند از:

- استفاده از تصفیه فیزیکی و شیمیایی با کاربرد آهک اضافی در صورتی که به میزان کافی منیزیم در آب وجود داشته باشد.
- برای مثال در یکی از موارد ۳/۳ میلیگرم بر لیتر فلوراید را می توان به ۱/۰ میلیگرم بر لیتر کاهش داد؛ در صورتی که در ۱۰۰ میلیگرم لیتر منیزیم در آب رسوب داده شود. در این روش به سبب آنکه همیشه در آب منیزیم به حد کافی وجود ندارد، لذا کاربرد منیزیم اضافه ضرورت پیدا می نماید.
- استفاده از تصفیه فیزیکی و شیمیایی با کاربرد آپاتایت کربناته ( $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6$  ،  $\text{CaCO}_3$ )
- عبور دادن آب از بستر تماس حاوی آلومینای فعال ۲
- عبور دادن آب از بستر تماسی حاوی کرین فعال، سنگهای منیزیم دار، تری کلسیم فسفات و یا تری منیزیم فسفات، شستشو مجدد با آب و سپس شستشو با محلول سودسوزآور برای تبدیل فلوئورور کلسیم غیر محلول به فلوئورور سدیم محلول و شستشوی بعدی با آب و سپس با محلول اسید کربنیک برای تنظیم pH به ۷
- شیوه های مختلف تبادل یونی
- استفاده از روس اسمز معکوس

1 - Feedability Index

2 - Activated Alum ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

#### ۴-۵-۵ دشواریهای بهره‌برداری

فلوئورزدایی با استفاده از روشهای فیزیکی و شیمیایی فوق‌الذکر دارای پیچیدگی خاصی نیست؛ ولی استفاده از شیوه‌های پایلوت قبل از طرح سیستم تصفیه توصیه شده است؛ زیرا کیفیت آب خام در استفاده از انواع تصفیه موثر است و ضوابط طراحی از طریق مطالعات پایلوت قابل تعیین خواهد بود.

#### ۶-۵ سولفات و سولفورها

گوگرد در آبهای سطحی و زیرزمینی به دو صورت اکسیده شده (سولفات) و یا احیا شده (سولفور) یافت می‌شود. احیای ترکیبات گوگردار به سولفورها همراه با تشکیل گاز سولفید هیدروژن یا اسید سولفیدریک است که از منابع اصلی بو و مزه در آبها و همچنین عامل خوردگی در مصارف صنعتی آب است. سولفات کلسیم به نوبه خود یکی از عوامل رسوب‌گذاری در مصارف آب آشامیدنی است.

#### ۱-۶-۵ روش تصفیه

حذف گاز هیدروژن سولفور آبهای زیرزمینی توسط هوادهی ممتد مقدور است. در pH کمتر از ۶ گوگرد به صورت هیدروژن سولفور وجود خواهد داشت و در pH بیش از ۸ گوگرد به صورت HS و یا یون گوگرد ظاهر می‌شود؛ بدین علت در این pH فشار گاز هیدروژن سولفور محلول در آب ناچیز و به تبع آن بو و مزه نامطلوب ناشی از آن به حداقل می‌رسد.

حذف یون سولفات توسط فرآیند اسمز معکوس مقدور است. راندمان این فرآیند در غالب واحدهای تصفیه در حد قابل توجهی بوده است. سیستمهای تبادل یونی با لایه‌های ویژه حذف آنیونها به ویژه در حذف ترکیبات سولفات راندمان چشمگیری داشته‌اند. در موارد متعددی از مکانیزم جذب سطحی با کاربرد پودر کربن فعال برای حذف ترکیبات آلی سولفات استفاده شده است.

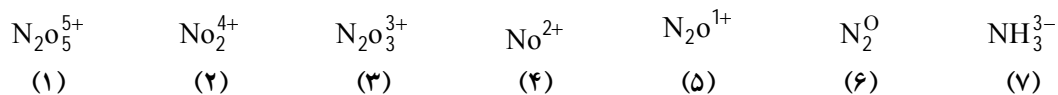
#### ۷-۵ نیتراتها

نیتراتها هم در آبهای سطحی و هم در آبهای زیرزمینی ممکن است، وجود داشته باشند. وجود نیتراتها در آبهای سطحی بر تماس آب با مواد آلی پروتئینه در فاصله دوری دلالت می‌کند، بدین شکل که مواد آلی حاوی پروتئین در طی گذر از رودخانه و تحت تاثیر فعل و انفعال بیوشیمیایی اکسیده شده و نهایتاً به نیترات مبدل می‌شوند. وجود نیتراتها در لایه‌های زمین موجب انحلال این مواد معدنی در آبهای زیرزمینی در هنگام تماس آب زیرزمینی با این لایه‌ها می‌شوند.

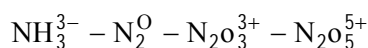
به جز وجود نیتراتها در طبیعت، فاضلابهای صنعتی و شهری یکی از منابع اضافه شدن نیترات به آبهای پذیرنده سطحی و زیرزمینی اند. به عنوان مثال صنایع کود شیمیایی، غذایی، رنگ را می توان نام برد.

### ۵-۷-۱ خواص شیمیایی و تاثیرات

از دیدگاه شیمی معدنی ازت به شکل هفت ظرفیت متفاوت شامل:



وجود دارد. از میان حالات فوق حالت‌های ۳، ۴ و ۶ فاقد اهمیت از نظر سیستمهای بیولوژیکی هستند؛ ولی حالات دیگر مانند:



به ویژه حائز اهمیت اند،  $N_2O_3$  و  $N_2O_5$  ایندریدهای اسید نیترو و اسید نیتریک هستند. وجود نیترات در آب آشامیدنی در غلظتهای بیش از ۴۵ میلیگرم بر لیتر موجب بیماری «مت هموگلوبینمیا»<sup>۱</sup> در میان نوزادان کمتر از ۶ ماه می‌گردد؛ بدین لحاظ در تهیه مواد غذایی کودکان، آب مصرف شده نباید بیش از حد فوق‌الذکر حاوی نیترات باشد.

### ۵-۷-۲ روش تصفیه

میزان نیتراتها در آبهای طبیعی معمولاً در غلظتهای بالا دیده نمی‌شود، با وجود این در برخی موارد در آبهای سطحی و زیرزمینی آلوده در حد بیش از ۶۰ میلیگرم بر لیتر به صورت ازت آلی یافت می‌گردد. به منظور تقلیل و یا حذف نیتراتها از روشهای تصفیه‌ای مانند: تبادل یونی و یا اسمز معکوس استفاده می‌شود. این روشها معمولاً دارای هزینه نسبتاً زیادی است و در مواردی که محدودیت منابع آب وجود دارد، کاربرد دارند. از روشهای جدید، الکترودیالیز را می‌توان نام برد که از نظر عملکرد شباهت زیادی به اسمز معکوس دارد؛ با این تفاوت که نیروی محرکه یونها برای عبور از پرده مشبک را اختلاف سطح الکتریکی به صورت جریان مستقیم تشکیل می‌دهد و از اختلاف فشار استاتیکی لازم برای فرآیند اسمز معکوس استفاده نمی‌شود.

---

1 - Methemoglobinemia

## ۸-۵ تری هالومتانها

حاصل ترکیب شیمیایی کلر با برخی از مواد آلی موجود در آب ترکیباتی اند که اصطلاحاً تری هالومتان نامیده می‌شوند. اصولاً کلر و ترکیبات آن ضد عفونی کننده موثری برای سالم سازی آب به منظور جلوگیری از شیوع غالب بیماریهای عفونی است. در کشورهای در حال توسعه درصد عمده‌ای از مرگ و میرها ناشی از بیماریهای مربوط به آب آلوده است؛ لذا استفاده از کلر و ترکیبات آن اهمیت ویژه‌ای کسب نموده است. شایان ذکر است که بیماریهای ناشی از مصرف آب آلوده به کشورهای در حال توسعه محدود نمی‌شود، به عنوان مثال در کشور ایالات متحده آمریکا حدود ۷۰/۰۰۰ مورد ابتلا از این گونه بیماریها در ۲۳۵ بار شیوع بیماریهای عفونی بین سالهای ۱۹۸۳-۱۹۷۸ توسط سازمان بهداشت جهانی "WHO" گزارش شده است. بدین سبب نقش کلر در سالم سازی آب در سطح جهانی اهمیت بسزایی دارد و در نتیجه مسئله "تری هالومتان" نیز در رابطه با استفاده از کلر در سالهای اخیر رخ نموده است.

از سال ۱۹۷۰ تاکنون غالب مسئولان بهداشت در کشورهای مختلف در سطح جهان در تکاپوی شناخت ترکیبات آلی کلره، تقلیل غلظت این گونه ترکیبات و تعیین استانداردهای ویژه برای آنها بوده‌اند. علت اصلی این مساعی کشف تری هالومتانها در آب آشامیدنی و همچنین احتمال سرطانزایی غالب آنها بوده است. در جهان کنونی منابع آب هر روز آلوده‌تر از روز پیش می‌شوند و در نتیجه به استفاده از کلر برای سالم سازی آب نیاز بیشتری احساس می‌گردد که متأسفانه همراه با تولید بیش از پیش تری هالومتانها نیز است.

### ۱-۸-۵ شناخت و ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی کلر به مواد آلی طبق استاندارد کشور اروپایی "بلژیک، آلمان، ایرلند، ایتالیا، لوگزامبورگ، انگلستان" به سه گروه به شرح ذیل تقسیم شده‌اند:

- تری هالومتانها
  - هیدروکربنهای کلردار فرار سنتز شده
  - سایر ترکیبات آلی کلردار (فرار و غیر فرار سنتز شده)
- در میان تری هالومتانها (THMs) و یا کل تری هالومتانها (TTHMs) ترکیبات آلی ذیل تاکنون شناخته شده‌اند.

CHCl <sub>3</sub>	- تری کلرومتان (کلروفرم)
CHBr Cl <sub>2</sub>	- برومودی کلرومتان
CHBr <sub>2</sub> Cl	- دی بروموکلرومتان
CHBr <sub>3</sub>	- تری برومتان (بروموفرم)
CHCl <sub>2</sub> I	- دی کلرویدومتان



CHBr CII	- برومو کلرویدومتان
CHCl <sub>2</sub>	- کلرو دی‌یدومتان
CHBr <sub>2</sub> I	- دی برومویدومتان
CHBrI <sub>2</sub>	- برومو دی‌یدومتان
CHI <sub>3</sub>	- تری‌یدومتان (یدوفرم)

چنانچه ملاحظه می‌گردد، ترکیبات فوق ناشی از فعل و انفعال کلر، برم و ید به عنوان سه هالوژن با مواد آلی است. خوشبختانه چهارمین هالوژن و یا فلوئور در ترکیبات تری هالومتان‌ها هیچ گونه نقشی ندارد. ترکیبات آلی فوق در واقع ناشی از ترکیب هالوژن‌های یاد شده با متان هستند؛ ولی تا جایی که وجود تری هالومتانها در آب مربوط می‌شود، ترکیب کلر با برخی از ترکیبات آلی آب که اصطلاحاً "اسیدهای هیومیک" نامیده می‌شوند و ناشی از فساد گیاهان در آب می‌باشد به ویژه مورد توجه بوده است. اسیدهای هیومیک اصطلاحاً پیش‌سازها<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند و تشکیل تری‌هالومتانها در رابطه ساده زیر خلاصه شده است:



بدین ترتیب، لازم است بیشترین توجه را به منابع آب سطحی مانند: آب رودخانه‌ها، دریاچه و برکه‌ها معطوف نمود و سیستمهای آبرسانی را که در پیش کلرزی در بخشهای مختلف آن بدون استفاده از سایر روشهای متعارف تصفیه آب به کار گرفته می‌شود، مورد توجه قرار داد. در واقع تری‌هالومتانها از زمانی که کلر برای ضد عفونی آبهای آشامیدنی به کار گرفته شد، در این گونه آبها وجود داشتند؛ ولی به سبب نبودن تکنولوژی لازم برای شناخت آثار بهداشتی، اندازه‌گیری و حذف آنها تنها این اواخر اهمیت ویژه‌ای کسب نمودند. در میان تری‌هالومتانها، کلروفرم به عنوان زیانبارترین تری‌هالومتانها شناخته شده است. زیرا در تحقیقات آزمایشگاهی عامل ایجاد سرطان در حیوانات بوده است. از ده تری‌هالومتانها فوق‌الذکر، کلرو فرم و برومودی کلرومتان از فراوانترین تری‌هالومتانها در آب‌اند. دی بروموکلرومتان و بروموفرم نیز در موارد زیادی در آب دیده شده است؛ ولی دی کلرویدومتان به ندرت وجود داشته و به طور کلی سایر تری‌هالومتانها کمتر دیده شده‌اند.

به عنوان مثال، در سال ۱۹۷۵، سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) طی برنامه ویژه‌ای نوع تری‌هالومتانها و غلظت آنها را در آبهای آشامیدنی بررسی نمود. نتایج این بررسی نشان داد که کلروفرم با غلظت بیش از ۱۰۵ میکروگرم بر لیتر در ۱۰ درصد سیستمهای آبرسانی وجود داشته است. شایان ذکر است شناسایی تری‌هالومتانها با تکنولوژی آزمایشگاهی موجود با دشواری همراه است و اصولاً شناخت پیش‌سازها به سهولت امکانپذیر نیست، بدین علت در روشهای شناسایی به جای پیش‌سازها به وجود مواد آلی در آب تکیه می‌شود؛ در حالی که ارتباط پیش‌سازها با کل مواد آلی آب همچنان در ابهام مانده است.

به طور کلی میزان کلروفرم در بررسیهای فوق‌الذکر در آمریکا بین ۰/۲ تا ۳۱۱ میکرو گرم بر لیتر با میانگین ۲۰ میکرو گرم بر لیتر بوده است.

1 - Humic Acid  
2 - Precursors

در یکی دو دهه اخیر بررسیهای متعددی در مورد شناسایی، تعیین حدود و آثار بهداشتی تری‌هالومتانها انجام پذیرفته است در میان آنها نتایج حاصل از بررسی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) و همچنین بررسی سازمان بهداشت جهان "WHO" از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

نتایج بررسی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در مورد تری‌هالومتانها در سال ۱۹۷۹ انتشار یافت و به صورت پیوستی به مقررات ملی آب آشامیدنی آمریکا ضمیمه شد. خلاصه این نتایج به قرار ذیل است:

○ هیچ‌گونه سندی که دلالت بر آثار زیانبار کوتاه مدت تری‌هالومتانها بر سلامت افراد کند، به دست نیامد؛ ولی در استفاده از آب آلوده به کلروفرم در غلظت زیاد و برای مدت طولانی به وسیله موشهای آزمایشگاهی، اثر سرطانزایی مشاهده شد.

○ چنانچه آب آشامیدنی آلوده به کلروفرم با غلظت بیش از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر توسط افراد در مدت زمان طولانی مانند هفتاد سال به صورت روزمره در حد دو لیتر در روز مصرف شود، امکان خطر برای سلامت افراد وجود خواهد داشت.

○ نظر به اینکه غلظت بالای کلروفرم در آنها در جوندگان ایجاد سرطان می‌نماید، بنابراین تا جای ممکن از نظر اقتصادی و فنی باید غلظت این ترکیب شیمیایی در آب آشامیدنی به حداقل رسانده شود.

○ در حال حاضر حداکثر غلظت تری‌هالومتانها ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر در آب آشامیدنی تعیین می‌شود؛ ولی با تحقیقاتی که در جریان است، ممکن است حدود جدیدی برای این منظور تعیین گردد.

در سال ۱۹۸۳ موسسه آمریکایی یاد شده (EPA) برای شهرهایی با جمعیت بیش از ۷۵۰۰۰ نفر، حد غلظت تری‌هالومتانها در آب آشامیدنی را معادل ۱۰۰ppb تعیین نمود؛ ولی این غلظت برای شهرهای ۷۵۰۰۰-۱۰/۰۰۰ نفر توصیه نشد و تعیین حد غلظت تری‌هالومتانها برای این گونه شهرها به عهده ارگانهای ذی‌ربط ایالتی گذارده شد سازمان بهداشت جهانی در بررسیهای خود چنین نتیجه گرفت:

○ در میان تری‌هالومتانها، کلروفرم، برومودی کلرومتان، دی کلروبرومومتان و بالاخره بروموفرم بیش از سایر ترکیبات در آبهای آشامیدنی دیده می‌شوند. غلظت چهار ترکیب یاد شده در آبهای آشامیدنی تا میزان ۱۰۰۰ میکروگرم بر لیتر دیده شده، ولی غالباً کمتر از ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر است.

○ کلروفرم عامل سرطان در دو گونه از حیوانات آزمایشگاهی است. تری‌هالومتانهای حاوی مختصر بروم، در طول مدت حیات حیوانات آزمایشگاهی آثار سرطانزایی نشان داده‌اند.

○ حد قابل قبول غلظت کلروفرم در آب آشامیدنی ۳۰ میکروگرم بر لیتر است.

چنانچه در بخشهای قبل ذکر گردید، عامل اصلی تشکیل تری هالومتانها در آب آشامیدنی ترکیب کلر با پیش سازها است. وجود "پیش سازها" در آبهای سطحی دلالت بر وجود مواد آلی از نوع اسیدهای هیومیک می نماید که در عملیات تصفیه متعارف آب آشامیدنی با کلر به کار رفته برای سالم سازی آب، ترکیب شده و حاصل این فعل و انفعالات تری هالومتانها هستند.

به منظور جلوگیری از تشکیل تری هالومتانها لازم است، میزان مواد آلی موجود در آب تصفیه نشده را قبل از به کارگیری کلر به حداقل رسانند. معمولاً مواد آلی موجود در آب خام طی عملیات متعارف تصفیه آب مانند: انعقاد، لخته بندی، ته نشینی و صاف سازی تا حدود زیادی از آب حذف می گردند. بنابراین روش کلرزنی در رابطه با تشکیل تری هالومتانها اهمیت ویژه ای کسب می نماید. معمولاً استفاده از کلرزنی قبل از تصفیه آب (پیش کلرزنی) در طی عملیات تصفیه (قبل از ته نشینی و یا صاف سازی) و بالاخره پس از خاتمه تصفیه متعارف (پس از صاف سازی) انجام می پذیرد.

در عملیات پیش کلرزنی حداکثر امکان تشکیل تری هالومتانها وجود دارد، چرا که مواد آلی خام به راحتی با کلر ترکیب و تری هالومتانها تشکیل می شوند که امکان حذف آنها در عملیات تصفیه محدود است و در حد قابل توجهی در آب تصفیه شده باقی می ماندند. بنابراین به منظور جلوگیری از تشکیل تری هالومتانها لازم است از پیش کلرزنی تا حد امکان اجتناب نمود و به جای آن کلرزنی در طی عملیات تصفیه قبل از ته نشینی به منظور جلوگیری از رشد آنگها و مساعدت به رفع بو و مزه و یا قبل از صاف سازی انجام گردد. بدین ترتیب غالب مواد آلی در عملیات ته نشینی از آب حذف می شوند. در برخی از واحدهای تصفیه آب از پیش کلرزنی به صورت شوک<sup>۱</sup> استفاده می شود که در تقلیل غلظت تری هالومتانها نتایج مطلوبی به بار نیاورده است. کلرزنی پس از صاف سازی حداقل امکان برای تشکیل تری هالومتانها را به وجود می آورد؛ زیرا غالب مواد آلی موجود در آب طی عملیات: انعقاد، لخته بندی و ته نشینی از آب حذف شده در هنگام صاف سازی آب، بخش باقی مانده مواد آلی نیز جذب لایه های صافی می شوند و بالمآل حذف می گردند. بدین ترتیب در آب تصفیه شده حداقل مواد آلی باقی خواهد ماند و در نتیجه حداقل تری هالومتان در عملیات سالم سازی به وجود خواهد آمد.

حذف تری هالومتانها از آب طی عملیات تصفیه به سهولت امکان پذیر نیست؛ ولی فرآیندهایی مانند: جذب کربنی، هوادهی و استفاده از اوزون و دی اکسید کلر نتایج بالنسبه رضایت بخشی داشته اند.

جذب کربنی با استفاده از پودر کربن فعال و یا کربن فعال دانه ای در حذف تری هالومتانها بسیار موثر است، به ویژه آنکه علاوه بر تری هالومتانها که طی عملیات جذب حذف می شوند، سایر مواد آلی نامطلوب نیز از آب حذف می گردند. استفاده از کربن فعال دانه ای همراه با هزینه بسیار و دقت کافی در بهره برداری است، چرا که لازم است لایه جاذب در فواصل کوتاه تعویض و یا احیا شده و در هنگام بهره برداری میزان جذب به دقت کنترل شود.

1 - Shock Prechlorination

استفاده از هوادهی برای حذف کلروفرم نتایج مطلوب داشته است. باید توجه داشت چنانچه به منظور بهبود بو و مزه در آب، هوادهی پس از کلر زنی انجام پذیرد، بخش اعظمی از کلروفرم تشکیل شده به هوا متصاعد شده و از آب حذف می‌گردد. برخی از واحدهای تصفیه به منظور جذب آهن، منگنز و سولفید هیدروژن اقدام به هوادهی می‌شود این گونه هوادهی در حذف کلروفرم نقشی ندارد؛ زیرا عمل هوادهی قبل از تشکیل کلروفرم انجام شده است.

جایگزین نمودن کلر در عملیات سالم‌سازی با اوزون و یا دی‌اکسید کلر در جلوگیری از تشکیل تری‌هالومتانها و یا حذف آنها موثر بوده است؛ ولی به سبب هزینه بسیار، باقیمانده عامل ضد عفونی در سیستم و بالاخره، مواد تشکیل شده اضافی دشواریهای متعددی به میان آمده است. شایان ذکر است تشکیل مواد سمی مانند کلراتها در استفاده از دی‌اکسید کلر محتمل است. آنچه همه دست‌اندرکاران تصفیه آب بر آن متفق‌القول‌اند؛ این است که ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش جلوگیری و حذف تری‌هالومتانها دقت در به کارگیری انعقاد، لخته‌بندی و ته‌نشینی برای حذف "پیش‌سازها" است. لازمه این کار به کارگیری ضوابط دقیق طراحی، انتخاب عوامل انعقاد و یا کمک عوامل انعقاد موثر و بالاخره، کنترل دقیق بهره‌برداری است.

#### ۹-۵ مواد فعال سطحی و پاک‌کننده‌ها (دترجنتها)

ماده فعال سطحی به ماده‌ای اطلاق می‌شود که دارای خاصیت تقلیل کشش سطحی با سطحی که با آن در تماس است. می‌باشد. کم شدن کشش سطحی به صورت ایجاد کف، تقویت خاصیت پخش شونده‌گی مایعات بر سطح جامدات، معلق شدن جامدات در مایعات و بالاخره تشکیل امولسیون (ایمولژن) ظاهر می‌شود.

مواد فعال سطحی در تولید پاک‌کننده‌ها و مواد آرایشی کاربرد وسیعی پیدا کرده است و بر حسب خاصیت فعالیت سطحی مورد نیاز در پنج گروه ذیل قابل تقسیم‌اند:

- پاک‌کننده‌ها که برای حذف مواد جامد از سطوح و یا چرک‌زدایی کاربرد دارند. پودرهای پاک‌کننده، شامپو و صابونهای آرایشی از این گروهند.
  - خیس‌کننده‌ها که برای تقویت خیس‌کنندگی در رنگ مو و لوسیونهای ویژه آرایش موها به کار گرفته می‌شوند.
  - کف‌سازان که برای ایجاد کف زیاد در شامپوها و یا لوسیونهای ویژه استحمام کاربرد دارند.
  - ایجادکنندگان امولسیون که برای تقویت خاصیت تشکیل امولسیون در کرمهای پوست و یا مو مصرف می‌شوند.
  - حلال‌ها که برای تقویت خاصیت حلالیت برخی از مواد مانند: عطرها و یا اسانسها به کار گرفته می‌شوند.
- خواص فوق‌الذکر تنها به یک گروه خاص تعلق ندارد؛ بلکه هر ماده فعال سطحی به درجاتی دارای این خواص است.

## ۱-۹-۵ انواع مواد فعال سطحی

کلیه مواد فعال سطحی دارای خاصیت مولکولی آمفی پاتیک<sup>۱</sup> هستند؛ بدین شکل که بخشی از مولکول آبدوست<sup>۲</sup> و بخش دیگر آبگریز<sup>۳</sup> است. بخش آبدوست معمولاً از گروههای قطبی<sup>۴</sup> مانند کربوکسیلها، سولفاتها و سولفوناتها و یا در حالت مواد فعال سطحی غیر یونی، شماری از گروههای هیدروکسیل و اترها تشکیل شده است. بخش آبگریز را معمولاً هیدروکربنهای زنجیره ای و یا حلقوی و یا مخلوطی از هر دو تشکیل می دهد. خاصیت دوگانه این مولکولها عامل اصلی جذب سطحی آنهاست.

مواد فعال سطحی بر حسب نوع مصرف، خواص فیزیکی و یا خواص شیمیایی تقسیم بندی می شوند. هیچ یک از این تقسیم بندیها رضایتبخش نبوده است؛ لذا این مواد بر حسب رفتار یونی آنها در محیطهای آبی در چهار گروه تقسیم بندی شده اند که شرح آنها در پی آمده است.

### ۱-۱-۹-۵ گروه آنیونی

مواد فعال سطحی آنیونی آن دسته از مولکولهایی اند که یون فعال سطحی آنان در محیط آبی دارای بار منفی است؛ نمونه بارز این گروه صابون  $C_{17}H_{33}COO - Na$  و یا سدیم اولئات<sup>۵</sup> است. این گروه بر حسب اتصال گروه آنیونی به بخش آبگریز ملکول به زیر گروههای متعددی تقسیم می شود. (جدول شماره ۳-۵)

جدول شماره ۳-۵ مواد فعال سطحی آنیونی (ANIONIC SURFACTANT)

1- Anionic groups connected directly to the hydrophobic unit	۱- گروههای آنیونی متصل به واحد آبگریز
2- Anionic groups connected through ester links	۲- گروههای آنیونی متصل به ریشه های استری
3- Anionic groups connected through ether links	۳- گروههای آنیونی متصل به ریشه های اتری
4- Anionic groups connected through amide links	۴- گروههای آنیونی متصل به ریشه های آمیدی
5- Anionic groups connected through amidine links	۵- گروههای آنیونی متصل به ریشه های آمیدین

- 1 - Amphipatic
- 2 - Hydrophil
- 3 - Hydrophob
- 4 - Polar
- 5 - Sodium Oleate

۲-۱-۹-۵ گروه کاتیونی

مواد فعال سطحی کاتیونی دارای یونهای فعال سطحی بوده که در محیط آبی دارای بار مثبت است (جدول شماره ۴-۵)

جدول شماره ۴-۵ مواد فعال سطحی کاتیونی (CATIONIC SURFACTANT)

1- Simple quaternary ammonium salts in which the nitrogen is attached directly to the hydrophobic unit	۱- نمکهای آمونیوم چهار تایی ساده که در آن ازت مستقیماً به بخش آبگریز متصل شده است.
2- Cationic group separated from the hydrophobic group	۲- گروههای کاتیونی جدا شده از گروه آبگریز
3- Cationic group located in a heterocyclic ring	۳- گروههای کاتیونی جای گرفته در یک حلقه آبدوست
4- Non- nitrogenous cationic surfactants	۴- مواد فعال سطحی کاتیونی غیرازته
5- Dicationic surfactants	۵- مواد فعال سطحی دو کاتیونی

۳-۱-۹-۵ گروه غیر یونی

در این گروه بخش آبدوست ملکول معمولاً از مجموعه‌ای از گروههای دو قطبی بدون شارژ تشکیل شده است، گروههای هیدروکسیل و یا اتر وابسته به زنجیره اتیلن اکساید را به عنوان مثال می توان نام برد (جدول شماره ۵-۵)

جدول شماره ۵-۵ مواد فعال غیر یونی (NONIONIC SURFACTANT)

1- Alkylamino acids	۱- اسیدهای الکیل آمینه
2- Acylamino acids	۲- اسیدهای آسیل آمینه
3- Alkyl imidazolines	۳- الکیل ایمیدازولین‌ها

۴-۱-۹-۵ گروه آمفولیتیک

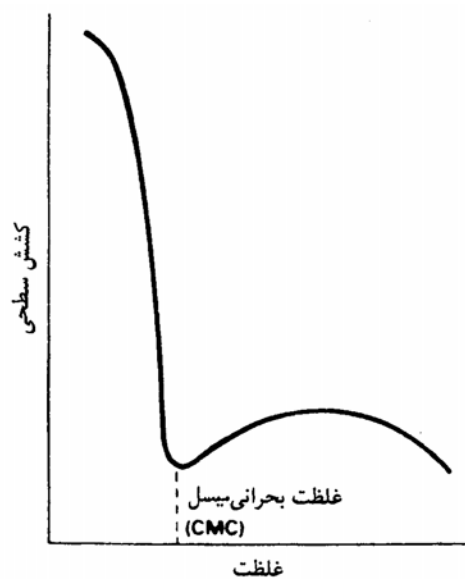
این گروه قادرند یونهای فعال سطحی را که دارای بارالکتریکی مثبت و منفی اند تشکیل دهند (جدول شماره ۶-۵).

جدول شماره ۵-۶ مواد فعال سطحی آمفولیتیک (Ampholytic)

1- Alkanolamides	۱- آلکانولامیدها
2- Polyethyleneglycol derivatives	۲- مشتقات پلی اتیلن گلیکول
3- Polyethyleneimine derivatives	۳- مشتقات پلی اتیلن ایمین

۵-۹-۲ خواص مواد فعال سطحی

خاصیت عمده مواد فعال سطحی تغییر خاصیت فعال سطحی آنها در رابطه با غلظت این مواد در آب است. برای مثال، وقتی غلظت سدیم دودسیل سولفات ( $C_{12}H_{25}OSO_3Na$ ) در آب ازدیاد می‌یابد، کشش سطحی محلول، کشش بین سطوح و بالاخره هدایت الکتریکی نیز کاهش می‌یابد. در حد معینی از غلظت با ازدیاد غلظت، خواص یاد شده تغییری نمی‌یابد. این حد، غلظت بحرانی میسل<sup>۱</sup> و یا CMC نامیده می‌شود (شکل شماره ۵-۴).



شکل ۵-۴ نمونه تغییرات کشش سطحی نسبت به غلظت برای یک ماده فعال سطحی

براساس فرضیه مک‌بین<sup>۲</sup>، کشش سطحی با ازدیاد آنیون کاهش می‌یابد تا حد CMC که آنیونها به صورت گروه و یا میسل در خواهند آمد. میسل‌ها به شکل کروی‌اند که در آنها انتهای آبگریز مولکول به طرف مرکز کره و انتهای آبدوست آن به سمت خارج متمایل است؛ مثلاً میسل در دودسیل سولفات از دسته‌ای از  $C_{12}H_{25}$  که به سوی مرکز کره و دسته‌ای از  $OSO_3$  به طرف خارج رانده شده‌اند تشکیل شده است.

1 - Critical Micelle Concentration

2 - Mc Bain

این پدیده اصطلاحاً «قابلیت حل کردن»<sup>۱</sup> نیز نامیده می‌شود و توسط این خاصیت میسل‌ها قادر به انحلال مواد آلی غیر قابل انحلال در آب هستند.

به طور کلی وقتی کشش سطحی کاهش می‌یابد، کشش سطحی بین سطوح<sup>۲</sup> نیز کاهش یافته و در نتیجه خاصیت امولسیون تقویت می‌شود که یکی از خواص بارز پاک‌کنندگان در زدودن لکه‌های ناشی از مواد آلی غیر قابل حل در آب از پارچه و یا سایر سطوح است. اصولاً در غلظتهای مافوق CMC کلیه مواد فعال سطحی دارای خاصیت «قابلیت حل کردن» به درجات مختلف هستند.

### ۵-۹-۳ کاربرد پاک‌کننده‌ها

اصولاً پاک‌کنندگی فرآیند پیچیده‌ای است که در آن خیس شدن، برطرف کردن لکه‌های چرب، ایجاد امولسیون مواد چرب و تثبیت امولسیون انجام می‌پذیرد.

برای نظافت پوست، صابون هنوز هم بهترین پاک‌کننده است و بر حسب عادت کف زیاد در هنگام مصرف مطلوب است، هر چند که اثر کیفی چندانی ندارد. ازدیاد کف معمولاً از ازدیاد میزان اسیدهای چرب یا مولکولهای خطی در ترکیب صابون میسر می‌گردد. همه مواد فعال سطحی دارای خاصیت خیس‌سازی است. زنجیر کوتاه  $C_{12}$  الکیل سولفات‌ها، الکیل اتر سولفات‌ها و بالاخره الکیل اریل سولفونات‌ها برای این خاصیت کاربرد دارند.

برای ایجاد کف زیاد و پردوام از سدیم لاریل اتر سولفات (SLES) استفاده می‌شود که توسط الکانولامید تقویت می‌گردد.

غالباً ایجاد امولسیون به واحد آب گریز بلند بستگی دارد. صابون هنوز هم یکی از بهترین ایجادکننده امولسیون است و تهیه آن نیز به سهولت مقدور است. پاک‌کننده‌های غیر یونی نیز دارای خاصیت امولسیون‌سازی‌اند. همه مواد فعال سطحی در غلظتهای مافوق CMC دارای خاصیت «قابلیت حل کردن» هستند، این خاصیت ممکن است بر اثر وجود الکترولیت در آب تقویت شود؛ زیرا وجود الکترولیت موجب تقلیل CMC می‌شود که به جای خود باعث بهبود این خاصیت می‌شود. در برخی اوقات الکترولیت‌ها موجب شکستن امولسیون شده که در این صورت خاصیت فوق تضعیف می‌گردد. همه پاک‌کنندگان کاتیونی دارای خاصیت باکتری‌زدایی‌اند. انتخاب مواد فعال سطحی برای مصرف معینی به سادگی مقدور نیست. اندازه‌گیری میزان کشش سطحی، کشش بین سطحی، حجم کف، پاک‌کنندگی، خیس‌کنندگی، تولید امولسیون به ارزیابی کاربری این گونه مواد کمک می‌نماید؛ ولی آنچه در آزمایشگاه مشاهده می‌شود معمولاً در عمل اطمینانبخش نیست.

---

1 - Solubilization

2 - Interfacial Tension



## ۴-۹-۵ آثار بیولوژیکی پاک کننده‌ها

### ۱-۴-۹-۵ آثار بهداشتی

مواد فعال سطحی دارای خاصیت سمی شدید نیستند. پاک کننده‌های آنیونی از طریق جدا کردن چربیهای طبیعی، پوست را تحریک می‌کنند و ایجاد سرخ شدن، درد و درماتیت (التهابات پوستی) می‌نمایند و حتی در افراد حساس پوسته پوسته شدن و تاول زدن پوست را سبب می‌شوند. مصرف خوراکی این مواد اسهال، نفخ و تورم روده را سبب می‌شود. حد خطرناک این مواد بین ۸-۲ گرم بازاء هر کیلوگرم وزن بدن گزارش شده است. در بین پاک کننده‌ها، نوع کاتیونی بیش از سایر انواع سمی است و حد خطرناک آن بین ۵۰-۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن تخمین زده شده است و این نوع پاک کننده‌ها به راحتی جذب شده و در بسیاری از اعمال سلولی تداخل می‌کنند.

پاک کننده‌های غیر یونی سمیت کمتری نسبت به سایر گروه‌ها دارند؛ به طوری که حد خطرناک آن بیش از ۵ گرم برای هر کیلوگرم وزن بدن گزارش شده؛ ولی مصرف مقادیر زیاد آن از طریق خوراکی مضر است. تحقیقات متعددی در مورد تاثیر پاک کننده‌ها بر روده‌ها، لنفوسیت انسان و بالاخره سرطانزایی این مواد انجام پذیرفته، ولی نتایج متقنی به دست نیامده است. تاثیر مواد پاک کننده در جلوگیری از فعالیت آنزیمها در برخی موارد غیر فعال نمودن آنها تایید شده است. پاک کننده‌های کاتیونی به ویژه موجب تضعیف متابولیسم باکتریها از طریق دخالت در فعالیت آنزیمی آنها می‌شوند و در غلظت زیاد نیز سبب تجزیه پروتئین گشته مرگ باکتریها را موجب می‌گردند.

### ۲-۴-۹-۵ آثار زیست محیطی

به سبب اینکه مواد پاک کننده در حد وسیعی مصرف می‌شوند و همراه با فاضلابها به آبهای پذیرنده راه می‌یابند؛ بررسی آثار این مواد بر روی ماهیها و آبزیان اهمیت ویژه‌ای کسب نموده است. تاثیر پاک کننده‌ها به طور عمده بر گوش ماهیها و در نتیجه خرابی آن بر اثر کاهش کشش سطحی تایید شده است. تحقیقات متعددی در خصوص تاثیر مواد پاک کننده روی بافتهای ماهیها، اثر سمی آنها بر روی نوزادان ماهی تا کنون انجام پذیرفته است. یکی از راههای ورود فسفات به آبها، تخلیه فاضلابهای حاوی مواد پاک کننده است. تاثیر فسفات بر رشد الگها و آثار سوء آن موضوع بررسیهای زیادی بوده است؛ بدین سبب جایگزینی فسفات در تهیه پاک کننده‌ها در سالهای اخیر مورد توجه ویژه قرار داده شد، ولی این جایگزینی با توفیق چندانی همراه نمی‌باشد؛ چرا که تاثیرات سوء دیگری بر کیفیت آب پذیرنده بر جای می‌نهد.

## ۵-۹-۵ تجزیه بیولوژیکی

استفاده روز افزودن از مواد پاک کننده به جای صابون یکی از مسائل تصفیه فاضلابهای خانگی بوده است؛ زیرا برخی از مواد پاک کننده توسط باکتریهای موجود در فاضلاب و در تصفیه بیولوژیکی آن تجزیه نمی‌شوند و در نتیجه بدون هرگونه تغییری همراه با فاضلاب به آبهای پذیرنده راه می‌یابند. بدین علت تجزیه پذیری بیولوژیکی مواد پاک کننده از نظر استانداردهای تخلیه فاضلاب اهمیت ویژه‌ای کسب نموده است. عموماً مواد پاک کننده‌ای که دارای مولکولهای زنجیره‌ای خطی‌اند، از نظر بیولوژیکی تجزیه پذیرند. بنابراین صابونها، الکلهای چرب خطی، الکیل سولفاتها، اترسولفاتها، استرهای سوکروز، الکل فسفاتها و بالاخره الکالامیدهای چرب جملگی از نظر بیولوژیکی در غالب استانداردها، تجزیه پذیر قلمداد می‌شوند. پاک کننده‌های غیر یونی از نوع اکسید اتیلن از نظر تجزیه پذیری بیولوژیکی مشکوک‌اند، هر چند که عده‌ای بر این عقیده‌اند که الکیل فنل اتیلن اکساید از نظر بیولوژیکی تجزیه پذیر است. الکلهای چرب تجزیه پذیرند؛ ولی با ازدیاد اکسید اتیلن در آنها این خاصیت را از دست می‌دهند. برخی اکسوسولفاتهای الکل و اتوکسیلاتها نیز از نظر بیولوژیکی تجزیه پذیرند، اما با ازدیاد شاخه‌ها در مولکول آنها تجزیه پذیری آنها کاهش می‌یابد. غالب کارخانه‌های تولید کننده مواد فعال سطحی جزییات تجزیه پذیری بیولوژیکی محصولات خود را در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهند.

## ۶-۹-۵ تشخیص میزان مواد پاک کننده در آب

بر حسب نوع مواد فعال سطحی و میزان غلظت آن در آب و فاضلاب روشهای آزمایشگاهی متعددی پیشنهاد شده است. از میان این روشها، روش استاندارد متیلن بلو برای اندازه‌گیری غلظت پاک کننده‌های آنیونی بیش از سایر روشها کاربرد داشته است. این روش متکی بر تشکیل املاح آبی رنگی است که از تاثیر بلودومتیل بر روی مواد فعال سطحی آنیونی ایجاد می‌شود و الکیل سولفاتان خطی و الکیل سولفاتها را نیز شامل می‌گردد. بدین سبب به موادی که از این طریق غلظت آنها تعیین می‌گردد، MBAS<sup>۱</sup> گفته می‌شود. جزییات این آزمایش و تداخل مواد آلی و معدنی در آن در غالب روشهای استاندارد آزمایشگاهی یافت می‌شود (کتاب استاندارد متد). همچنین سایر روشهای آزمایشگاهی برای تعیین مقدار انواع مواد فعال سطحی در استانداردهای آزمایشگاهی در دسترس‌اند.

---

1 - Methulen Blue Active Substance

## ۵-۱۰ سموم دفع آفات و علف کشها

نظر به پیچیدگی و اهمیت موضوع و نیز نیاز به تخصصهای خاص لازم است که این بخش به صورت جداگانه با دعوت از متخصصان مربوطه مورد بررسی قرار گیرد.

## ۵-۱۱ مواد رادیو اکتیو

مواد رادیو اکتیو در آب به سه صورت ذیل با درجات متفاوت یافت می‌شوند:

- ذرات الف<sup>۱</sup> به صورت اتم هلیوم فاقد الکترون‌اند که معمولاً سرعت آنها به  $10^6$  متر بر ثانیه می‌رسد. به سبب وزن نسبی زیاد ذرات الف<sup>۱</sup>، قدرت نفوذ این ذرات محدود است؛ ولی چنانچه مواد آلوده به این ذرات خورده شوند، فوق‌العاده زیانبارند.
- ذرات بتا<sup>۲</sup> که از الکترونها با انرژی زیاد و دارای سرعتی معادل سرعت نور حاصل می‌شوند. به سبب اندازه کوچک ذرات میزان نفوذ آنها نسبت به ذرات الف<sup>۱</sup> بیشتر، ولی از نظر آسیب سازی کم خطرند.
- اشعه گاما<sup>۳</sup> که به صورت تشعشعات الکترو مغناطیسی با قدرت نفوذ بیشتر و تاثیر محدود نسبت به سایر عوامل رادیو اکتیو است.

اشعه بتا حاصل وجود ایزوتوپیهای مانند: رادیوم ۲۲۶، رادیوم ۲۲۸ و استرونیوم ۹۰ است؛ ولی ایزوتوپیهای رادیوم نام برده به ویژه منبع اصلی ذرات الف<sup>۱</sup> و اشعه گاما شناخته شده‌اند.

## ۵-۱۱-۱ منابع آلودگی رادیو اکتیویته

منبع آلودگی رادیو اکتیویته به صورت طبیعی در زمین در برخی نقاط وجود دارند که مآلاً موجب آلودگی آبهای زیرزمینی می‌شوند. فضولات دفن شده رادیو اکتیو و یا تخلیه فاضلابهای صنایع هسته‌ای به ویژه حاوی مواد رادیو اکتیو هستند که در آبهای سطحی و زیرزمینی پس از تخلیه سوء اثر دارند.

## ۵-۱۱-۲ خواص شیمیایی و تاثیرات

ذرات و تشعشعات در هنگام تماس با مواد رادیو اکتیو در بدن نفوذ نموده و موجب تغییراتی در پروتوپلاسم سلولها خواهند گردید. این تغییرات موجبات تشکیل ملکولها و مواد دیگری را فراهم می‌نمایند که به جای خود

---

1 - Alpha Particles  
2 - Beta Particles  
3 - Gamma Particles

تغییرات بیولوژیکی دیگری را سبب می‌شوند، تشعشعات ممکن است بدون هرگونه صدمه‌ای از سلول عبور نمایند؛ ولی چنانچه تغییراتی را در سلول ایجاد کنند و سلول تغییر یافته به صورت طبیعی ترمیم نیابد، تکثیر می‌یابند و تغییرات دراز مدتی مانند: ایجاد سرطان، صدمات ژنتیکی و ارثی را سبب می‌شوند. این تغییرات به عوامل ذیل بستگی دارند:

- میزان و نوع اشعه جذب شده
- سرعت جذب اشعه
- حدود جذب در بدن
- حساسیت نسبی سلولها در بخشهای مختلف بدن
- وضعیت تغذیه و متابولیسم

حداکثر مجاز رادیو اکتیویته طبق استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا (EPA) در جدول ذیل خلاصه شده است:

ماده آلوده کننده	حداکثر آلودگی (پیکوکوری بر لیتر)
<u>به صورت طبیعی:</u>	
رادیوم ۲۲۶ و رادیوم ۲۲۸	۵
ذرات الفا شامل رادیوم ۲۲۶ بجز رادون و اورانیوم	۱۵
<u>بر اثر فعالیتهای انسانی:</u>	
تریتیوم	۲۰۰۰۰
استرونیوم ۹۰	۸
ذرات بتا	۵۰

\* کوری برابر است با ایجاد  $3/7 \times 10^{10}$  ذره و یا فتون بر ثانیه.

### ۵-۱۱-۳ روش تصفیه

روش حذف مواد رادیو اکتیو به کیفیت آب خام، ویژگیهای سیستم تصفیه و بالاخره هزینه عملیات تصفیه بستگی دارد و مهمترین عامل در انتخاب نوع تصفیه میزان لجن حاصل و انتخاب روش دفن لجن است. در میان روشهای تصفیه استفاده از آب آهک و کربنات سدیم برای رسوب دادن هسته‌های رادیو اکتیو<sup>۱</sup> و همچنین سیستمهای تبادل یونی در حذف رادیوم کاربرد نسبتاً وسیعی دارند.

روش تبادل یونی با کاربرد زئولایت در حد وسیعی برای حذف سیزیوم ۱۳۷ به کار گرفته شده است. برای بازیابی زئولایت از محلول نترات سدیم با غلظت ۷ مول بر لیتر استفاده می‌شود.

صاف کردن آب حاوی مواد رادیو اکتیو توسط فیلترهایی با لایه‌های طبیعی مانند: خاک و یا گل مونت موریلونایت موجب حذف استرونیوم ۹۰ در حد ۹۶ درصد و کبالت ۶۰ به میزان ۹۹ درصد شده است. روشهای تصفیه مانند: انعقاد با سولفات آلومینیوم، لخته‌بندی با کمک سیلیس فعال و پولیمرهای غیر یونی، ته‌نشینی، تبادل یونی کاتیونی و آنیونی و بالاخره استفاده از کرین فعال نیز راندمان بسیار خوبی در حذف هسته‌های اتمی داشته‌اند.

## ۱۲-۵ سیانور

سیانورها مانند: سیانور سدیم (NaCN) و یا اسید سیانیدریک (HCN) در سطح وسیعی به عنوان مواد صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که pH محلول برابر ۸ یا پایین‌تر باشد، بیشتر به صورت هیدروژن سیانید یا اسید سیانیدریک در می‌آید که سمیت بیشتری دارد. این ماده در فاضلاب صنایعی همچون: کک‌سازی، کارخانه ذوب‌آهن و نورد، استخراج سنگهای معدنی، عملیات عکاسی و اکثر صنایع آبکاری یافت می‌شود. آثار عمده سیانور روی انسان عبارت است از: ایجاد مسمومیت و اختلال جذب اکسیژن در سلولها. روشهای متداول برای حذف سیانور عبارتند از: کلریناسیون در pH بالا، تجزیه الکترولیتیکی، اکسیداسیون توسط اوزن (اوزناسیون) و بازیابی به وسیله تبخیر. روشهای دیگری از جمله اسمز معکوس، سیستم تعویض یونی و روش اکسیداسیون کاتالیتیک (فلزی) هم اخیراً مورد توجه قرار گرفته‌اند. حداکثر مقدار مجاز سیانور در آب آشامیدنی طبق توصیه سازمان بهداشت جهانی ۰/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر است.

## ۶- روشهای حذف مواد شیمیایی نامطلوب در آب آشامیدنی

طرح واحدهای تصفیه آب ابتدا با شناخت دقیق از کیفیت آب خام آغاز می‌شود و سپس با تامین آب با کیفیت مطلوب و مطابق با استانداردهای پذیرفته شده خاتمه می‌یابد. بنابراین شناخت اولیه کیفیت آب و تجزیه و تحلیل عوامل کیفی از اقدامات اساسی در تعیین نوع عملیات تصفیه است. شناخت کیفیت لازم است در رابطه با منابع آب و همچنین در ارتباط با تغییرات فصلی انجام پذیرد؛ زیرا ممکن است نتوان تنها به یک نوع تصفیه بسنده نمود و انواع روشهای دیگر به منظور حذف عوامل شیمیایی نامطلوب ضرورت پیدا نماید. این روشها ممکن است جملگی در طول سال به کار گرفته شوند و یا در فصول مختلف بر حسب تغییرات کیفی و ضرورت تصفیه برخی از روشها در عملیات تصفیه به کار روند.

## ۶-۱ سختی زدایی

### • تعاریف

سختی آب، خاصیتی از آب است که اساساً ناشی از وجود کربنات‌ها و کلرورها و سولفات‌های کلسیم و منیزیم است و مانع تولید کف فراوان به وسیله صابون می‌شود (W.H.O.).

سختی کربناتی آب ناشی از انحلال کربنات‌ها یا بیکربنات‌های کلسیم و منیزیم است. سختی غیر کربناتی آب ناشی از وجود املاح کلسیم و منیزیم، بجز کربنات و بیکربنات آنها است.

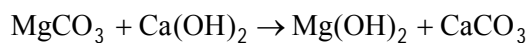
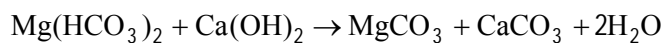
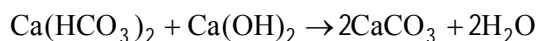
کربنات کلسیم در آب به مقدار کم حل می‌شود و گاز کربنیک موجود در آب که به صورت گاز محلول در آب مشاهده می‌شود، طبق واکنش شیمیایی زیر کربنات کلسیم را به بیکربنات کلسیم تبدیل می‌کند و بدین ترتیب حالت تعادلی بین بیکربنات و کربنات‌ها به وجود می‌آورد که به هم خوردن تعادل مزبور با خارج کردن گاز کربنیک که تحت عنوان گاز کربنیک آزاد خوانده می‌شود سبب خواهد شد که بیکربنات کلسیم تبدیل به کربنات کلسیم شده و با رسوب کردن از محیط خارج شود.



## ۶-۱-۱ سختی زدایی با مواد شیمیایی

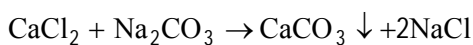
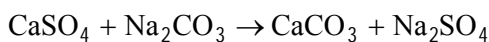
### • سختی زدایی با آهک و کربنات سدیم

اگر آهک را خشک و به صورت پودر در آب وارد کنیم؛ ترکیب آهک با آب گرمازا است و واکنش شیمیایی با سرعت بیشتری پیشرفت خواهد کرد و چنانچه شیر آهک یا آب آهک در آب وارد کنیم، قابلیت تنظیم مقدار آهک بهتر میسر می‌شود و در نتیجه عمل سختی زدایی با مراقبت بهتری اجرا خواهد شد که واکنشها به شرح زیر است:



با توجه به واکنشهای فوق، از سختی آب آن قسمتی که ناشی از کربنات و بیکربناتهای کلسیم و منیزیم باشد، بر اثر آهک افزوده شده حذف خواهد شد؛ ولی آن قسمت از سختی آب که سختی غیر کربناتی گفته می‌شود در محیط باقی خواهد ماند.

برای حذف سختی غیر کربناتی آب، باید محیط را قلیایی کرد که در این صورت "کربنات سدیم" در محیط افزوده می‌شود و واکنشهای شیمیایی به شرح زیر ادامه خواهد داشت تا کلیه کلسیم و منیزیم فلزات سنگین موجود در آب را، راسب نماید.



کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم که در این واکنشها تولید می‌شوند جزء ترکیبات کم محلولند. و در شرایط عمل که به خوبی تنظیم شده باشد به میزان قابل توجه از آب جدا می‌شوند؛ ولی نمی‌توان انتظار داشت که کلیه سختی آب حذف شده باشد و به هر حال مقداری از سختی باقی خواهد ماند. مقدار این باقیمانده در شرایط محیط گرم، کمتر از شرایط عمل در حرارت عادی خواهد بود. چنانچه آب آهک توام با کربنات سدیم مصرف شود، در شرایط محیط مساوی از نظر حرارت مقدار سختی باقیمانده به نصف مقادیر با آهک خواهد رسید و اصل مهم در سختی‌زدایی با آهک یا به کمک سودا و آهک تنظیم مواد شیمیایی است که به میزانی مصرف شود که زیادی از آن باقی نماند و pH محیط را تا ۱۰/۵ برساند و مقدار یون سدیم نیز در صورت کاربرد آب در سیستمهای گرمایشی و دیگ بخار تاثیر سویی در سیستم نداشته باشد.

#### ۶-۱-۲ راهبری تاسیسات سختی‌زایی با آهک

عطف به واکنشهای شیمیایی که قبلاً اشاره شد، ترکیبات نامحلولی را که در اثر افزودن آهک و یا آهک با سودا، تولید خواهد شد شامل: سولفات کلسیم، کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم نامحلول و بسته به ترکیب شیمیایی آب مقداری کلرور کلسیم و کلرور سدیم و سولفات سدیم و اضافی کربنات سدیم به صورت محلول خواهد بود.

به منظور اینکه بتوان راهبری دستگاه سختی‌زدایی را به نحو مطمئن انجام داد، ضرورت دارد که کیفیت آب خام قبلاً شناسایی و ضمن عمل نیز مرتباً اندازه‌گیری شود تا بتوان آب را با کیفیت مطلوب به سیستم مصرف انتقال داد. لازم است توجه شود که در مورد آب مورد نیاز برای مصارف شرب و مصارف عمومی شهری نباید از

کربنات سدیم استفاده نمود؛ بلکه باید مقدار آهک بیش از حد لازم تزریق شود و سپس برای پس گرفتن آن با تزریق "گاز کربنیک" اقدام شود که فرآیند مورد استفاده تحت عنوان Excess Lime Treatment و تزریق گاز کربنیک تحت عنوان Recarbonisation نامگذاری شده است. سختی‌زدایی در شرایط pH نزدیک ۱۰/۵ خواهد بود و اقدامات نیز بهتر است با آزمایش آب و شناسایی ترکیب شیمیایی آن انجام گیرد.

### ۳-۱-۶ شناسایی ترکیب آب

آبهایی که دارای سختی بالاتر از حد متعارف و توصیه استانداردها برای مصارف عمومی شهری و آب آشامیدنی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، معمولاً آب چاه یا آب چشمه‌سار خواهند بود و در هر حال بهتر است قبل از هر اقدامی با اجرای آزمایشهای شیمیایی و فیزیکی، ترکیب فرضی آب مشخص گردد. بدین منظور آب در محل دریافت در تاسیسات تصفیه نمونه‌گیری و مورد آزمایش قرار می‌گیرد و اگر آزمایش در محل مقدور نیست، سریعاً برای آزمایش به آزمایشگاه ارائه تا آزمایش زیر اجرا شود:

- ارقام مورد نیاز به صورت آزمایش در محل دریافت آب
- رقم pH، قلیائیت کل، سختی کل، درجه حرارت آب و درجه حرارت هوا
- ارقام مورد نیاز در صورت ارجاع به آزمایشگاه
- رقم pH، قلیائیت کل، سختی کل، کلسیم، منیزیم و سدیم، آنیونهای کلرور و سولفات و نترات

### ۱-۳-۱-۶ استفاده از ارقام آزمایش

الف- در صورتی که pH آب بالاتر از رقم ۸/۲ باشد، آب دارای کلرینات‌های قلیایی است و گاز کربنیک آزاد وجود ندارد.

ب- در صورتی که رقم pH پایین‌تر از ۸ باشد، گاز کربنیک آزاد در آب مورد بحث وجود دارد و با استفاده از فرمول زیر محاسبه و مقدار آن تعیین می‌شود:

$$\text{Log CO}_2 = \text{Log (Alk)} - \text{PH} + 6/29$$

که در آن مقدار (Alk) قلیائیت کل آب بر حسب کربنات کلسیم به میلی‌گرم در هر لیتر و مقدار CO<sub>2</sub> به میلی‌گرم در هر لیتر به دست خواهد آمد.

چنانچه آزمایشگاه قلیائیت آب را به واحد "میلی‌گرم در لیتر CaO" داده باشد، فرمول به شکل زیر قابل استفاده است:

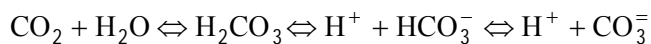
$$\text{Log CO}_2 = \text{Log (Alk)} - \text{PH} + 6/54$$



در رابطه ریاضی فوق شرایط محیط و حرارت آب موثر واقع می‌شود. خطای محاسبه در شرایط عادی که ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتیگراد و رقم pH، ردیف پایین‌تر از ۸ است، نزدیک به یک درصد است. چنانچه شرایط عمل با ارقام فوق تطبیق ننماید، بهتر است با استفاده از نمودارهای استاندارد مقدار گاز کربنیک آزاد تعیین شود.

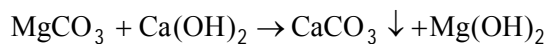
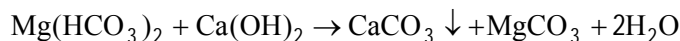
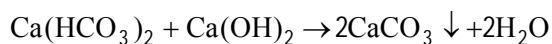
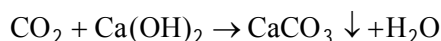
#### ۶-۱-۳-۲ محاسبه مقادیر آهک و کربنات سدیم مورد نیاز

شرایط محیط برای حذف گاز کربنیک آزاد موجود در آب، بسته به غلظت آن در محلول بوده و تابع شرایط زیر است:

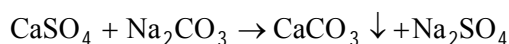
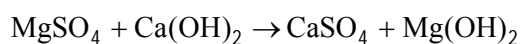
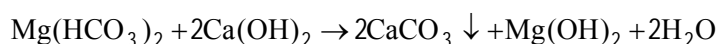


چنانچه ملاحظه می‌شود، در شرایطی که غلظت گاز کربنیک محلول زیاد است، ممکن است که موازات افزایش غلظت، رقم pH آب به ۴/۵ نزدیک شود که در این صورت اسید کربنیک که در محلول موجود است، به صورت یون ئیدروژن و یون بیکربنات در می‌آید؛ ولی با تغییر رقم pH به طرف رقم ۸ یون بیکربنات به یون کربنات تبدیل خواهد شد. وجود گاز کربنیک به مقدار زیاد، خاصیت خوردگی در آب را تشدید می‌کند. از طرفی چنانچه منظور ادامه قلیایی کردن آب و رسیدن pH و رقم بالاتر از ۸ باشد، با تشکیل یون کربنات، کلسیم موجود در آب به صورت کربنات کلسیم راسب خواهد شد و رسوب کربنات کلسیم در مسیر جریان ایجاد مزاحمت خواهد کرد. بنابراین در عمل باید رویه‌ای اتخاذ شود که شرایط محیط برای مصرف مورد نیاز مناسب باشد. به طور کلی روابطی که در این زمینه از نظر پیشبرد واکنشهای شیمیایی وجود دارد، به شرح زیر است:

#### الف - استفاده از آهک



در صورتی که آهک به مقدار بیش از اندازه مصرف شود و یا کربنات سدیم به کار گرفته شود واکنشها به صورت زیر خواهد بود:



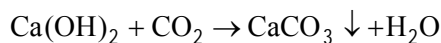
از روابط شیمیایی فوق نتیجه‌گیری می‌شود که آهک افزوده شده در محیط خواه به صورت خشک و خواه محلول در آب، به صورت هیدروکسید کلسیم عمل خواهد کرد و سپس با بیکربنات کلسیم ترکیب می‌شود و کلسیم را به صورت کربنات کلسیم رسوب خواهد داد.

نتیجه می‌گیریم که یک اکی والان گرم آهک، با یک اکی والان گرم گاز کربنیک و یا با یک اکی والان گرم بی‌کربنات کلسیم ترکیب خواهد شد؛ ولی چون یون منیزیم را نمی‌توان به صورت کربنات رسوب داد، مقدار آهک لازم در مقابل منیزیم دواکی والان به ازای هر اکی والان از ترکیبات منیزیم خواهد بود.

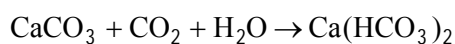
در مورد سختی غیر کربناتی نیز اگر املاح کلسیم و منیزیم در محیط داشته باشیم، همان طور که برای سولفات منیزیم نشان داده شده است، به ازای هر یک اکی والان از املاح مزبور یک اکی والان آهک مورد نیاز خواهد بود.

یون کلسیم به خوبی در واکنش شیمیایی شرکت خواهد کرد و در شرایط گفته شده در بالا pH محیط به ۱۰/۳ می‌رسد، لیکن منیزیم در pH بالاتری رسوب می‌کند و نیاز به افزودن مقدار بیشتری آهک در محیط دارد و به جای هر یک اکی والان گرم منیزیم ۱/۲۵ اکی والان گرم آهک مصرف می‌شود.

در مواردی که مقدار آهک بیش از اندازه لازم به مصرف برسد و از به کار گرفتن کربنات سدیم که در سختی‌زدایی آب آشامیدنی آن از آن استفاده نخواهد شد، اجتناب شود، موضوع تزریق گاز کربنیک برای حذف زیادی آهک پیش خواهد آمد که واکنش آن به شرح زیر خواهد بود:



که در این مورد نیز مقداری از کربنات کلسیم مجدداً در مقابل اسید کربنیک حاصل از انحلال گاز کربنیک در آب به صورت محلول در می‌آید تا کلسیم مورد نیاز آب آشامیدنی را تامین کند:



علاوه بر کلیه ضوابط فوق چنانکه قبلاً نیز اشاره شد، سختی‌زدایی با آهک نمی‌تواند آب تصفیه شده را با سختی صفر ارائه نماید و مقدار سختی باقیمانده بعد از صاف سازی آب (گذرانیدن از فیلتر) در حدود ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر کربنات کلسیم خواهد بود که شامل سختی کلسیمی و منیزیمی است و رقم pH آب نیز باید در نهایت تصحیح و تنظیم شود؛ به طوری که از ۹/۵ بالاتر نباشد که با تزریق گاز کربنیک مقذور خواهد بود.

ب- مواد شیمیایی و موارد استفاده در تصفیه و نمکزدایی آب

بعضی از مواد شیمیایی که غالباً در تصفیه آب و سختی‌زدایی یا نمکزدایی آب به کار برده می‌شوند، مشروحاً در جدول زیر نشان داده شده و خواصی که ذکر شده یا موارد استفاده آنها در صنعت آب و سیعتر از آن است که در جدول آمده است:

نام مواد شیمیایی	فرمول و نام شیمیایی	وزن مولکولی	قابلیت انحلال در حرارت 20°C درصد وزنی	درجه خلوص متعارف و موارد استفاده
آهک زنده Quick Lime	CaO اکسید کلسیم	۵۶/۱	۰/۲	۹۰ درصد CaO سختی‌زدایی آبها و حذف گاز کربنیک آزاد
آهک آب دیده (کشته) Hydrated Lime	Ca(OH) <sub>2</sub> هیدروکسید کلسیم	۷۴/۱	۰/۲	۹۳ درصد Ca(OH) <sub>2</sub> سختی‌زدایی آبها و حذف گاز کربنیک آزاد
آهک دو لومیتی Dolomitie Lime	CaO MgO	متغیر	متغیر	برای سختی‌زدایی و حذف سیلیس ۵۸ درصد CaO و ۴۰ درصد MgO
اکسید منیزیم "منیری" Magnesium Oxide	MgO	۴۰/۳	کم محلول (۰/۰۰۲)	برای حذف سیلیس ۹۵ درصد MgO
Soda Ash Sodium Carbomate	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> کربنات سدیم	۱۰۶	۲۱/۵	برای کمک در سختی‌زدایی ۹۸ تا ۹۹ درصد Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
زاج Alumenium Sulfate	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> و H <sub>2</sub> O زاج آلومینیوم سولفات آلومینیوم	۶۶۶	۷۱	لخته سازی مواد معلق در حرارت متعارف ۱۴/۵ تا ۱۷/۵ درصد Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
زاج سیاه	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> سولفات آهن سه ظرفیتی	۴۰۰	قریب ۳۰	لخته‌سازی مواد معلق در حرارت متعارف ۷۰ تا ۹۰ درصد Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
آلومینیوم سدیم Sodium Aluminate	Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	۱۶۴	۴۰	۴۶ درصد Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub> و ۳۱ درصد
کلور سدیم Cacium Chloride	CaCl <sub>2</sub>	۱۱۰	۷۴	برای کاستن قلیائیت و تصحیح pH آب گرانول: ۷۵ درصد CaCl <sub>2</sub> و اگر پرک باشد ۷۸ درصد CaCl <sub>2</sub>

## ۶-۲ جذب سطحی (ذغال فعال)<sup>۱</sup>

آبهای خام معمولاً حاوی مقادیری مواد آلی هستند که غلظت این مواد در آب خام سطحی بیشتر از آب خام استحصالی از سفره آبهای زیرزمینی است.

مواد آلی مثل مواد هیومیک، مواد آلی فاضلابی و مواد نفتی و میکرو ارگانسیمها و نتایج فعالیتهای آنها در مسیر عبور جریان آب به آن اضافه می‌گردد و هر چند در مراحل پالایش آب در تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی مانند: مرحله ضد عفونی کردن (اکسیداسیون) و زلال‌سازی (انعقاد- لخته‌بندی و ته‌نشینی) تا حدودی حذف می‌گردند. لیکن حذف کامل و رضایتبخش این مواد در فرآیندهای عادی و معمولی پالایش میسر نیست و در مرحله ضد عفونی کردن آب بخصوص با افزودن کلر و مشتقات موثر آن، ممکن است ترکیبات نامطلوب سمی و سرطانزای جدیدی (بسته به نوع آلودگیها) را سبب گردند که برای سلامت مصرف کنندگان خطرهای جدی در بر دارد. هر گروه از ترکیبات آلی از نظر سلامت حائز اهمیت فراوانی هستند.

- برخی از ترکیبات آلی فرعی ناشی از کلریناسیون آب حاوی مواد آلی طبیعی مانند: تری هالومتانها که حتی در مقادیر سرجمع (۱۰۰ ppb) سرطانزا هستند (به بخش ۵-۸ مراجعه شود).
  - ترکیبات آلی ناشی از فعالیتهای انسانی مانند انواع سموم دفع آفات، حلالها، دترجنتها و نظایر آنها که عمدتاً از طریق فاضلابهای شهری، پسابهای صنعتی و کشاورزی وارد منابع آب می‌گردند.
- به طوری که اشاره شد، نظر به اینکه در فرآیندهای معمول پالایش آب این مواد تا حد استانداردهای لازم حذف نمی‌گردند، لازم است از روشهای موثرتری بهره‌گیری شود، روش جذب این مواد به وسیله ذغال فعال روش مناسبی در این زمینه است که در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

### ۶-۲-۱ روش جذب

این روش براساس جذب سطحی انجام می‌گیرد. به طور کلی جذب قابلیت است که بعضی از مواد از جمله ذغال فعال نسبت به ثابت کردن ملکولهای آلی موجود در مایعات یا گازهایی که ذغال فعال در آن غوطه‌ور است که از خود نشان می‌دهد؛ این فرآیند در واقع انتقال جرم از فاز مایع یا گاز به سطح جامد است که بستگی به عوامل زیر دارد:

- سطح ماده جاذب
- مواد جاذب طبیعی مانند: خاک رس سطح نسبتاً کوچکی در حدود ۵۰ تا  $200 \text{ m}^2/\text{g}$  دارد و مواد جاذب صنعتی به طور معمول سطحی بیشتر از  $300 \text{ m}^2/\text{g}$  را ایجاد می‌نمایند.
- یک ذغال فعال با کیفیت خوب می‌تواند سطحی در حدود ۷۰۰ تا  $1500 \text{ m}^2/\text{g}$  را تولید کند.
- نوع ذغال فعال

---

1- Activated Carbon

- نوع و غلظت مواد آلی محلول
- ویژگیهای هیدرو دینامیکی تبادل بخصوص زمان تماس بین دو فاز مایع و جامد
- انرژی پیوندهای مواد شیمیایی و میل ترکیبی آنها: در این زمینه فاکتورهای pH و درجه حرارت موثر است و در محیط اسیدی جذب مواد آلی مزاحم به وسیله ذغال فعال تسهیل می‌گردد.
- ذغال فعال معمولاً به صورت پودر و دانه‌ای به بازار عرضه می‌شود.
- ذغال فعال معمولاً از آنتراسیت<sup>۱</sup> - قیر<sup>۲</sup> - ذغال نرم<sup>۳</sup> - استخوان<sup>۴</sup> و خون - ذغال سنگ<sup>۵</sup> و چوب<sup>۶</sup> تهیه می‌گردد.
- ذغال فعال طیف گسترده‌ای از مواد را بر روی خود جذب می‌کند؛ به طوری که اغلب ملکولهای آلی بر روی آن جذب می‌شوند و به علاوه میکرو ارگانسیم‌ها و فلزات سنگین نیز در حد رضایتبخشی حذف می‌گردند.
- ذغال فعال همچنین قادر به حذف کلر باقیمانده آب است.
- به طوری که اشاره شد، ترکیبات آلی سمی و همین طور ترکیبات آلی نامطلوب مولد بو و طعم مثل: کلروفلها یا نیتروژن تری کلراید (NCl<sub>3</sub>) را می‌توان با افزایش مقداری از پودر ذغال فعال در حدود ۳ g/m<sup>3</sup> حذف کرد؛ در این مورد ذغال فعال دترجنت‌های پایدار را حتی بهتر از ترکیبات فنلی حذف می‌نماید و برای جذب مواد معدنی در مقادیر کم می‌تواند مفید واقع گردد؛ به خصوص برای جذب مواد رادیونوکلید<sup>۷</sup> به کار برده می‌شود. هر چند در این موارد قابلیت را که در مورد جذب مواد آلی خنثی داراست، نشان نمی‌دهد، با این حال بهترین جذب کننده مواد معدنی با مولکولهای خنثی مثل گازرادون است. از موارد دیگری که در این زمینه می‌توان اشاره نمود، حذف فرمهای خنثی کبالت ۶۰ و روتینیم ۱۰۶ است.
- ذغال فعال در پالایش آب معمولاً در دو مرحله به کار برده می‌شود:
  - در مرحله زلال‌سازی
  - در مرحله فیلتراسیون
- در مرحله زلال‌سازی معمولاً پودر ذغال اکتیو به کار می‌رود.
- پودر ذغال اکتیو در اقطار ۱۰ تا ۵۰ میکرون می‌تواند به همراه مواد لخته‌ساز (فلوکولانت) به آب اضافه شود.
- ذغال فعال مصرفی از طریق لجن اضافی دفع شده از حوض زلال‌ساز تخلیه می‌شود. استفاده از پودر ذغال فعال به دلیل قدرت جذب عالی و تاثیرات آن در سنگین‌سازی ذرات لجن و کمک به ته‌نشینی می‌تواند بسیار مفید واقع گردد. میزان مصرف پودر ذغال فعال کمتر از ۳ g/m<sup>3</sup> است و مقدار آن بسته به کیفیت آب و میزان آلاینده‌های آن و استانداردهای مورد انتظار آب زلال شده تعیین می‌گردد. باید به خاطر داشت که بازیابی ذغال فعال در این روش اقتصادی و عملی نیست.

- 
- 1 - Antrasite
  - 2 - Bit
  - 3 - Softcoal
  - 4 - Bone
  - 5 - Peat
  - 6 - Wood
  - 7 - Redionuclide

- در مرحله صاف‌سازی از ذغال فعال دانه‌ای استفاده می‌شود.
- در این روش ذغال فعال، بستر صافی و یا بخشی از آن را تشکیل می‌دهد و با عبور آب راز روی آن آلاینده‌های آب جذب بستر می‌شود و فعالیت بستر ذغال فعال نیز به تدریج کاهش می‌یابد تا زمانی که بستر اشباع و خاصیت جذب خود را از دست بدهد.
- به طور کلی بستر ذغال فعال در صافی در مورد زیر موثر است:
- فیلتراسیون: مانند صافیهای ماسه‌ای، در این مورد برای جلوگیری از جذب ذرات لجن آب ورودی بر روی لایه سطحی و در نتیجه گرفتگی لایه ذغال فعال، آب ورودی می‌باید در حد مناسبی زلال‌سازی شده باشد.
  - نظر به اینکه سطح ذغال فعال محیط مناسبی برای رشد میکرو ارگانیسم‌هاست، هر چند که این پدیده می‌تواند در فرآیند حذف آلاینده‌ها موثر باشد، لیکن می‌تواند در صافیها زمینه را برای فعالیت باکتریهای بی‌هوازی مساعد کند و سبب ایجاد بو و گرفتگی لایه ذغال فعال گردد؛ لذا برای جلوگیری از این اتفاق توجه دقیق به زمان استفاده از ذغال فعال و حجم آب عبور داده شده از آن ضروری است و باید به موقع در مورد تجدید و فعال‌سازی مجدد آن اقدام گردد.
  - جذب سطحی: اقتصادی بودن استفاده از ذغال فعال تا حد زیادی بستگی به ظرفیت جذب ذغال فعال دارد، این ظرفیت به صورت مقدار گرم COD جذب شده در هر کیلوگرم ذغال فعال بیان می‌شود. در این ارتباط عمق بستر ذغال فعال رابطه مستقیم با میزان جذب آلاینده‌ها دارد؛ ضمناً تجربه نشان داده است که یک حجم ذغال فعال برای عبور ۳ حجم آب در ساعت بهترین نسبت برای پالایش آب با آلاینده‌های زیادی است.

#### ۶-۲-۲ روش احیا

به علت قیمت نسبتاً گران ذغال فعال، لازم است که پس از اشباع درباره احیای آن اقدام کرد؛ در این زمینه روشهای مختلفی به شرح زیر وجود دارد:

#### • روش احیا با بخار

از این روش برای احیای ذغال فعال که مواد قابل تبخیر را جذب نموده استفاده می‌گردد؛ در این روش ذغال مجدداً متخلخل و ضمناً ضد عفونی می‌شود.

#### • روش احیای حرارتی

در این روش پس از آگیری مقدماتی ذغال به وسیله حرارت خشک مواد عالی جذب شده بر روی ذغال فعال سوزانده شده و ذغال فعال به خوبی احیا می‌شود.

برای جلوگیری از سوختن ذغال فعال در حین احیا، درجه حرارت در حدود  $800^{\circ}\text{C}$  و عمل در شرایط کنترل شده و دقیق صورت می‌پذیرد.

این روش در احیای ذغال فعال بسیار موثر است و کاربرد وسیعی دارد؛ معایب این روش عبارت است از:

- سرمایه‌گذاری نسبتاً سنگین برای تهیه کوره‌های مخصوص
- اتلاف حدود ۷ تا ۱۰ درصد ذغال فعال

#### • روش احیای شیمیایی

این روش براساس بهره‌گیری از یک حلال در درجه حرارت حدود  $100^{\circ}\text{C}$  و pH قلیایی است.

در این روش اتلاف ذغال فعال حدود ۱٪ برآورد می‌گردد.

در سال ۱۹۸۶ استفاده از ذغال فعال از سوی سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (USEPA) به عنوان بهترین تکنولوژی در دسترس برای تصفیه و حذف آلاینده‌های آلی مصنوعی در آب شرب معرفی گردیده است. برای تقویت عمل پالایش و حذف بهتر آلاینده‌ها به وسیله ذغال فعال کاربرد توام آن با ازون زنی بسیار مفید است. با این همه ذغال فعال قادر به حذف تمام آلاینده‌ها نیست و بعضی از مواد بخصوص املاح معدنی از آن عبور می‌نمایند.

#### ۳-۶ نمکزدایی

نمکزدایی در واژه‌نامه و فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی Desalting و Desalination به شرح زیر تعریف شده است.

هر فرآیندی که به وسیله آن غلظت املاح آبهای شور یا لبشور به اندازه‌ای کاهش یابد که برای مصارف مختلف انسانی، حیوانی، صنعتی یا هر مصرف پیش‌بینی شده دیگر مناسب شوند.

فرآیندهای معمولی برای نمکزدایی آبها بسته به موارد استفاده از آب و مواد شیمیایی محلول که از آب حذف خواهد شد، انتخاب می‌شوند و ممکن است با استفاده از خواص آب در مقابل گرمایش "تبخیر آب" و سرمایش که منجر به جدا شدن نسبی مواد محلول از آب گردد و یا به کار گرفتن مواد شیمیایی که ترکیب آنها با مواد محلول آب تولید ترکیبات نامحلول نموده و با گذراندن از صافی، بتوان از آب جدا و آب را نمکزدایی کرد. در هر حال منظور از نمکزدایی به دست آوردن آبی خواهد بود که برای مصارف یا مصرف مورد نظر مناسب باشد.

آب خام ورودی به انواع دستگاههای نمکزدایی مانند: اسمز معکوس، الکترو دیالیز و... باید صاف و زلال و عاری از مواد کلوییدی و آلی و میکرو ارگانیسم‌ها و نظایر آنها باشد و باید واحد پیش تصفیه مناسب برای

سیستم در نظر گرفته شود. اگر یون‌های آهن و منگیزی که در آب موجود است و یا مقدار کلر باقیمانده به میزان بیش از ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر در آب ورودی به دستگاه موجود باشد، سبب تخریب رزین و کاهش بازده دستگاه خواهد شد.

### ۶-۳-۱ نمکزدایی آبها با فرآیند گرمایش (تقطیر)<sup>۱</sup>

قدیمی‌ترین روش حذف املاح آب (بی‌نمک کردن آبهای شور) تقطیر است که ابتدا در کشتیها مورد استفاده قرار گرفت. تهیه آب شیرین به روش تقطیر را می‌توان به کمک انرژی حرارتی که به صورت مختلف (سوختهای فسیلی، الکتریکی و خورشیدی) قابل تامین است، انجام داد.

با توجه به اینکه حرارت تبخیر املاح موجود در آب خیلی بالاست، می‌توان با حرارت دادن به آب، جزء آب را بخار نمود که در این صورت نمکها باقی می‌مانند. به طور کلی در این روش سه مرحله زیر وجود دارد.

- ایجاد بخار با حرارت دادن آب
- جدا کردن بخار
- میعان بخار

سیستم تقطیر ساده شامل دو محفظه<sup>۲</sup> است که محفظه اول به عنوان تبخیر کننده است. بدین معنی که آب درون آن بخار شده و از آن خارج می‌گردد و وارد محفظه دوم شده که کندانسه می‌شود. در این سیستم بازاء هر کیلوگرم بخار داده شده، کمی کمتر از یک کیلوگرم آب تولید خواهد شد.

در سیستم تقطیر چند مرحله‌ای راندمان چند برابر سیستم تقطیر یک مرحله‌ای است. در روش تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای<sup>۳</sup> بر اثر کم کردن فشار محیط کار مقداری بخار به صورت ناگهانی تولید می‌گردد. در این روش راندمان بالا و تعداد مراحل نیز زیاد است و این سیستم معمولاً ۲۰ تا ۴۰ مرحله دارد که تغییرات درجه حرارت در آنها مجموعاً حدود  $100^{\circ}\text{C}$  یعنی در هر مرحله  $4^{\circ}\text{C}$  -  $2^{\circ}\text{C}$  است. در این روش غلظت پساب شور خروجی به بیشتر از  $60000\text{mg/l}$  می‌رسد و DS آب تولیدی حدود  $5\text{mg/l}$  خواهد بود.

غلظت کل املاح آب دریا حدوداً ۳/۵٪ است؛ بنابراین ایجاد رسوب (پوسته پوسته شدن) و خوردگی تبخیر کننده‌ها که به علت حرارت زیاد سیستم حاصل می‌گردند، از اهم مشکلات است؛ به علاوه هزینه سرمایه‌گذاری و راهبری سیستمهای تقطیری هم زیاد است. آب تقطیر شده بسیار خورنده است و اضافه کردن مقداری بیکربنات کلسیم به آن ضروری است.

1 - Distillation

2 - Shell

3 - Multi Stage Flash Evaporation



جلوگیری از آلودگی آبهای اطراف این تاسیسات و همچنین حفظ آنها از آلودگیها اهمیت زیادی دارد. وجود سوختهای مایع و روغنهای خطر بالقوه است که باید تاسیسات آب شیرین کن را به نحوی از آنها دور داشت؛ یا اینکه از رود آنها به محل مورد نظر جلوگیری کرد. پساب حاصل از دستگاهها را که غلظت نمک آنها نزدیک به دو برابر آب دریاست، باید با آب خنک کننده رقیق کرد و به نحوی مطلوب دفع نمود. این پساب حاصل اصولاً حاوی مس است، بهتر است در یک فاصله مناسب (حدود ۳۰۰ متر) از ساحل تخلیه گردد. دودکش تخلیه گازها باید مرتفع و سرعت گاز در آنها نیز زیاد باشد. سولفور موجود در گاز خروجی از دودکشها اهمیت زیادی دارد، استفاده از سوختهایی با سولفور کم هزینه بهره برداری را افزایش می‌دهد؛ ولی مسایل مربوط به آلودگیهای دیگری را که حاصل می‌شود، برطرف نمی‌کند.

### ۶-۳-۲ نمزدایی آبها در حرارت پایین‌تر از نقطه جوش

مهمترین فرآیندی که در این زمینه به کار گرفته می‌شود، بالا بردن حرارت آب توام با کاهش فشار وارد بر سطح آب است. انرژی حرارتی مورد نیاز را می‌توان از "انرژی خورشیدی" بهره گرفت که آب در محیط مسدود با دیواره شفاف در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرد و برای بالا بردن اثر تابش خورشید نیز کف اطاقک گرمایش را سیاه انتخاب می‌کنند و بخار آب تولید شده در این اطاقک که فشار آن کمتر از فشار اتمسفر یک است، در معرض لوله‌هایی که آب سرد وارد اطاقک می‌نمایند، تقطیر خواهد شد که در ناودانهایی جمع‌آوری می‌شود و جریان آب مقطر نیز به پایین آوردن فشار داخل اطاقک کمک خواهد کرد.

### ۶-۳-۳ نمزدایی به کمک مواد شیمیایی رسوبدهنده

در این روش مواد محلول آب یا بخشی از مواد محلول که برای استفاده در مصارف مورد نظر نامطلوب تشخیص داده شده است، تحت تاثیر مواد شیمیایی که به آب اضافه می‌شود، به صورت نامحلول در می‌آید، و با گذراندن از صافی از آب جدا می‌شوند، بدین ترتیب آب با کیفیت مطلوب تولید خواهد شد.

ته‌نشین سازی مواد محلول ممکن است در شرایط طبیعی محیط و یا در حرارت نزدیک به حرارت جوش بسته به نوع ماده شیمیایی که باید حذف شود و ماده شیمیایی یا مواد شیمیایی که به کار گرفته می‌شود، انجام گیرد، در هر حال مجاورت و اختلاط کامل آب با مواد شیمیایی افزوده شده به وسیله دستگاههای مکانیکی تکمیل می‌گردد و این فرآیند در سختی‌زدایی آبها بیشتر به کار برده می‌شود.

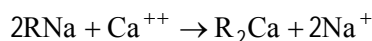
### ۴-۳-۶ نمکزدایی با فرآیند تبادل یونی

ژئولیت‌ها یا ماسه سبز از گروه گلوکونات<sup>۱</sup> محسوب می‌شود و ترکیب شیمیایی آنها «سدیم آلومینوسیلیکات» است که از قدیم‌الایام برای تبادل یونی به منظور سختی‌زدایی آب به کار برده شده و در این فرآیند که یک واکنش جابه‌جایی دو طرفه است، سدیم موجود در ترکیب با مواد فوق در مجاورت با آب با یون کلسیم و منیزیم و یا آهن موجود در آب مبادله می‌شود و زمانی که تمام سدیم جای خود را به یونهای کلسیم و سدیم آب تفویض کرد، می‌توان با مجاور کردن نمک طعام با مواد مزبور قدرت تبادل یونی را مجدداً احیا کرد و بعد از شستشو با آب کافی از فعالیت مواد مزبور استفاده نمود.

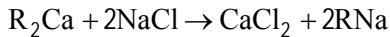
امروزه با پیشرفت صنعت و نیاز فراوان به تبادل یونی با استفاده از ترکیبات آلی نظیر: «اسید کربوکسیلیک» و «اسید سولفونیک» که در ترکیب فنلی تهیه و تحت عنوان «رزینهای تبادل یونی» عرضه می‌شوند، سختی‌زدایی و نیز نمکزدایی آبها را به کمک فرآیند تبادل یونی انجام می‌دهند.

### ۱-۴-۳-۶ تبادل یونی در سبیکل سدیم

ترکیبات شیمیایی که به صورت محلول در آبهای طبیعی وجود دارند و به محض انحلال در آب به یونهای خود تفکیک می‌شوند و یونیزاسیون آب منجر به تولید یون هیدروژن و یون هیدروکسیل می‌شود که در برابر یونهای ترکیباتی که حل شده‌اند، قرار گرفته است و این یونها شامل کاتیونها با بار مثبت و آنیونها با بار منفی است. رزینهای تبادل یونی در سبیکل سدیم، مواد جامدی هستند که به منظور سختی‌زدایی با تعویض یونهای کلسیم و منیزیم و آهن با یون سدیم به کار گرفته می‌شوند و از گروه ترکیبات آلی «اسید سولفونیک و فنل» و ترکیبی از «الدئید فورمیک اشباع از فنل» است که با یون سدیم تا حد اشباع آن مجاور شده است، بدین معنی که گرانول‌های مواد مزبور در محلول نمک طعام شستشو داده می‌شود و یون سدیم را به خوبی در سطح گرانولها جذب سطحی می‌نماید. هرگاه رزین‌های فوق را در آب حاوی کلسیم و منیزیم غوطه‌ور سازیم، سدیم موجود در رزین جای خود را با کلسیم و منیزیم عوض خواهد کرد، بدین معنی که در اثر تبدالی که صورت گرفته سختی آب حذف می‌شود و یون سدیم در آب افزایش پیدا کرده است. مداومت عمل تا وقتی است که نزدیک به تمام سدیم موجود در رزین جای خود را به سختی آب بدهد و بدین ترتیب رزین از کلسیم و منیزیم اشباع شده است. در چنین حالتی چنانکه آب نمک در محیط وارد شود و رزین را در آب نمک غرق سازیم، عمل عکس انجام خواهد گرفت و سدیم نمک طعام جانشین کلسیم و منیزیم می‌شود و مجدداً آماده کار می‌گردد. چنانچه رزین مورد نظر را به RNA نشان دهیم، می‌توان نوشت:



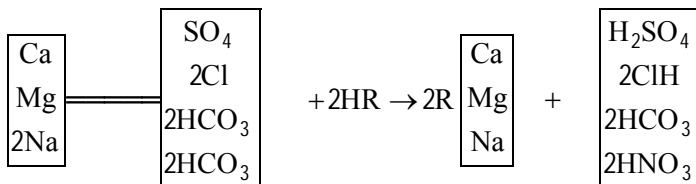
و در صورت اجرای عمل احیای رزین خواهیم داشت:



به منظور اینکه رزین جامد بتواند بیشتر با آب تماس حاصل نماید، رزین را به صورت گرانول با دانه‌های یکنواخت می‌سازند تا دارای سطح تماس بیشتر باشد و بتواند فعالیت شدیدی داشته باشد، لذا یکنواختی و قطر دانه‌ها در بازده رزین تاثیر کامل خواهد داشت.

### ۶-۳-۴-۲ رزینهای تبادل یونی در سیکل هیدروژن یا در سیکل هیدروکسیل

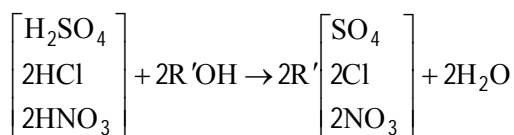
این دو نوع رزین نیز کاتیونها و آنیونها را با هیدروژن و یا یون هیدروکسیل مبادله می‌کنند و بدین ترتیب در صورتی که متعاقب هم قرار گیرند، آب بدون کاتیون و آنیون تولید می‌شود.



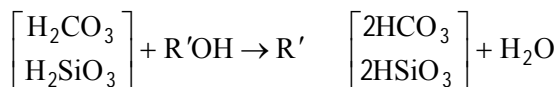
که در آن HR یک کمپلکس در سیکل هیدروژن است و به طوری که ملاحظه می‌شود، کاتیونهای کلسیم، منیزیم و سدیم موجود در آب با هیدروژن موجود در ترکیب رزین مبادله می‌شود و اسیدهایی در جوار آنیونهای موجود در آب به وجود آورده است و چنانچه عمل تبادل یونی ادامه یابد، سبب خواهد شد که رزین از کاتیونهای غیر هیدروژن اشباع گردد که در این صورت قدرت تبادل یونی رزین خاتمه یافته است و باید نسبت به احیای رزین اقدام شود.

رزینهایی که در سیکل هیدروکسیل عمل می‌کنند، آنیونهای موجود در آب را با یون  $(OH^-)$  موجود در ترکیب رزین مبادله می‌کنند که عکس عمل کرد رزینهای سیکل هیدروژن است.

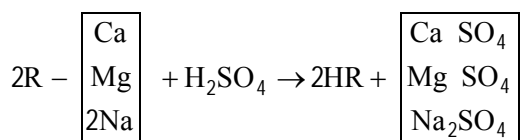
حال چنانکه آب عبور کرده از بستر رزین سیکل هیدروژن را در ستون حاوی رزین سیکل هیدروکسیل وارد کنیم، از اسیدهای تولید شده در جوار رزین هیدروژنی ریشه‌های اسیدی با عامل هیدروکسیل مبادله می‌شود و هیدروژن اسید با  $(OH^-)$  آزاد شده از رزین تولید آب خواهد کرد و بدین ترتیب آنیونها و کاتیونهای آب در این دو مرحله به ترتیب با  $OH^-$  و  $H^+$  مبادله می‌شود و مجموعه آنها همراه با یونهای بیکربنات و بی‌سیلیکات که حاصل شده است، محصول واکنشها خواهد بود که نهایتاً آب خالص تولید خواهد شد. فعل و انفعال تبادل به شرح زیر خواهد بود:



و سیلیکات و کربناتی که در ستون H به اسیدهای خود تبدیل شده بودند، به صورت زیر وارد عمل می‌شوند:

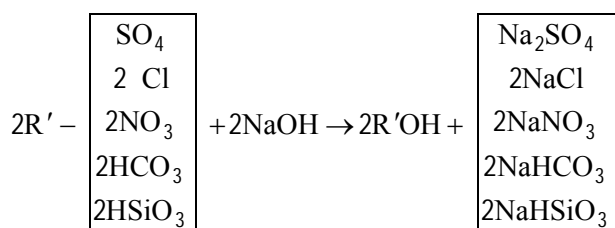


در صورتی که حذف بیکربنات و سیلیکات مورد نظر باشد، یا از رزینهای خاص که قدرت تبادل این گونه یونها را در سیستم دارند، استفاده می‌کنند و یا اینکه قبل از ورود به مرحله رزین سیکل هیدروکسیل، در صورت لزوم اسید کربنیک تولید شده و اسید سیلیسیک را حذف می‌کنند. باید توجه داشت که رزینهای آنیونی که در گروه قلیایی ضعیف قرار دارند، تبادل سیلیس و کربنات را انجام نخواهند داد. عملکرد متعاقب رزینهای سیکل هیدروژن با سیکل هیدروکسیل، آبی با درجه خلوص قابل توجه تولید خواهد کرد. لیکن بعضی از یونها از حیثه تبادل فراتر می‌روند و آب به دست آمده را نمی‌توان خالص تصور کرد. احیا کردن رزینهای سیکل هیدروژن با استفاده از محلولهای اسید قوی به شرح زیر انجام می‌شود.



که بعد از مجاورت رزین با اسید، آب برای شستشو در مدار وارد می‌شود و نمکهای تولید شده با آب شستشو که آب تصفیه شده است، از محیط تخلیه می‌گردد. نوع و غلظت و مقادیر اسید مورد نیاز را سازندگان رزین همراه با فروش آن اعلام می‌دارند.

احیای رزینهای سیکل هیدروکسید نیز با استفاده از محلول سود سوزآور به شرح زیر انجام می‌شود:



### ۳-۴-۳-۶ گروه بندی رزینهای تبادل یونی

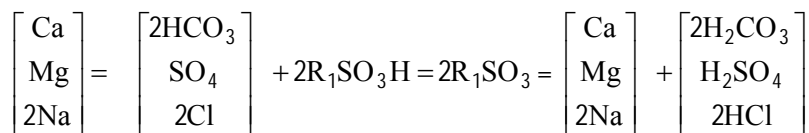
در رزینهای تبادل یونی ریشه ثابت رزین است که ظرفیت و نوع تبادل یونی را بیان می‌کند و رزینهای معمول در گروهها به شرح زیر است:

○ گروه رزینهای کاتیونی «اسید قوی»

- گروه رزینهای کاتیونی «اسید ضعیف»
- گروه رزینهای آنیونی «قلیایی قوی»
- گروه رزینهای آنیونی «قلیایی ضعیف»

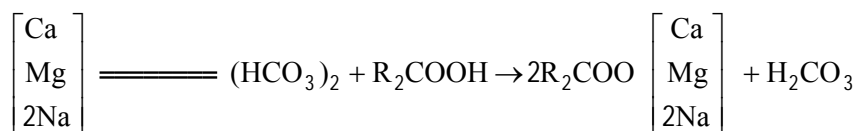
در صورتی که رزینهای اسید قوی یا قلیایی قوی مورد استفاده قرار بگیرد، تبادل یونی در ردیف تبدیل املاح محلول آب به اسید یا قلیای مربوط انجام خواهد شد.

رزینهای کاتیونی اسید قوی فعالیت تبادل یونی را مدیون عاملی خواهند بود که با ریشه  $(\text{HSO}_3)^{-1}$  عمل می‌کنند که در سیکل هیدروژن کلیه کاتیونهای آب خام را طبق واکنش زیر مبادله می‌نمایند.



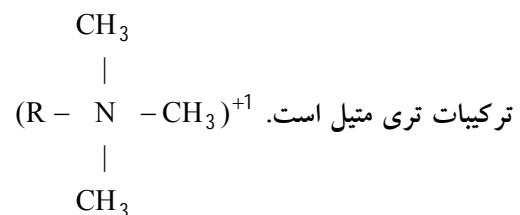
چنانچه ملاحظه می‌شود، آنیونهای موجود در آب به اسید مربوط خود تبدیل شده‌اند و زمانی که ادامه جریان آب، کلیه یونهای قابل تبادل رزین را مبادله کرد، می‌توان با استفاده از اسید سولفوریک (اسید قوی) رزین را احیا نمود. این گونه رزینها در محیطهایی که رقم pH در حد نزدیک به خنثی باشد، به خوبی عمل می‌کنند.

رزینهایی که از گروه "اسیدی ضعیف" باشند دارای عامل کربوکسیلیک هستند ( $\text{COOH}^-$ ) که در تبادل یونی شرکت می‌کند و در مواردی استفاده می‌شود که تغییر قلیائیت آب حاصل شده مورد نظر باشد؛ به شرح زیر:

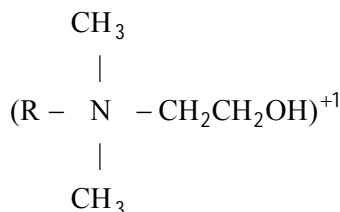


واکنش فوق نیز در اثر اسیدهای ضعیف که بتواند رقم pH محیط را به "۵" نزدیک کند، قابل برگشت است و می‌تواند رزین را احیا کند، محصول به دست آمده از تبادل یونی نیز هم ردیف کارکرد رزینهای گروه «اسید قوی» است.

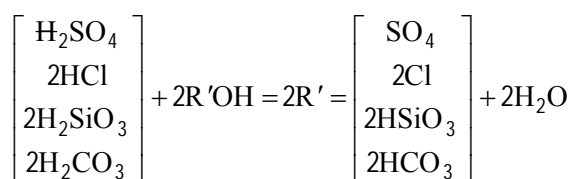
رزینهای قلیایی قوی از ترکیبات چهار تایی آمونیم می‌باشند و تبادل یونی در اینگونه رزینها آنیونی خواهد بود. رزینهای تبادل آنیونی گروه قلیایی قوی نیز دارای دو نوع مشخص از نظر ترکیب است که نوع اول از این رزینها



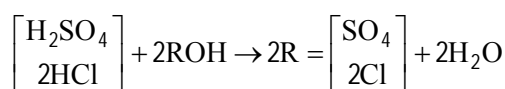
در نوع دوم از این رزینها یکی از ریشه‌های سه گانه متیل با «اتانول» همراه شده است.



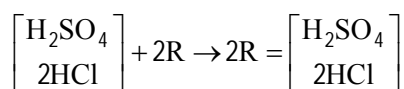
نوع اول از این رزین‌ها دارای ثبوت بیشتری‌اند و نوع دوم دارای خاصیت احیا شونده‌گی و قدرت تبادل بیشتری است که در به کار گرفتن رزینها باید مورد توجه قرار گیرد. نوع هیدروکسیدی از این گروه قلیایی قوی بیشتر مورد توجه است و توانایی تبادل کلیه اسیدهای معدنی را طبق رابطه شیمیایی زیر داراست:



به طوری که قبلاً اشاره شد، رزینهای آنیونی نیز همانند رزینهای کاتیونی قابلیت احیا را دارا هستند و در این مورد از سود سوزآور یا یک قلیایی قوی دیگر برای احیای رزین استفاده می‌شود و ترکیباتی که یونیزاسیون آنها ضعیف است، نظیر: سیلیس و گاز کربنیک نیز قابل تبادل است. رزینهای آنیونی ضعیف نیز از گروه ترکیباتی است که عامل فعال آنها آمینه هستند؛ از جمله می‌توان ترکیبات نظیر:  $(\text{R} - \text{NH}_2)$  و  $(\text{R} - \text{NHR}')$  و  $(\text{R} - \text{N} - \text{R}'_2)$  را ذکر کرد. این گونه رزینها نیز قادرند که اسیدهای کانی موجود در آب از جمله: اسید کلریدریک و اسید سولفوریک را جذب سطحی کنند و تبادل یونی به شرح زیر انجام دهند.



و یا اینکه ریشه رزین خود اسیدها را در ترکیب خود جذب سطحی نمایند:



روابط شیمیایی فوق نیز قابل برگشت است و رزینهای گروه قلیایی ضعیف نیز قابلیت احیا را دارا هستند و مسئله‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد. این است که رزینها نمی‌توانند اسید سیلیسیک و اسید کربنیک را جذب نمایند.

#### ۴-۳-۳-۴ بهره‌برداری دستگاههای تبادل یونی

ترکیبات آلی مختلفی برای تولید رزینهای تبادل یونی وجود دارد که گروههای رزین با استفاده از ترکیبات مزبور ساخته و در بازار عرضه می‌شوند. دستگاه تبادل یونی از بخشهای زیر تشکیل می‌شود:

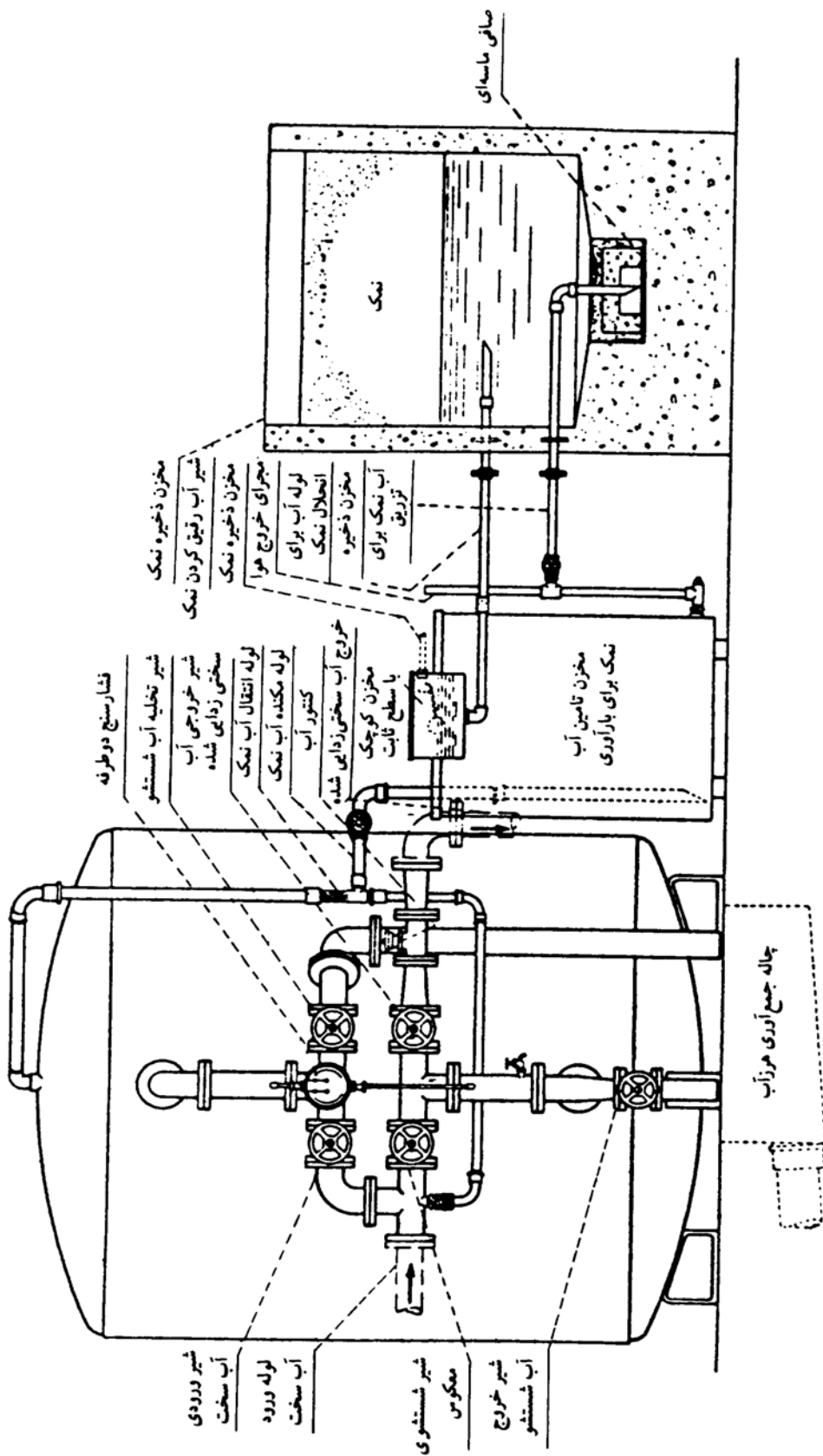
- رزین یا رزینهای تبادل یونی
- بدنه دستگاه

- مخزن تهیه محلول مواد شیمیایی
  - تلمبه یا وسیله انتقال ماده یا مواد شیمیایی به دستگاه
  - لوله‌های ورود آب خام و خروج آب تصفیه شده
  - لوله و متعلقات ورود و خروج و دفع پساب شستشو و احیای رزین
- دستگاه تبادل یونی، نظیر دستگاههای فیلتر فشاری ساخته می‌شود و مصالح و متعلقاتی که در ساختمان دستگاه به کار گرفته می‌شود، باید صرفنظر از ظرفیت دستگاه از نظر تاثیر شیمیایی آب دارای مقاومت کافی باشند.
- طراحی دستگاه های تبادل یونی براساس مشخصات کیفی آب خام و آب تصفیه شده مورد نظر با انتخاب رزین مناسب و محاسبات حجم مورد نیاز از رزین برای تحویل آب به مقدار مشخص انجام می‌گردد. ضمناً مقدار و نوع مواد شیمیایی که در احیای رزین مصرف خواهد شد، تعیین و شرح کاملی تحت عنوان «دستورالعمل بهره‌برداری» تهیه و ارائه می‌شود که خریدار دستگاه بتواند با اجرای دستورات مندرج در «دستورالعمل» از دستگاه بهره‌برداری نماید.
- خریدار نیز باید مشخصات شیمیایی و فیزیکی و بیولوژیکی و کیفیت آب تصفیه شده مورد نظر خود را موقع سفارش یا خرید دستگاه به فروشنده یا طراح ارائه نماید. شمایی از یک دستگاه تبادل یونی در شکل ۶-۱ نشان داده شده است.

#### ۶-۳-۴-۱ نصب دستگاه تبادل یونی

محللی که برای نصب دستگاه تبادل یونی در نظر گرفته می‌شود، باید حداقل فاصله ممکن با مصرف کننده عمده آب تصفیه شده را داشته باشد و از نصب دستگاه در هوای آزاد و در جوار دستگاههای گرمایشی خودداری گردد.

اتصالات و لوله‌کشیها باید کاملاً آب بند باشند و کلیه بدنه دستگاه و متعلقات و شیر آلات از موادی انتخاب شوند که در مقابل آب و مواد شیمیایی مقاوم باشند.



شکل ۱-۶ شکل کلی از یک دستگاه سختی‌زدایی با رزین کاتیونی و سیستم احیاء به وسیله آب نمک اشباع شده



### ۶-۳-۴-۲ مواد شیمیایی مورد نیاز احیای رزینها

انواع مواد شیمیایی که در عملیات احیای رزینها به کار برده می‌شوند، با غلظت‌های معین و برای رزینهای مشخص در دستورالعمل ذکر شده است. این مواد که بخشی از آنها با غلظت‌های مجاز در زیر ارائه می‌شود بر حسب دستورالعمل به کار برده خواهد شد:

محلول سود سوزآور	با غلظت	٪۱۵
محلول کربنات سدیم	با غلظت	٪۶
محلول اسید سولفوریک	با غلظت	٪۱۰
محلول اسید کلرئیدریک	با غلظت	٪۱۰
محلول سولفیت سدیم	با غلظت	٪۱۰
محلول تیوسولفات سدیم	با غلظت	٪۱۰
محلول هیدرازین	با غلظت	٪۱۰
محلول سولفات آلومین	با غلظت	٪۲۰

محلولهای فوق در مواردی توصیه می‌شود که برای اجرای عملیات احیای ستون رزین متناسب با نوع رزین و با استفاده از تلمبه به داخل دستگاه فرستاده شود؛ ولی در مورد نمک طعام که در سختی‌زدایی آنها معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد، چنانچه مکش محلول نمک طعام به داخل دستگاه با استفاده از خلاء نسبی ایجاد شده به وسیله آب تحت فشار در نظر گرفته شود، محلول اشباع شده به کار گرفته خواهد شد. مقدار مواد شیمیایی از نظر وزن یا حجم محلول که باید مورد استفاده قرار گیرد، در دستورالعمل ذکر شده است.

### ۶-۳-۴-۳ مدت کار دستگاه بین دو مرحله احیاء رزین

چنانچه قبلاً نیز اشاره شد، توانایی تبادل یونی رزین محدود است؛ بنابراین تعداد ساعات کار براساس آبدهی دستگاه و یا حجم آب که از دستگاه تحویل گرفته می‌شود، ملاک عمل برای احیای رزین خواهد بود که در دستورالعمل ذکر می‌شود؛ ولی نظر به امکانات تغییر در کیفیت آب در شرایط فصلی و بهره‌برداری و برای اطمینان از صحت کار دستگاه، بازرسی کیفیت آب خروجی از دستگاه به طور مرتب ساعتی یا برنامه‌ای که تعیین شود، ضرورت خواهد داشت که تا هر موقع نیاز به احیای رزین باشد اقدام گردد. به عبارت جامعتر می‌توان گفت که مدت کار دستگاه یا حجم آب استحصالی نسبت به کیفیت آب و شرایط محیط متغیر خواهد بود.

رزینهای تبادل یونی اعم از کاتیون و آنیونی در کیسه‌های محکم و غیر قابل نفوذ هوا و رطوبت عرضه می‌شوند و رزین خود به صورت مرطوب و دارای قریب ۲۵ درصد رطوبت خواهد بود رزین خشک مطلوب نیست.

• آماده کردن دستگاه

رزینی که در دستگاه تبادل یونی ریخته خواهد شد، همراه دستگاه ارائه می‌شود و یا دستگاه با رزین تکمیل شده و تحویل می‌گردد، در هر حال آماده کردن دستگاه به شستشوی رزین و بارآوری آن (احیای رزین) آغاز می‌گردد.

اگر رزین در محل نصب به دستگاه ریخته شود، داخل بدنه و لوله‌کشها باید با آب شستشو داده شود و سپس با آب پر کرده شود و تحت فشاری که کار خواهد کرد به مدت یک ساعت نگهداری شود تا از آب‌بند بودن دستگاه اطمینان حاصل گردد و اگر دستگاه آماده کار تحویل شده است، بعد از خاتمه نصب، با باز کردن شیر «آب شستشوی معکوس» و باز کردن شیر تخلیه هوا آب به آرامی وارد دستگاه شده تا پر شود، سپس آب‌بند بودن دستگاه را با بسته بودن کلیه شیرها و باز کردن شیر ورود آب خام آزمایش می‌کنند.

بعد از اطمینان از صحت نصب دستگاه، دستورالعمل نسبت به شستشوی معکوس ستون رزین با آب اقدام می‌شود، سپس طبق دستور کاری که در «دستورالعمل بهره‌برداری» ذکر شده برای اجرای عملیات احیای رزین اقدام می‌شود و در نهایت همان طور که در دستور کار ذکر شده شستشوی نهایی انجام می‌گیرد و دستگاه آماده بهره‌برداری می‌گردد.

احیای رزین که به مورد اجرا گذارده شد، ساعت شروع راه‌اندازی یادداشت می‌شود و یک برگ یادداشت یا دفتری در جوار دستگاه قرار داده شده تا بتوان نتایج آزمایش نمونه‌های آب را مرتباً انجام می‌شود در آن ثبت کرد.

احیای رزین در مراحل بعدی به ترتیب زیر خواهد بود.

- شستشوی معکوس
  - انتقال و ارسال محلول احیا کننده به داخل ستون
  - ادامه انتقال محلول احیا کننده توام با ارسال آب شستشو و قطع جریان محلول
  - شستشوی نهایی برای تخلیه محلول احیا کننده اضافی
  - آزمایش و تأیید خارج شدن کامل محلول احیا کننده
- بعد از خاتمه عملیات فوق دستگاه آماده بهره‌برداری خواهد بود.

### ۶-۳-۴-۵ آزمایش های مورد نیاز طی عملیات بهره‌برداری

در فواصل زمانی مشخص که در دستورالعمل بهره‌برداری آمده است، آزمایش نمونه آب تحویل شده از دستگاه ضرورت دارد.

آزمایشها بستگی به کیفیت آب خام و آب مورد نیاز دارد و به طور معمول اندازه‌گیری یک یا چند پارامتر ذیل لازم است.

- رقم pH
- گاز کربنیک محلول
- قلیائیت کل
- سختی کل
- کلسیم
- منیزیم
- سدیم
- کل مواد محلول

### ۶-۳-۴-۶ دستگاههای تبادل یونی خودکار

در این گونه دستگاهها پارامترهای معینی از خروجی به طور خودکار اندازه‌گیری می‌شود و در صورتی که میزان این پارامترها از حدود تعیین شده قبلی فراتر رود، دستگاه متوقف می‌شود و به طور خودکار احیای رزین آغاز می‌شود و بعد از خاتمه عملیات "احیا" دستگاه مجدداً در مدار بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

### ۶-۳-۵ نمکزدایی به روش اسمز معکوس<sup>۱</sup>

تصفیه آب با کمک غشاء یا ممبران<sup>۲</sup> عملاً شامل سه روش زیر است:

- اسمز معکوس

- اولترافیلتراسیون

- الکترودیالیز

در این روشها از نظر اینکه نیاز به اضافه نمودن مواد شیمیایی به آب نیست و از طرفی در این روشهای تصفیه حتی مواد مفید برای آب آشامیدنی حذف می‌گردد، لذا بیشتر در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مصارف شهری هنوز استفاده از این سیستم محدود است.

---

1 - Reverse Osmos (R.O)

2 - Membran

### ۶-۳-۵-۱ فشار اسمزی

پدیده اسمزی در گیاه و حیوان بیش از ۲۰۰ سال است که شناخته شده است. این پدیده عبارت است از عبور خود به خودی حلال از داخل غشای نیمه تراوایی که دو محلول با غلظتهای مختلف (یا یک محلول با حلال خالص آن) را از همدیگر جدا می کنند. "در حالت ایده آل غشاء فقط برای حلال تراواست". انتقال حلال همیشه و به طور طبیعی از محلول رقیق به طرف محلول غلیظ است و این پدیده آنقدر ادامه می یابد تا تعادل اسمزی برقرار شود (شکل ۶-۲).

نیروی محرکه این انتقال، اختلاف پتانسیل شیمیایی پیل بین دو محلول که در اثر آن به تدریج آب خالص وارد آب نمک می شود و این کار تا زمانی انتقال می یابد که فشار محلول آب نمک تا حد مشخصی از فشار آب خالص بیشتر شود و پتانسیل دو طرف غشاء برابر گردد، این فشار به نام "فشار اسمزی" معروف است و از رابطه زیر به دست می آید:

$$P = \Delta C.P.T$$

که در آن:

$P =$  فشار اسمزی بر حسب pa (پاسکال)

$\Delta C =$  اختلاف غلظت بر حسب  $\text{mol/m}^3$  یا  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$R =$  ثابت مولکولی گازها برابر با  $8/314$  جرم مولکولی

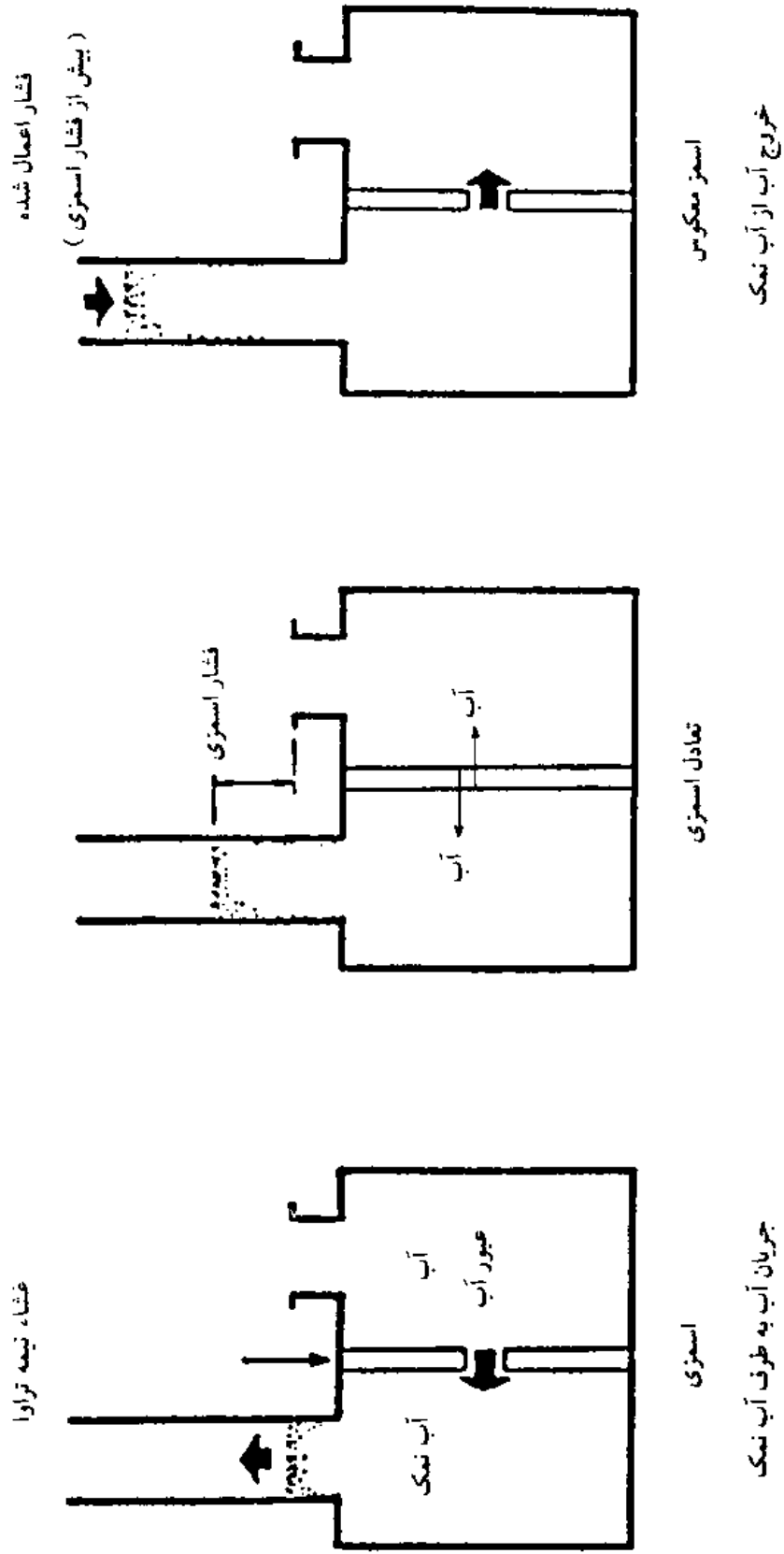
$T =$  درجه حرارت بر حسب کلوین ( $^{\circ}\text{k}$ )

است.

در جدول زیر فشار اسمزی چند نوع نمک داده شده است.

فشار اسمزی (بار)	غلظت (mg/l)	نمک
۲۷/۸۶	۳۵۰۰۰	NaCl
۰/۷۹	۱۰۰۰	NaCl
۰/۴۲	۱۰۰۰	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
۰/۲۵	۱۰۰۰	MgSO <sub>4</sub>
۰/۸۵	۱۰۰۰	CaCl <sub>2</sub>
۰/۸۹	۱۰۰۰	NaHCO <sub>3</sub>
۰/۶۷	۱۰۰۰	MgCl <sub>2</sub>

در عمل فشار را بین ۲۵ تا ۸۰ "بار" نظر می گیرند.



شکل ۶-۲ اساس عمل اسمز معکوس (R.O)

### ۶-۳-۵-۲ اسمز معکوس

عمل اسمزی را می‌توان با اعمال فشار بیش از فشار اسمزی بر روی سمتی که غلظت محلول زیادتر است، معکوس نمود، به طوری که حلال از غشاء از سمتی که غلظت محلول بیشتر است به سمت محلول با غلظت کمتر جریان یابد در نتیجه محلول غلیظ، غلیظتر و محلول رقیق، رقیقتر خواهد شد (شکل ۶-۲).

### ۶-۳-۵-۳ انواع غشاهای

غشاء که قسمت اصلی واحد تصفیه است، در انواع مختلف ساخته می‌شود:

- غشاهای تخت
- غشاهای لوله‌ای تو خالی
- غشاهای لوله‌ای

### ۶-۳-۵-۴ جنس غشاهای

از نظر فنی از بین تمام غشاهایی که برای تصفیه آب مناسب است، غشاهای از جنس مواد معروفترند:

- استات سلولز<sup>۱</sup>
  - پلی پروپیلن<sup>۲</sup> متخلخل
- ضخامت غشاهای در حدود ۲/۵-۰/۵ میکرون و ضخامت نگهدارنده آن در حدود ۲۰۰-۱۰۰ میکرون است.

### ۶-۳-۵-۵ مدول

در هر واحد تصفیه اسمز معکوس، غشاء نصب شده با شکل خاص و تجهیزات مربوط، مدول نامیده می‌شود. تجهیزات مدول عبارتند از: غشاء، مجاری اعمال فشار، نگهدارنده غشاء و قطعات ویژه مربوط. به طوری که گفته شد، پدیده اسمز معکوس یک فرآیند تحت فشار است؛ بنابراین در دو طرف غشاء دهها اتمسفر اختلاف فشار وجود دارد. از طرف دیگر سرعت عبور آب از واحد سطح غشاء بسیار کم است، بنابراین باید هر مدول دارای خصوصیات زیر باشد:

- الف- سطح زیادی از غشاء در یک حجم کم قرار گیرد.
- ب- نگهدارنده غشاء باید سبک و در عین حال در مقابل فشار بسیار مقاوم باشد.

---

1 - Cellulose Acetate

2 - Poly Propylen

- ج- پلاریزاسیون غلظتی روی سطح غشاء (در سمت فشار قوی) باید به حداقل برسد.
- د- گرفتگی و کثیفی غشاء باید کم باشد و تمیز نمودن آن به سهولت انجام گیرد.
- ه- تعویض غشاء هر مدول سهولت انجام گیرد و در زمان تعویض امکان اختلاط آب خام و آب تصفیه شده وجود نداشته باشد.

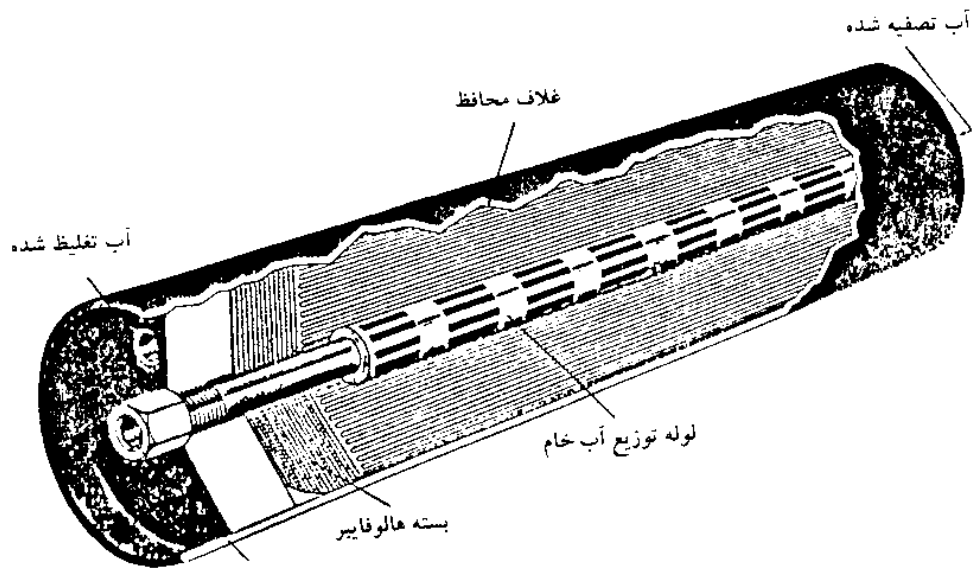
### ۶-۳-۵-۵-۱ انواع مدول

با توجه به خصوصیتی که در فوق برای هر مدول ذکر گردید، امروزه در مقیاس تجارتي انواع مدولهای مختلف ساخته می شود که مهمترین آنها به شرح زیر است:

#### • مدول ها لوفایبر<sup>۱</sup>

مدول هالوفایبر شامل اجزای زیر است:

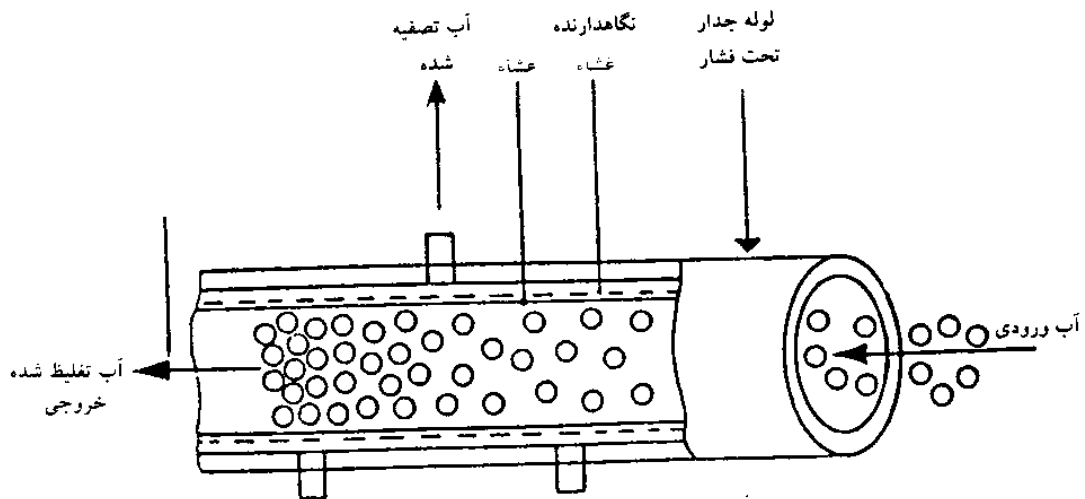
- غلاف محافظ
  - بسته های لوفایبر (الیاف توخالی)
  - لوله مرکزی مشبک
  - سازه نگهدارنده
  - نگهدارنده فیبر
  - صفحه متخلخل جمع آوری آب تصفیه شده
  - صفحه انتهایی بارینگ نگهدارنده
- آب خام از لوله مشبک مرکزی برای تقسیم آب به طور یکنواخت به فیبر توخالی وارد می شود. فیبر توخالی که از جنس پلی آمید یا استات سلولز است با قطر خروجی ۲۲ تا ۸۵ میکرون است، قطر داخلی لوله های موئین ۴۲ تا ۱۱۰ میکرون است. این بسته فیبری U شکل در داخل لوله ای که توسط لایه محافظ نگاه داشته می شود، قرار دارد. هر دو انتهای هر فیبر در داخل پایه ای قرار داده شده است. آب خام به داخل دیواره های فیبری که لایه خارجی آن مانند یک غشاء نیمه تراوا عمل می کند وارد می شود و از داخل لوله های موئین و قسمت متخلخل عبور می کند و سپس به قسمت جمع کننده وارد می شود (شکل ۶-۳)



شکل ۳-۶ مدول‌ها لوفایبر

• مدول لوله‌ای

این مدول شامل چندین لوله غشاء با قطر تقریبی یک سانتیمتر است، غشاءها ممکن است داخل یا خارج لوله نگاهدارنده قرار داده شوند (شکل ۴-۶)



شکل ۴-۶ مدول لوله‌ای (مقطع)



• مدول با غشاء صفحه‌ای

این مدولها بدو صورت حلزونی و تحت قابی شکل ساخته می‌شوند. مدولهای حلزونی خود به دو صورت حلزونی با جریان هم مرکز یا خارج از مرکز ساخته می‌شوند.

الف- مدول حلزونی

• مدول حلزونی با جریان خارج از مرکز<sup>۱</sup>

در این نوع مدول بسته غشاء به دور یک لوله مشبک به طور حلزونی با یک لایه جدا کننده پیچیده می‌شود، هر بسته غشاء شامل ۲ غشاء است. بین دو غشاء لایه‌ای از مواد متخلخل قرار داده شده است که آب خام از قسمت جدا کننده وارد شده و به قسمت مقابل تغذیه کننده نفوذ می‌کند و آب تصفیه شده از لایه متخلخل و لوله مشبک خارج می‌شود (شکل ۶-۵).

• مدول حلزونی با جریان خارج از مرکز

این نوع مدول نیز به صورت حلزونی است که جریان آب خام به شکل خارج از مرکز وارد می‌شود و آب تغلیظ شده در جهت مقابل جهت جریان ورودی خارج می‌شود و آب صاف از لایه متخلخل و لوله مشبک خارج می‌شود (شکل ۶-۶).

ب- مدول قابی شکل

در این مدول غشاءهای تخت همراه با لایه‌های نگهدارنده آن در یک قاب قرار داده شده است و ساختمان آن مشابه فیلترهای صفحه‌ای است (شکل ۶-۷).

۶-۳-۵-۶ تصفیه خانه به روش "اسمز معکوس"

حداقل تاسیسات مورد نیاز در تصفیه به روش اسمز معکوس عبارتند از؛

- پمپ فشار قوی

- مدول

- شیر فشار شکن

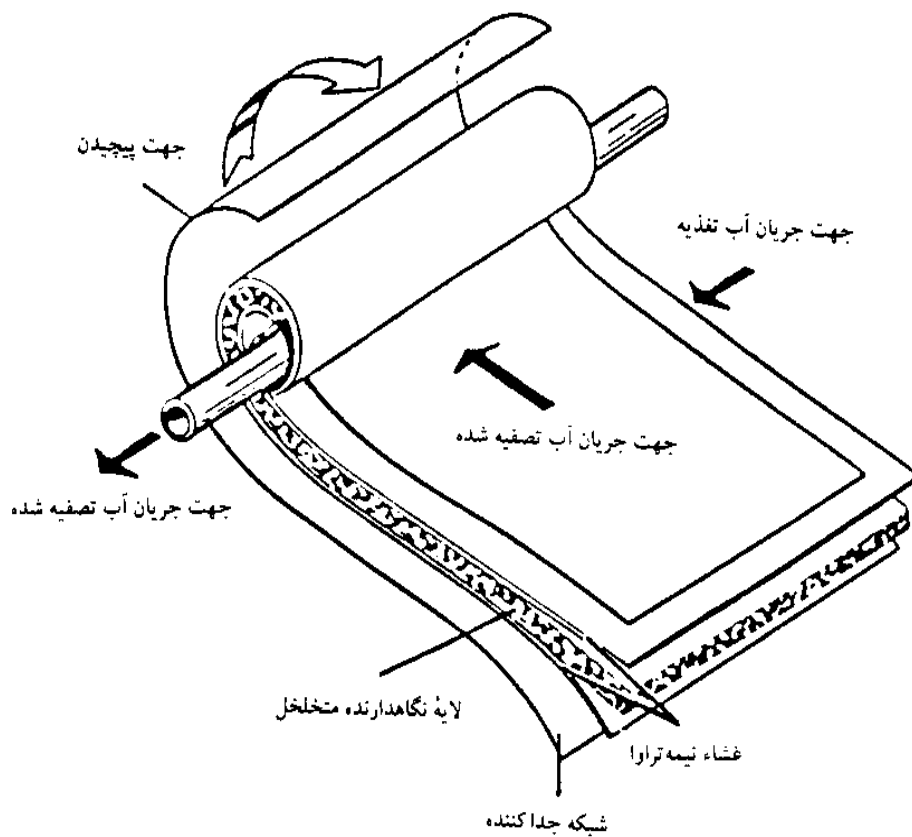
- شیر اطمینان

- سیستمهای اندازه‌گیری و کنترل (فشار سنج و جریان سنج)

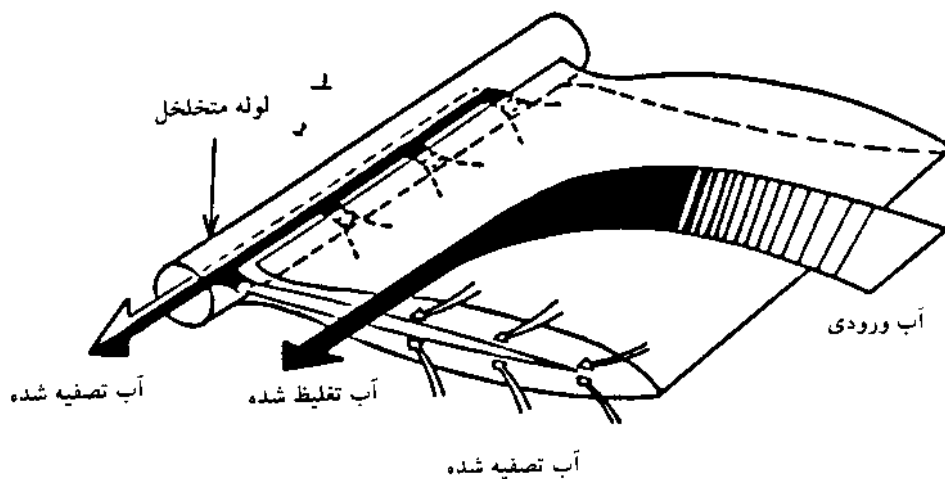
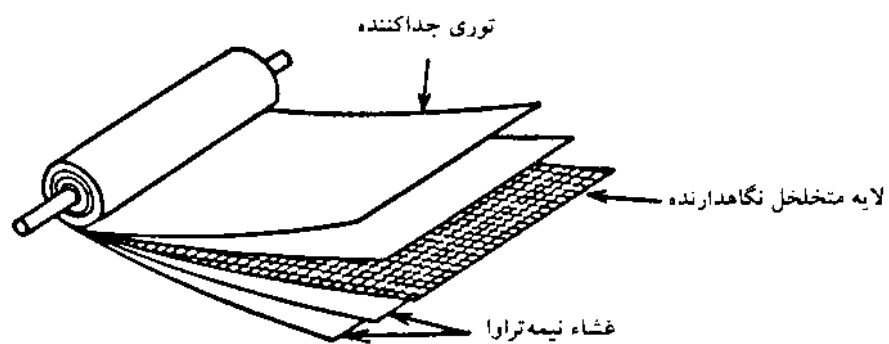
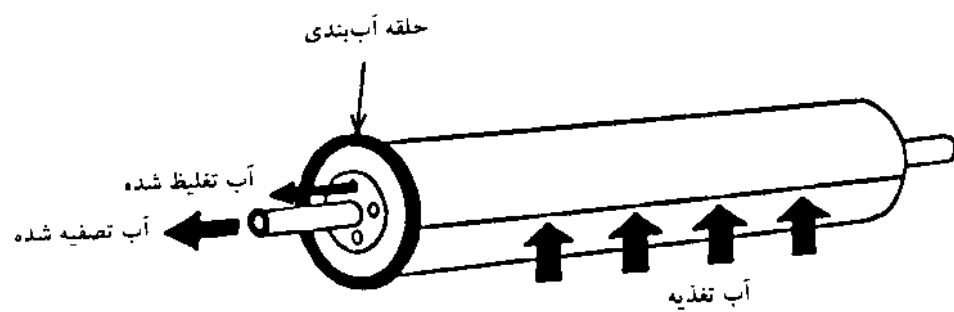
شکل شماره ۶-۸ ساده‌ترین دیاگرام یک تاسیسات تصفیه خانه با روش اسمز معکوس را نشان می‌دهد، این سیستم شامل: یک پمپ فشار قوی، چند دستگاه مدول، دو فشار سنج در ورودی و خروجی مدولهاست که افت

فشار مدول را نشان می‌دهد. دو دستگاه اندازه‌گیری که هر کدام مقدار آب تصفیه شده و پساب خروجی را نشان می‌دهند و از روی این دو جریان سنج نسبت بین آب تصفیه شده و پساب خروجی تعیین می‌شود، ضمناً هر کدام از جریان سنجها توسط یک شیر کنترل تنظیم می‌گردد.

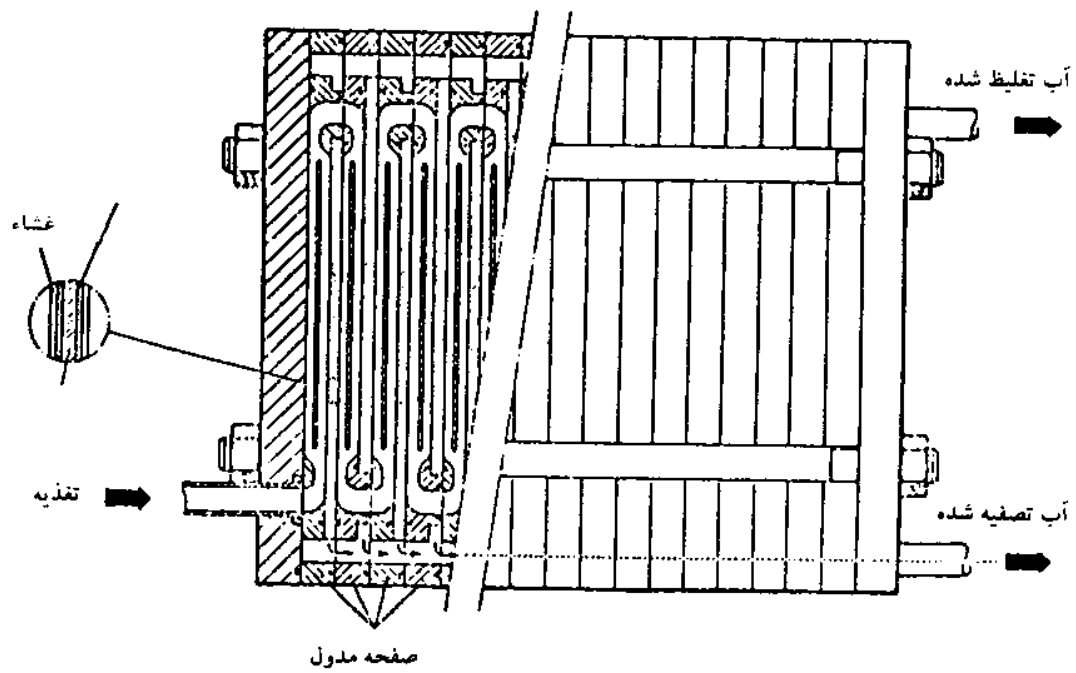
در مواردی که لازم باشد آب تصفیه شده با کیفیت بالایی تولید شود، می‌توان عمل تصفیه را دو مرحله‌ای انجام داد بدین ترتیب که آب تصفیه شده خروجی مرحله اول را ورودی مرحله دوم قرار داده و پساب مرحله دوم را به ورودی مرحله اول برگشت داد.



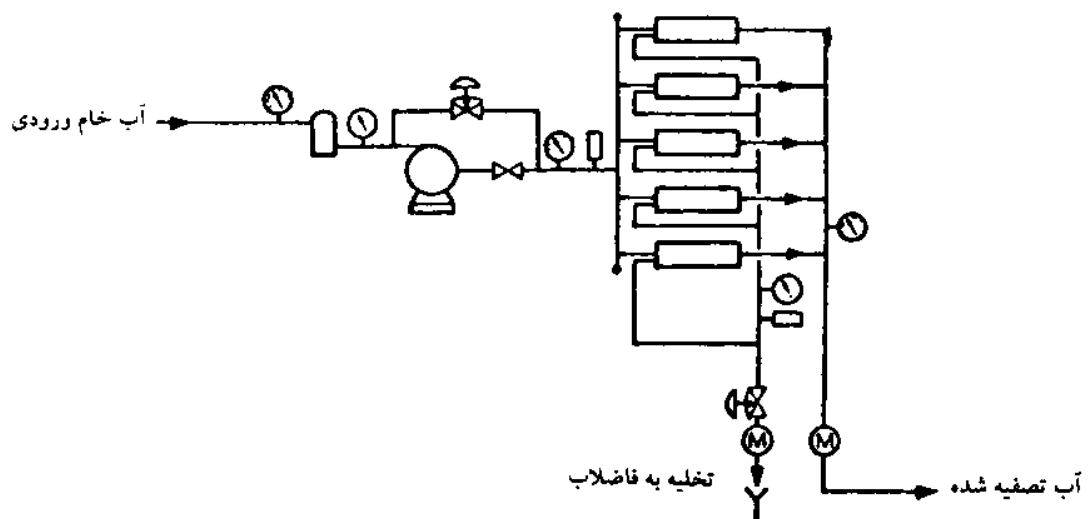
شکل ۵-۶ مدول حلزونی با جریان محوری



شکل ۶-۶ مدول حلزونی با جریان آب تصفیه شده خارج از محور



شکل ۶-۷ مدول قابی



شکل ۶-۸ دیاگرام تاسیسات تصفیه خانه به روش اسمز معکوس (R.O)

### ۶-۳-۵-۷ بهره‌برداری<sup>۱</sup>

عمل سیستم اسمز معکوس جداسازی مواد حل شدنی و حل نشدنی در آب است، مقدار این مواد جدا شدنی بستگی به ویژگیها و شرایط سیستم تصفیه دارد. مقدار موادی که از آب جدا می‌شود مواد حذف شده<sup>۲</sup> و آنچه که در آب باقی می‌ماند مواد عبور کرده<sup>۳</sup> نامیده می‌شود.

مقدار مواد حذف شده بستگی به پارامترهای مختلف دارد.

چنانچه غلظت آب خام ورودی  $C_e$  و غلظت مواد باقی مانده باقی در آب تصفیه شده  $C_p$  باشد، درصد مواد حذف شده  $R$  برابر است با:

$$R = \left(1 - \frac{C_e}{C_p}\right) \times 100$$

اگر غلظت پساب خروجی  $C_r$  فرض شده و ضریب تبدیل  $Y$  باشد. در این صورت:

$$C_r = \frac{100C_e}{100 - Y}$$

مثال: اگر  $Y = 0/75$  باشد:

$$C_r = 4C_e$$

هدف آن است که سعی شود، ضریب  $Y$  به بیش از ۲۰ تا ۳۰٪ برسد که در این صورت تصفیه مقدماتی لازم خواهد بود. مقدار ضریب تبدیل بهینه را می‌توان با آنالیز آب خام تعیین نمود که البته هر چه  $Y$  بیشتر باشد به تصفیه مقدماتی بهتری نیاز است؛ ولی از طرف دیگر باید مصرف حداقل انرژی برای تولید هر متر مکعب آب تصفیه شده در نظر گرفته شود.

### ۶-۳-۵-۷ عوامل موثر بر حذف مواد

مقدار مواد حذف شده بستگی به پارامترهای مختلف زیر دارد:

- فشار: به طور کلی فشار در سیستم اسمز معکوس باید بیش از حدی باشد که در تحت آن فشار، پدیده اسمز معکوس اتفاق می‌افتد. این فشار سبب می‌شود که آب از غشاء عبور نماید، مقدار جریان آب تصفیه شده با این افزایش فشار زیاد می‌شود. مقدار فشار با توجه به ساختمان مدول و غشاء تعیین می‌شود.

1 - Operation  
2 - Reject  
3 - Passage

- درجه حرارت: هر چه درجه حرارت آب خام ورودی زیادتر باشد، مقدار آب تصفیه شده نیز بیشتر می‌شود به طوری که تقریباً به ازای هر درجه سانتیگراد افزایش درجه حرارت ۲٪ به حجم تولید آب تصفیه شده اضافه می‌گردد. حداکثر درجه حرارت کار سیستمهای اسمز معکوس در حدود  $40^{\circ}\text{C}$  تعیین شده است، در درجه حرارت بیش از حداکثر تعیین شده نه تنها ازدیاد تولید مشاهده نمی‌شود، بلکه کار در درجه حرارتهای بیش از حد تعیین شده سبب فرسودگی و کوتاه شدن عمر غشاء می‌گردد حد درجه حرارت با توجه به جنس غشاء توسط سازنده تعیین می‌شود ولی به طور معمول این درجه حرارت برای غشاء از مواد مختلف و آب با غلظتهای کمتر از ۱۵ گرم در هر لیتر به شرح جدول زیر است:

جنس غشاء	حداکثر درجه حرارت کار	حداکثر درجه حرارت مخزن
استات سلولوز	۳۰	۳۰
پلی آمید B-9	۳۵	۴۰

- تراوایی غشاء: تراوایی غشاء از جمله فاکتورهایی است که روی تولید و راندمان سیستم اثر قابل توجهی دارد. غشاءهایی که از جنس استات سلولوز شناخته می‌شوند و لوله‌ای یا حلزونی شکل و بخصوص نوع جدید آن هالوفایر نسبت به انواع دیگر دارای تراوایی بیشتری هستند، به طوری که عمر غشاءهای استات سلولوز ۲ تا ۳ سال ولی برای جنس پلی‌آمید ۳-۵ سال است.
- اثر فاکتورهای دیگر: مواد موجود در آب روی بازده تصفیه اثر می‌گذارد که مهمترین آنها عبارتند از:
  - اندازه مولکولی، قطر یونها و امکان کریستالیزه شدن
  - بارالکتریکی یونها
  - تمایل موجود بین یونها و آب (مانند پل هیدروژن)
  - ظرفیت یونها (معمولاً غشاءها یونهای چند ظرفیتی را بهتر از یک ظرفیتی حذف می‌کنند).
  - مواد آلی: مواد آلی با توجه به وزن مولکولی، اندازه مولکولی، اندازه ملکول و ساختمان آنها به درجات مختلف توسط غشاء حذف می‌شوند. مثلاً موادی که دارای وزن مولکولی بیشتر هستند، زیادتر از مواد آلی با وزن مولکولی و کمتر حذف می‌شوند.

### ۶-۳-۵-۲ بازده

بازده غشاهای با توجه به شرایط آزمایش استاندارد شده از غلظت، (مثلاً  $1500 \text{ mg/l}$  NaCl آب نسبتاً شور و یا  $3000 \text{ mg/l}$  NaCl حدود آب دریا) در درجه حرارت  $25^\circ \text{C}$  و فشارهای مختلف اعمال شده که بستگی به نوع مدول دارد، تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه انواع غشاهای با درجات مختلف تخلخل می‌توان تولید کرد و به لحاظ تاثیر تخلخل غشاء در حذف مواد، می‌توان غشاهای را در حد مطلوب و مورد نیاز انتخاب کرد. جدول زیر استاندارد غشاهای را با توجه به راندمان آنها نشان می‌دهد:

جنس غشاء	درصد حذف
استات سلولز	۹۴-۹۷
غشاء مخلوط	۹۹/۷
پلی آمیدها	۹۴-۹۸/۵

### ۶-۳-۵-۸ تصفیه مقدماتی

به طور کلی در تصفیه آب به روش اسمز معکوس تصفیه مقدماتی در انواع غشاهای موجود در بازار به لحاظ بالا بردن بازده و همچنین از نظر اقتصادی ضروری است. در تصفیه مقدماتی نوع غشاء سیستم مدول، مشخصات آب خام، کیفیت آب تصفیه شده و کیفیت غلظت در نظر گرفته می‌شود.

### ۶-۳-۵-۱ هدف از تصفیه مقدماتی

در تصفیه مقدماتی به موارد زیر باید توجه شود:

- رقم pH طبق دستور سازنده و با توجه به مقاومت غشاء تنظیم شود.
- آب خام بلحاظ آلودگی به مواد معلق مجاز کنترل شود.
- اصلاح درجه حرارت
- محافظت در مقابل هیدراکسیدهای فلز و اکسیدهای فلزی راسب شونده
- محافظت در مقابل رسوباتی که در اثر رسیدن غلظت به حداکثر اشباع مانند یونهای کلسیم و منیزیم و اسید سیلیسیک، باریم و استرانسیم باید مورد توجه قرار گیرد.
- محافظت در مقابل مواد آلی
- محافظت از آلودگی میکرو ارگانیسمها
- محافظت غشاهای در مقابل مواد اکسید کننده

### ۶-۳-۵-۸-۲ دستورالعمل تصفیه مقدماتی

با عملیات زیر می‌توان از خراب شدن سریع غشاءها جلوگیری کرد:

- حذف مواد معلق با کمک فیلترهای دانه‌ریز و در صورت لزوم فیلترهای چند لایه‌ای و یا میکرو فیلتراسیون و حتی صافیهای بسیار ریز، در صورت لزوم اجرای مقدماتی عمل انعقاد و لخته‌بندی و ته‌نشینی به منظور حذف مواد کلوئیدی که خود سبب گرفتگی غشاء در مدول می‌گردد.
  - حذف سختی آب به کمک سیستمهای نرم کننده مناسب
  - تثبیت سختی با افزودن موادی مانند فسفات و غیره
  - حذف کربناتها با افزودن اسید سولفوریک یا اسید کلریدریک
- برای مثال با توجه به غشاءهای موجود در بازار (پلی آمید و استات سلولز) کیفیت آب ورودی به اسمز معکوس باید طبق جدول زیر باشد:

با غشاء پلی آمید		با غشاء استات سلولز		نوع غشاء مشخصات
مدول لوله‌ای	مدول هالوفایبر	مدول هالوفایبر	مدول لوله‌ای	
۴-۱۱	۴-۱۱	۳-۸/۵	۳-۸	pH
۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	درجه حرارت °C
غیر قابل سنجش	غیر قابل سنجش	حداکثر ۱/۰	حداکثر ۱/۰	کلر آزاد mg/l

### ۶-۳-۵-۹ موارد کاربرد اسمز معکوس برای تصفیه آب

#### ۶-۳-۵-۹-۱ تصفیه آب برای شرب

دستگاه اسمز معکوس کلیه نمکهای موجود در آب ورودی به دستگاه و همچنین سختی و حتی سولفات‌ها، نترات‌ها، کلوئیدها و باکتریها را حذف می‌کند، به همین دلیل برای اینکه آب خروجی از دستگاه اسمز معکوس قابل شرب باشد، اصلاح ثانوی املاح آن ضروری است و از این رو با افزودن مواد شیمیایی باید کیفیت آب به لحاظ خورندگی (رقم pH، آهک، کربنات و گاز کربنیک تعادل) و مطبوعیت اصلاح شود.



## ۶-۳-۵-۲ آب تصفیه شده برای صنایع

امروزه بسیاری از صنایع که به آب خالص نیاز دارند به سیستم تصفیه اسمز معکوس روی آورده‌اند. از جمله این موارد: آب تغذیه دیگ بخار، صنایع داروسازی، صنایع شیمیایی، صنایع الکترونیک و غیره را می‌توان نام برد.

## ۶-۳-۵-۱۰ مشخصه‌های غشاء

در تکنولوژی ساخت غشاءها اندازه‌های استاندارد شده عبارتند از:

PI، SDI و کدورت

- معیار SDI<sup>۱</sup>: که شامل تغییرات مواد کلئیدی موجود در آب است و مقدار آن از نسبت بین مدت زمان تصفیه بادبی ورودی ثابت (۵۰۰ml) از داخل غشاء با منافذی به قطر ۰/۴۵ میکرون تحت فشار ۰/۲ بار با درجه حرارت ثابت در دستگاه ویژه در کارخانه به دست می‌آید.
  - معیار گرفتگی PI<sup>۲</sup>: به مقدار درصد گرفتگی یا انسداد منافذهای غشاء گفته می‌شود.
- برای اینکه بتوان PI و SDI را با هم مقایسه کرد، باید شرایط حجم، فشار کار، قطر منافذ غشاء، ابعاد فیلتر، زمان افزایش درجه حرارت اندازه‌گیری شده مساوی باشد.

## ۶-۳-۶ نمکزدایی با فرآیند الکترو دیالیز ۳

فرآیند الکترو دیالیز برای نمکزدایی آب دریا و آبهای شور به کار گرفته می‌شود که "الکترولیز" با استفاده از الکتریسته جریان مستقیم است.

چنانچه محلولی که آنیونها و کاتیونهای مختلف در آن قرار دارد در معرض "الکتریسته جریان مستقیم" قرار گیرد، جریان الکتریکی در داخل محلول به وسیله دو قطب الکتریکی برقرار شده، کاتیونهای موجود در محلول به طرف کاتد و آنیونها به طرف آند حرکت خواهند کرد. چنانچه مانع الکترو شیمیایی در مسیر آنها وجود نداشته باشد، یونها بعد از رسیدن به الکتروود به اصطلاح "تخلیه" خواهند شد، هچنانکه در مورد آب حاوی اسید چنین عملی انجام گیرد، الکترولیز صورت گرفته و هیدروژن در کاتد و اکسیژن را در آند به دست خواهیم آورد.

به منظور اینکه عمل الکترو دیالیز منجر به خالص کردن آب که به معنی "نمکزدایی" بیان می‌شود. انجام گیرد، در مسیر یونها صفحات نیمه تراوا برای راه دادن به کاتیونها یا به آنیونها قرار می‌دهند تا عمل الکترو دیالیز منجر به جلب آنیونها از لایه صفحه نیمه تراوا به طرف آند و حرکت کاتیونها از لایه صفحه دیگر به طرف کاتد انجام گیرد که تحت عنوان الکترو دیالیز نامیده می‌شود.

---

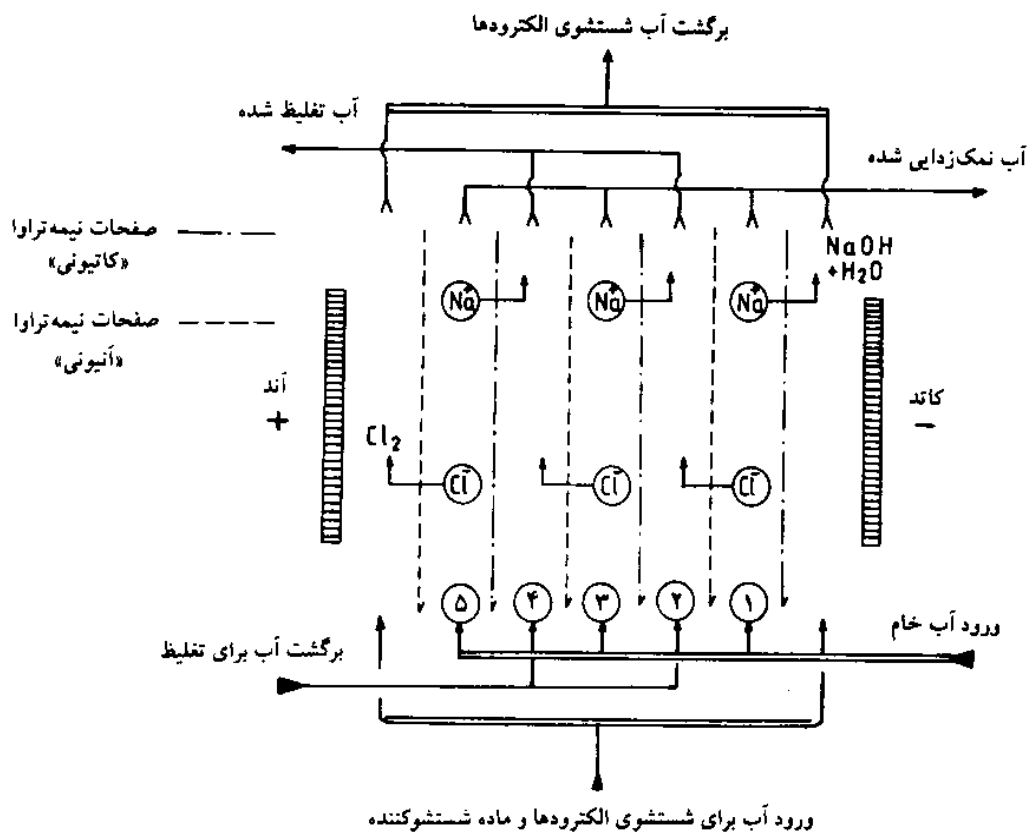
1- Silt Density Index  
2- Plugging Index  
3- Electrodialyses

بنابراین موضوع اصلی الکترو دیالیز جدا کردن آنیونها و کاتیونها از آب به وسیله جریان الکتریسیته مستقیم با استفاده از صفحات نیمه تراوایی آنیونی و کاتیونی است که آنیونها نخواهند توانست از صفحات نیمه تراوایی کاتیونی عبور کنند و کاتیونها نیز در مقابل صفحات نیمه تراوایی آنیونی قابل عبور نخواهند بود.

### ۱-۶-۳-۶ اصول کار

دستگاه الکترو دیالیز دارای مشخصات زیر خواهد بود:

- حمام یا حوضچه دیالیز که قطب‌های الکتریکی در دو طرف آن قرار دارند.
- تعداد ۳ جفت صفحات نیمه تراوایی برای آنیونها و کاتیونها
- سیستم لوله‌کشی ورود آب خام و لوله‌کشی در تامین آب تصفیه شده
- سیستم لوله‌کشی ورود محلول شستشوی صفحات نیمه تراوایی و جمع‌آوری آب شستشو



شکل ۶-۹ شمای یک دستگاه الکترو دیالیز

در شکل ۶-۹ چنانکه آب خام را آب دریا فرض کنیم، کاتیون سدیم به طرف کاتد و آنیون کلر بطرف آند حرکت خواهد کرد و جریان الکتریکی سبب خواهد شد که کاتیون سدیم در کاتد با آب ترکیب شده و هیدروژن متصاعد شود و سودسوزآور محصول بخش پیرامون کاتد، تخلیه می‌گردد. در حالی که کلر به طرف آند حرکت می‌کند و با تخلیه بار الکتریکی منفی خود به مولکول کلر تبدیل و در جوار آب، آب کلر را تشکیل خواهد داد که از مجرای تخلیه خارج شده تا همراه سود سوزآور خنثی شود. در بخشهای واقع بین صفحات نیمه تراوا نیز که ۵ بخش بین ۶ قطعه صفحه نیمه تراوا که ۳ قطعه آنیونی و ۳ قطعه کاتیونی است، از راست به چپ بخشهای ۱ و ۳ و ۵ در اثر خارج شدن آنیون و کاتیونها به آب نمکزدایی شده تبدیل و در بخشهای ۲ و ۴ آب تغلیظ شده که در نتیجه ورود کاتیون و آنیون از دو طرف کلرور سدیم مجدداً تشکیل شده است به غلظت آب موجود در بخشهای مزبور افزوده خواهد شد و بدین ترتیب محصول بخشهای ۱-۳-۵ به محل جمع‌آوری آب نمکزدایی شده و تولیدات بخشهای ۲ و ۴ به محل جمع‌آوری آب تغلیظ شده جاری می‌شود که عندالزوم قسمتی از آن برای افزایش هدایت الکتریکی محلول همین بخشها برگشت داده می‌شود. برای شستشوی صفحات نیمه تراوا نیز از محل اسیدی و قلیایی استفاده می‌شود و سپس با آب شستشو می‌دهند تا مجدداً آماده بهره‌برداری گردد.

سیستم الکترودیالیز برای نمکزدایی آب دریا و آبهای شور به کار گرفته می‌شود و ممکن است آب برای مصارف شرب یا صنعتی مصرف شود.

در شکل ۶-۹ به خوبی روشن است که بازای هر یک "کولومب" الکتریسته که به سیستم وارد شود، یک والانس گرم آنیون و یک والانس گرم کاتیون از آب گرفته خواهد شد و در بخش ۲ و ۴ سیستم که در بالا نشان داده شده جمع‌آوری می‌گردد. اختلاف سطح الکتریکی که در این سیستم به کار گرفته می‌شود، متناسب با تعداد بخشهای الکترولیز و نیروی لازم برای بهره‌برداری  $\frac{1}{6}$  تا  $\frac{1}{8}$  کیلو وات بازای هر یک کیلوگرم نمک که از آب گرفته شود، منظور می‌گردد و برگشت آب تغلیظ شده در مدار جریان بخشهای ۲ و ۴ نیز طوری تنظیم می‌گردد که هدایت الکتریکی ثابت را در سیستم تامین کند.

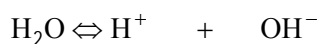
موضوع مهمی که باید مورد توجه قرار گیرد، این است که کلوئیدها و مولکولهایی که یونیزاسیون آنها در محیط صورت نمی‌گیرد (مواد آلی و سیلیس کلوئیدی) و همچنین میکرو ارگانسیمها در آب باقی خواهند ماند. به همین دلیل به پیش تصفیه مناسب برای حذف این مواد نیاز است.

مهمترین عیب این سیستم نیز عدم تحویل آب نمکزدایی شده به طور مداوم و بطور یکنواخت است و مرتباً به مقدار مواد محلول که از سیستم فرار می‌کند افزوده می‌شود؛ مگر اینکه مقاومت الکتریکی سیستم ثابت نگهداشته شود؛ در غیر این صورت مقداری از مواد محلول آب خام در آب نمکزدایی شده باقی خواهد ماند.

- به منظور بالا بردن کارایی در حد استاندارد رعایت مفاد زیر ضرورت دارد:
- کدورت آبی که وارد دستگاه می‌شود، باید حذف شود تا از رسوب مواد کلوئیدی روی صفحات نیمه تراوا جلوگیری گردد.
  - در صورتی که آب خام دارای آهن و یا آلومینیوم باشد، مقادیر فلزات مزبور نباید از ۰/۳ میلیگرم در هر لیتر تجاوز نماید و در مورد منگنز بیش از ۰/۱ میلیگرم در هر لیتر مجاز نیست.
  - اگر نمک‌هایی که قابلیت کریستالیزاسیون در شرایط عمل و یا ته‌نشین شدن دارند در آب خام موجود باشند، قبل از ورود به سیستم الکترو دیالیز باید در مورد حذف آنها اقدام کرد، به ویژه نمک‌هایی که در تغییر رقم pH به صورت نامحلول راسب می‌شوند.
  - کلر باقیمانده آزاد موثر به میزان بیش از ۰/۱ میلیگرم در هر لیتر سبب از کار افتادن صفحات نیمه تراوا می‌شود.
  - دترجتها و مواد آلی که امکان جذب در سطح صفحات نیمه تراوا را دارا باشند، نباید در آب خام وجود داشته باشند.
  - روغن و مواد نفتی موجود در آب خام قبل از ورود به دستگاه الکترو دیالیز باید حذف گردد.
  - ارگانسیمهای بیولوژیکی آب خام قبل از ورود به دستگاه الکترو دیالیز باید حذف گردد.
- تعمیرات و نگهداری سیستم با توجه به آسیب‌پذیری آن باید دقیقاً براساس دستورالعمل سازنده صورت گیرد.

## ۷- ایجاد تعادل شیمیایی در آب

آب خالص هر چند که فاقد ناخالصی است، قابلیت هدایت خیلی کمی دارد که دلیل بر وجود یونهای مثبت و منفی در آن است. آب خالص به مقدار کمی یونیزه می‌شود و به تعداد مساوی از یونهای  $H^+$  و  $OH^-$  تولید می‌کند، میزان این یونها مساوی و برابر  $1 \times 10^{-7}$  یون گرم بر لیتر است.



به علت کمی مقادیر یونهای حاصل شده مقدار آب تفکیک نشده را می‌توان همیشه ثابت دانست و قانون تاثیر غلظت‌ها را در مورد واکنش بالا به شکل زیر نوشت:

$$[H^+] \times [OH^-] = K_w$$

$$K_w = 1 \times 10^{-14}$$

در تمام محلولهای آبی با هر درجه اسیدی یا قلیایی رابطه بالا صادق است. با اندازه‌گیری و تعیین یک یون، یون دیگر با استفاده از رابطه فوق به دست می‌آید. غلظت یونهای فوق در آب را با اندازه‌گیری pH تعیین می‌کنند که در واقع عکس لگاریتم غلظت یونی  $H^+$  است.

$$PH = -\text{Log}[H^+]$$

در رابطه بالا  $[H^+]$  بر حسب مول بر لیتر است. این رابطه را برای  $[OH^-]$  می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$pOH = -\text{Log}[OH^-]$$

روابط بالا برای جلوگیری از نوشتن اعداد خیلی کوچک است که در این صورت آب خنثی مشخصات زیر را داراست:

$$[H^+] = 1 \times 10^{-7} \quad PH = -\text{Log}[1 \times 10^{-7}] = 7$$

در این صورت pH این نمونه آب برابر با ۷ است و به جای  $1 \times 10^{-7}$  نوشته می‌شود. هرگاه مقادیر pH و pOH در آب یکسان باشند آب حالت خنثی دارد و هر چه مقدار عددی pH از ۷ کمتر باشد، غلظت یون هیدروژن از  $1 \times 10^{-7}$  بیشتر و محیط اسیدیتر است و در صورتی که pH از ۷ بیشتر گردد، آب خاصیت قلیایی بخود می‌گیرد.

اندازه‌گیری و تعیین مقدار pH بسیار مهم است و استفاده از آن در تفسیر نتایج آنالیز شیمیایی آب و مراحل مختلف تصفیه آب اهمیت آن را نشان می‌دهد.

pH آبهای زیرزمینی و سطحی بسته به نوع ناخالصی که در آنها وجود دارد، معمولاً ۷ نیست؛ مثلاً: چنانچه در آبی گاز کربنیک، اسیدهای آلی، سولفات و... حل شده باشد، رقم pH کاهش می‌یابد و برعکس انحلال کربناتها، بیکربناتها و هیدروکسیدها موجب افزایش رقم pH می‌گردند.

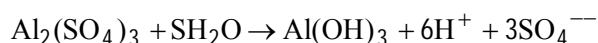
## ۱-۷ استفاده از pH در تصفیه آب

تنظیم pH در راندمان واحدهای مختلف تصفیه خانه‌تاثیر زیادی دارد که مواردی از آنها ذیلاً توضیح داده می‌شود:

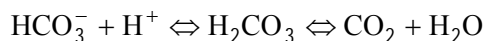
#### الف- تاثیر pH در واحد انعقاد و لخته بندی

مواد منعقد کننده معمولاً در یک دامنه‌ای از pH عمل می‌کنند؛ ولی بهترین راندمان آنها در محدوده معینی از pH است که تنظیم آن در محیط عمل توسط مواد قلیایی و اسیدی ضروری است. این مواد که معمولاً نمکهای آهن و آلومینیوم هستند با آب یا با قلیاهای موجود در آب وارد واکنش می‌شوند که منجر به تولید هیدروکسیدهای نامحلول این فلزات یعنی  $Al(OH)_3$  و  $Fe(OH)_3$  می‌شود و در نتیجه pH و قلیابیت محیط کاهش می‌یابد.

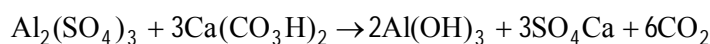
از طرفی بنا بر شناخت جدید از مکانیزم فرآیند انعقاد، نقش pH در خثی‌سازی و یا تقویت شارژ کلونیدهای تشکیل شده توسط لیگاندهای حاصل از عملکرد شیمیایی و سولفات آلومینیوم و یا آهن حائز اهمیت است. به طور مثال، با افزودن آلوم به آب، آلوم در آب یونیزه شده و با ایجاد یون هیدروژن pH تقلیل می‌یابد، به نحوی که حتی ممکن است، باعث جلوگیری از تشکیل مقدار بیشتر  $Al(OH)_3$  شود. در این صورت اگر قلیابیت طبیعی آب کافی نباشد، باید با افزودن آهک هیدراته، کربنات سدیم یا محلول سودسوزآور قلیابیت آن تامین گردد.



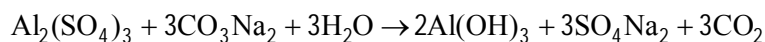
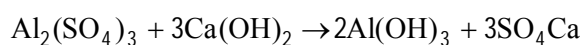
بیکربناتهای موجود در آب اینجا مانند تامپون عمل می‌کنند و به صورت زیر در می‌آیند:



با تجربه بیکربنات و مصرف یون هیدروژن  $CO_2$  حاصل می‌گردد که pH را کاهش می‌دهد و سختی کربناته کلسیم تبدیل به سختی غیر کربناته می‌شود:



در صورت استفاده از آهک و کربنات سدیم برای جبران کمبود قلیابیت محیط و ایجاد هیدرات آلومینیوم روابط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:



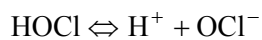
- با توجه به اهمیت pH برای واحدهای انعقاد و لخته‌بندی و اضافه نمودن قلیاها موارد زیر توصیه می‌گردد:
- مواد قلیایی باید دارای درجه خلوص مناسب و از نوع مرغوب باشند و قبل از استفاده در آب کاملاً حل گردند.
  - بهتر است این مواد قبل از مواد شیمیایی دیگر به آب اضافه گردند.
  - چنانچه نیاز به کاهش قلیابیت طبیعی آب برای به دست آوردن pH مطلوب کوآگولاسیون باشد، استفاده از اسید سولفوریک با صرفه‌تر خواهد بود.

#### ب- تاثیر pH در کلرآسیون آب

میزان حلالیت کلر در حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر در آب برابر ۷/۲۹ گرم و در ۱۰ درجه ۱۰ گرم بر لیتر است. وقتی که به شکل گاز در آب حل می‌شود، مطابق واکنش زیر، به سرعت هیدرولیز می‌گردد.



اسید هیپوکلرو یک اسید ضعیف است که احتمالاً بین ترکیبات کلر قویترین خاصیت میکربکشی را دارد و با یونیزاسیون آن یون  $\text{H}^+$  و یون هیپوکلریت حاصل می‌شود:

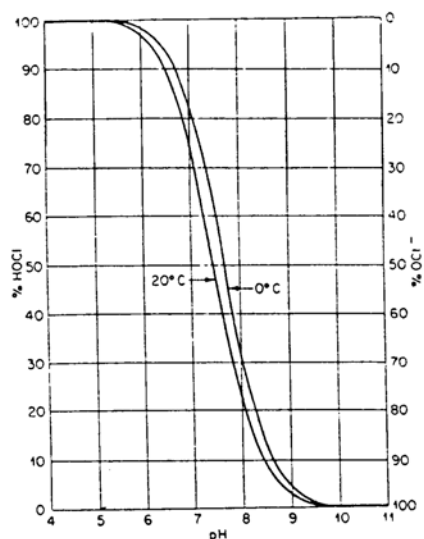


چگونگی پیشرفت یا برگشت تعادل فوق از روی معادل زیر قابل محاسبه است.

$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]}$$

مقدار  $K_i$  (ثابت تعادل) به درجه حرارت بستگی دارد و در صفر و  $20^\circ\text{C}$  به ترتیب برابر  $1/488 \times 10^{-3}$  و  $2/62 \times 10^{-3}$  است.

تاثیر pH آب در تعادلهای بالا واضح است. محاسبه و تجزیه نشان می‌دهد در محلولهای رقیق pH های بالاتر از ۴، واکنش تعادلی به سمت راست منحرف می‌شود و مقدار خیلی کمی کلر به شکل ملکول ( $\text{Cl}_2$ ) در محلول باقی می‌ماند و اساساً عمل ضدعفونی کردن محلولهای کلر نیز به همین علت انجام می‌گیرد (واکنش اول). اسید هیپوکلرو، اسید ضعیفی است و در pH های کمتر از تقریباً ۶، به مقدار جزئی تفکیک می‌شود، از این رو، در سطوح پایین pH، کلر عمدتاً به شکل HOCl وجود خواهد داشت. در فاصله pH بین ۶ و ۸/۵ (نظیر pH آبهای معمولی) کلر به دو صورت اسید هیپوکلرو و یون هیپوکلریت است و با رسیدن pH به بالاتر از تقریباً ۷/۸، میزان یونهای هیپوکلریت ( $\text{OCl}^-$ ) و از HOCl تفکیک نشده بیشتر خواهد بود؛ به طوری که در pH های حدود ۹/۵ و بالاتر تقریباً وجود آن به صد در صد می‌رسد (شکل شماره ۷-۱).



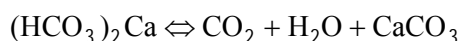
شکل ۷-۱ منحنی درصد HOCl بر اساس تغییرات pH

در pH بین ۵/۵ تا ۵/۶ نسبت  $\frac{HOCl}{OCl}$  با ازدیاد pH کم می‌شود و چون قدرت باکتری‌کشی اسید هیپوکلرو از یون هیپوکلریت بیشتر است، باید توجه داشت که در موقع ضد عفونی کردن آب اگر دارای خاصیت قلیایی باشد، اسید مزبور خنثی می‌شود و از خاصیت گندزدایی کلر کاسته می‌شود؛ لذا مقدار کلر لازم تابع pH آب بوده و باید سعی شود در موقع ضد عفونی کردن آب با کلر، pH آن تا حد امکان پایین باشد.

### ج- تعادل کربناتی و pH تعادل

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، گاز کربنیک به صورت آزاد و ترکیبات و بیکربنات در آب وجود دارند. گاز کربنیک از طریق اتمسفر و یا از تجزیه مواد آلی وارد آب می‌گردد. میزان این گاز در آبهای سطحی کمتر از ۱۰ و در آبهای زیرزمینی ممکن است به چند صد ppm برسد.

در آبهای طبیعی معمولاً تعادلی بین بیکربنات و کربنات کلسیم و گاز کربنیک وجود دارد که با به هم خوردن این تعادل آب خاصیت رسوبکنندگی و یا خوردندگی پیدا خواهد کرد. معادل این تعادل را به صورت زیر می‌توان نوشت:



اگر بتوانیم این عوامل را به نحوی کنترل کنیم، مانع رسوب کنندگی و خوردندگی آب شده‌ایم، در شرایط معمولی وضع گاز کربنیک طوری است که آب خاصیت خوردندگی ندارد و مانع ترسیب کربنات کلسیم و منیزیم هم می‌گردد. تعادل بالا در صورتی پایدار خواهد بود که نسبت معینی بین غلظت گاز کربنیک آزاد و بیکربناتها در آب موجود باشد.



این نسبت عبارت است از:

$$\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}_3\text{H}]^{-2}} = K$$

اگر این نسبت برقرار باشد، تعادل پایدار است و بیکربناتهای محلول تجزیه نمی‌شوند و گاز کربنیک نیز ترکیبات کم محلول کلسیم و منیزیم را در خود حل نمی‌کند. در صورتی که مقدار K کوچکتر یا بزرگتر از K تعادل باشد، تعادل در جهت راست و یا چپ به هم می‌خورد. در هر صورت گاز کربنیک آزاد مورد نیاز برای متعادل نگهداشتن بیکربناتها را که از رابطه بالا به دست می‌آید، گاز کربنیک تعادل و pH لازم را برای این مقصود pH تعادل یا pH اشباع (pH<sub>s</sub>) می‌گویند.

در صورتی که CO<sub>2</sub> آزاد کمتر از گاز کربنیک تعادل باشد، مقداری از بیکربناتهای کلسیم و منیزیم محلول به کربنات نامحلول تبدیل و رسوب می‌کنند در صورتی که مقدار گاز کربنیک آزاد بیشتر باشد، کربناتهای نامحلول را به صورت بیکربنات در خود حل می‌نماید که به آبهای دسته اول رسوبگذار و به آبهای دسته دوم خورنده می‌گویند.

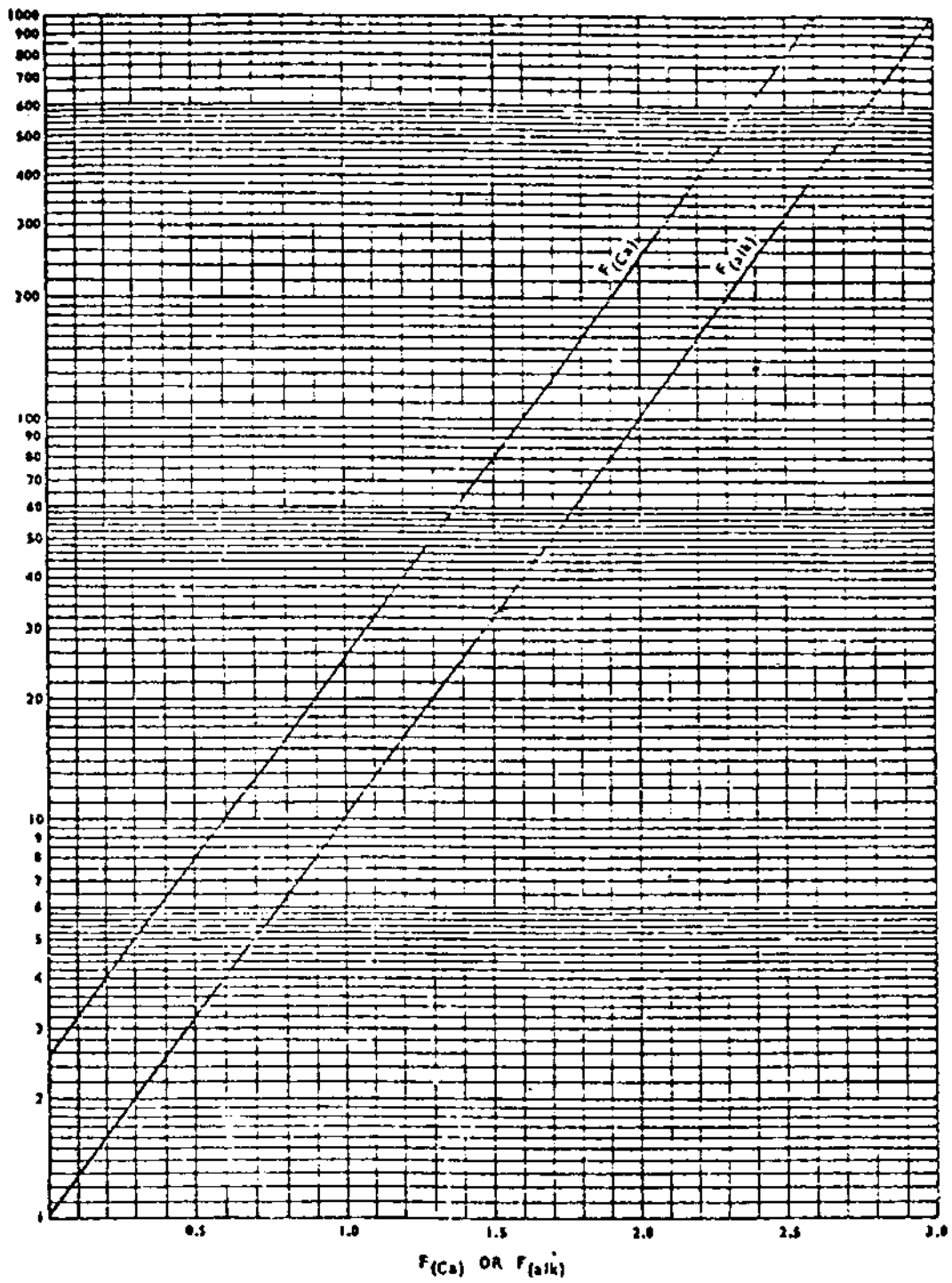
تعیین کننده معیار خورندگی یا رسوبگذاری آب ضریبی است به نام ضریب اشباع SI یا شاخص لانزلیه که از اختلاف بین pH معمولی آب و PH<sub>s</sub> به دست می‌آید.

$$SI = PH - PH_s$$

PH<sub>s</sub> را می‌توان با استفاده از منحنی لانزلیه (شکل شماره ۷-۲) و با اندازه‌گیری کلسیم، قلیائیت و املاح محلول آب به دست آورد:

$$PH_s = 11/6 - [F(\text{ca}) + F(\text{alk})]$$

اگر SI برابر صفر باشد، آب حالت تعادل دارد و اگر بزرگتر از صفر باشد، دارای خاصیت رسوبگذاری و در صورتی که کوچکتر از صفر باشد، آب دارای خاصیت خورندگی است.



شکل ۲-۷ منحنی تعیین فاکتورهای موثر در اندکس اشباع

- 1- Guidelines for Drinking- Water Quality, Voll . Recommendations, World Health Organization, Geneva, 1984.
- 2- Guidelines for Drinking - Water Quality, Vol.2. Health Criteria and other supporting information, World Health Organization, Geneva, 1984
- 3- Edward Arnold, Water Supply, A.C.Twort and R.C. Hoathe, London, 1982.
- 4- Water Treatment Plant Dseign, American Water Works Association, Denver, 1971.
- 5- P.D Haney, Water Quality and Treatment, McGraw- Hill, NewYork, 1971.
- 6- D.I. Cleland and W.R.King, Systems Analysis and Project Management McGraw- Hill, New York, 1985.
- 7- M.C.R and A.E.Greenberg and M.J.Taras, Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, American Public Health Association Washington D.C.,1993, 94.
- 8- Degremont Water Treatment Handbook, Firmin- Didot S.A., Paris. 1979.
- 9- Handbook of Chlorination,GEO. Clifford White, Van Nostrand Reinhold Company, 1972.
- 10- Harry M.Freeman, Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal, 1989.
- 11- Hans -Gunter Heitman, Saline Water Processing, 1990.
- 12- Process Design Manual for Carbon Adsorption, U.S, Environmental Protection Agency.
- 13- Ultraviolet Disinfection of Potable Water Supplies, Ontario Water Resources Commission, Division of Research.
- 14- Spiegler K.S, Laird A.D.K, Principles of Desalination Academic Press, New York 1980.
- 15- Howe, E,D. Fundamentals of Water Desalination, Nalco Dekker, INC, New York, 1971.
- 16- Terence. J.M.C Ghee, Water Supply and Sewerage, E.W.Steel, 1979.
- 17- Betz, Handbook of Industrial Water Conditionning.
- 18- Robert L. Sanks, Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineers, Ann Arbor Science, 1982.
- 19- Charles Raymond, Operation and Control of Water Treatment Processes, World Health Organization 1989.
- 20- James W.Patterson, Industrial Wastewater Treatment Technology.
- 21- H.E Babbitt, J.J. Donald, J.L. Cleasby, Water Supply Engineering, Mc Graw- Hill Book CO, 1962
- 22- C.N. Sawyer Chemistry for Sanitary Engineers, Mc Graw- Hill Book Co, 1960.
- 23- Weber, W,J, Physicochemical Processes for Water Quality Control", Wiley -Interscience, New York, 1972.

- ۱- شیمی و تصفیه آب- شمس مصباح- انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- تصفیه، انتقال و توزیع آب، ناصر رزاقی- جهاد دانشگاهی دانشکده بهداشت.
- ۳- مدیریت پسماندهای شیمیایی- سعید فردوسی- سازمان بازیافت و تبدیل مواد.
- ۴- فرآیندهای تصفیه آب- اسدالله ذهب صنیعی- شرکت نیرو چاپ.
- ۵- نشریه تجهیزات کلرزنی- طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.
- ۶- نشریات ارائه شده توسط WHO و AWWA.

In the Name of God  
Islamic Republic of Iran  
Ministry of Energy  
Iran Water Resources Management CO.  
Deputy of Research  
Office of Standard and Technical Criteria

# ***Guideline for Water Treatment Plants' Different Sections and Process***

Publication No. 177