



مجتمع آموزش عالی گناباد

به نام خدا

## اصول تصفیه آب و پساب‌های صنعتی

دکتر ولی اله ماندنی پور

۲۲	سه روش مهم برای حذف آهن و منگنز
۲۲	اکسیداسیون
۲۴	اکسیداسیون با کلر یا پرمنگنات
۲۶	حذف آهن و منگنز با ژئولیت منگنز
۲۶	حذف آهن و منگنز با تعویض کننده‌های کاتیونی
۲۷	<b>فصل پنجم: انعقادسازی و لخته‌گذاری</b>
۲۷	مکانسیم انعقادسازی
۲۷	تحرک ذرات
۲۸	ناپایدار کردن ذرات
۲۸	مکانیسم کار منعقدکننده
۲۹	واکنش‌های انعقادسازی
۳۰	مقایسه آلوم و کلرید آهن
۳۱	کمک منعقدکننده‌ها
۳۲	روش جارتست
۳۴	<b>فصل ششم: فیلترها</b>
۳۴	فیلتراسیون
۳۴	عوامل فیلتراسیون
۳۵	فیلترهای فشاری
۳۵	فیلترهای ثقلی
۳۷	فیلترها در مواقع تعطیلی
۳۷	کاربرد فیلترها
۳۸	استفاده مجدد از پساب فیلترها
۳۹	<b>فصل هفتم: حذف گازها</b>
۳۹	حلالیت گازها در آب
۴۰	ناخالصی‌های گازی آب
۴۱	حذف گازها
۴۱	روش فیزیکی حذف گازها
۴۲	دی‌گازاتور
۴۳	هوازداي گرم
۴۳	هوازداي سرد
۴۴	روش‌های شیمیایی حذف گازها
۴۶	<b>فصل هشتم: رزین‌های تعویض یونی</b>
۴۷	ظرفیت رزین
۴۸	انواع رزین‌های تعویض یونی
۴۸	رزین‌های کاتیونی قوی
۴۹	رزین‌های آنیونی قوی
۴۹	رزین‌های کاتیونی ضعیف
۵۰	رزین‌های آنیونی ضعیف

۸۴	تری هالومتان‌ها
۸۵	آشنایی با ضدعفونی کننده‌های مهم
۸۵	کلر
۸۸	پرمنگنات
۸۸	اوزون
۸۹	دی اکسید کلر

نام درس:	استاد:	مقطع:	پیش نیاز:
اصول تصفیه آب و پساب‌های صنعتی	دکتر ولی اله ماندنی پور	کارشناسی	شیمی فیزیک ۱، معدنی ۱، آلی ۱
نحوه‌ی ارزشیابی:			
ارزیابی مستمر و میانترم: ۸ نمره		پایانترم: ۱۲ نمره	
هدف کلی: آشنایی دانشجویان با آلاینده‌های موجود در آب و پساب‌های صنعتی و روش‌های مختلف تصفیه آب، آشنایی با نحوه‌ی گزارش آنالیز آب			
مراجع: اصول تصفیه آب (دکتر چالکش امیری)، تصفیه فاضلاب (دکتر منزوی)، تصفیه آب (دکتر پیکیری)			
هفته	موارد مورد بحث		
اول	معارفه، بیان اهداف درس، اهمیت تصفیه آب آشامیدنی و صنعتی و جایگاه تصفیه آب و پساب-های صنعتی در زندگی و محیط زیست		
اول	چرخه آب در طبیعت، انواع منابع آب و ویژگی هر کدام از آن‌ها، ناخالصی‌های کلی در آب‌های طبیعی		
دوم	تعاریف و اصول کلی در تصفیه آب ( TDS, EC, SAR, SS, BOD, COD, TOC و ...)		
سوم	قلیائیت و روش‌های حذف آن، pH آب و اثر کربن دی‌اکسید بر آن		
سوم	تعریف سختی آب، حذف سختی به روش آهک‌زنی، فرایندهای آهک‌زنی گرم و سرد		
چهارم	آهن و منگنز و روش‌های حذف آن‌ها		
پنجم	انعقادسازی و لخته‌گذاری آشنایی با انواع منعقدکننده‌ها و چگونگی عمل آن‌ها		
پنجم	کمک منعقدکننده‌ها، روش جارتست در تعیین منعقدکننده و کمک منعقدکننده		
ششم	فیلتراسیون، انواع فیلتر در تصفیه آب		
هفتم	حذف گازها، هوازداها و روش‌های شیمیایی حذف گازها از آب		
هفتم	رزین‌های تعویض یونی، ظرفیت رزین، رزین‌های کاتیونی قوی و ضعیف		
هشتم	رزین‌های آنیونی قوی و ضعیف، روش‌های احیاء رزین، محاسبه حجم رزین، دستگاه تعویض یونی مختلط		
نهم	اصول اسمز معکوس، غشاء اسمز معکوس، رسوب‌گرفتگی غشاء، اقتصاد اسمز معکوس		
نهم	اصول کار الکترودیالیز، کاربردهای الکترودیالیز در تصفیه آب		
دهم	مقایسه روش‌های پیشرفته تصفیه آب از نظر هزینه، کیفیت آب تصفیه شده، کیفیت آب ورودی و از نظر کاربرد		

آب از دو عنصر که در دما معمول گاز هستند تشکیل یافته است. هیدروژن عنصری است که می سوزد در حالی که اکسیژن برای سوزاندن لازم است و این در حالی است که برای خاموش کردن آتش در بسیاری از موارد از آب استفاده می شود. آب گوارترین نوشیدنی است (در صورتی که آب سنگین  $D_2O$  که فقط به جایی هیدروژن، ایزوتوپ سنگین یعنی دوگرم جایگزین شده است، یک ماده سمی است).

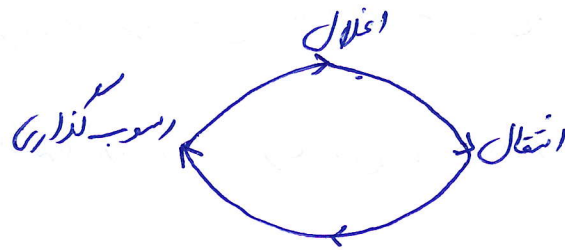
کمتر کارخانه ای است که با آب سروکار نداشته باشد. آن هم دیگر موضوع را = زنده بدون آب قادر به ادامه حیات نیستند. بیشتر سطح زمین از آب پوشیده شده است و قسمت اعظم آن به صورت دریاها و اقیانوس ها و کوه ها و غی هستند که قابل شرب نیستند. بشر تقریباً از کل آب روی زمین را مورد بهره برداری قرار می دهد که به صورت آب های سطحی (جویاها، رودخانه ها و دریاچه ها) و آب های زیرزمینی (چشمه و چاه) است.

### ویژگی آب های زیرزمینی :

1. مواد معلق در آن ها بسیار کم است.
2. ممکن است دارای ذرات شنی باشند.
3. معمولاً مواد آلی بسیار کم دارند.
4. این آب ها حاوی آهن محلول و گاهی هم منگنز محلول هستند که وقتی آب در معرض اکسیژن قرار می گیرد در اثر اکسید شدن توسط هوا، ذرات زرد - قهوه ای در آن ها ظاهر می شود.
5. ممکن است در این آب ها کربن دی اکسید زیاد وجود داشته باشد و pH این آب ها معمولاً در محدوده 6.9 - 7.9 می باشد.



آب همیشه در حال اغلال، انتقال و یا رسوب گذاری است.



بنا بر آب موجود در هوا، در اثر معاینه صورت باران در آب که در موقع باریدن مقدار کم و خاک، اکسژن، کربن دی اکسید و دیگر گازها را در خود حل می کند. در روی سطح زمین، آب مقدار کم از مواد معدنی را در خود حل کرده و همراه مواد دیگر به نقاط مختلف منتقل می کند. آب در موقع

تغیور در لایه های مختلف زمین، قسمتی از مواد معدنی و میکروب ها را در لایه های مختلف زمین از دست می دهد.

### ناخالصی های آب را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

1. مواد معدنی: همانند باکتری ها، گل و لای، روغن، جلبک ها و مواد ریز کلوئیدی. جلبک ها در هر تانک، دریاچه و یا منبعی که نتواند نیروی و فیلتر برای تغذیه و نور خود را برای تأمین انرژی و فراهم آورد عامل به رشد دارند. برای جلوگیری از رشد جلبک می توان از کاتکود (Cuscut. 5112) استفاده کرد.
2. گازها: همانند اکسژن، کربن دی اکسید، نیترژن، هیدروژن سولفور و متان. حلالیت گازها در آب تابع دما و فشار و همچنین آن گاز است. هر چه دما آب بیشتر باشد حلالیت گازها در آب کمتر می شود و هر چه فشار بیشتر باشد حلالیت آن گاز در آب بیشتر می شود.
3. عامل دیگری که بر روی مقدار گاز موجود در آب تأثیر می گذارد، باکتری ها هستند. باکتری های هوازی با مصرف اکسژن محلول در آب، باعث کاهش اکسژن می شوند و باکتری های بی هوازی با مصرف بعضی از ناخالصی های موجود در آب باعث تولید گاز متان، آمونیاک یا هیدروژن سولفور می شوند. بنابراین وجود گازهای چون متان، آمونیاک و یا هیدروژن سولفور

## اثرات زیان بخشی ناخالصی‌های آب:

الف) تولید رسوب در دستگاه‌های حرارتی و دیگ بخار. رسوب کربنات منگنز می‌تواند باعث کاهش انتقال حرارتی، کاهش عمر مفید سربیس دادن اجزاء و کاهش تعطیل کردن واحد گردد. که در نهایت باعث کاهش محصول می‌شود.

ب) تولید بخار با کیفیت پایین: مواد موجود در آب تحت شرایطی می‌توانند با بخار آب خارج شود. و در مکان‌های نامناسب ته‌نشین شوند مثلاً سیس همرا بخار خارج شود. و در اثر سرد شدن روی پره‌های توربین رسوب می‌کند که باعث کاهش رانندگی می‌شود.

ج) خوردگی بویلرها و دیگر سیستم‌های حرارتی و لوله‌ها

د) اتلاف مواد شایان مثل صابون: یون‌های کلیم و منیزیم موجود در آب با صابون ترکیب شده و آن را به صورتی نامحلول درآورده و با رسوب دادن مواد صابونی، محلول صابون را از نقش اصلی آن یعنی تمیز کردن باز می‌دارند. هم باقی‌گذارند که روی محموله مواد غذایی و نساجی

## رابطه بین سختی و خوردگی:

رابطه بین سختی و خوردگی پیچیده است. آب طبیعی اگر سخت نباشد به معنوم این است که اسیدیته آن بالاست (دارای اسید محلول می‌باشد) چنین آبی خوردنده است و موجب خوردگی می‌شود. آب‌های سخت در بسیاری از موارد شدیداً خوردنده می‌شوند. عمل ایجاد رسوب در آب سخت باعث نرم شدن آب و کاهش خوردگی می‌شود.



رسوب در نقاطی تشکیل می‌گیرد که خوردگی می‌شود و در نقاط دیگر که رسوب وجود ندارد آب خوردنده می‌شود. نکته‌های زیر مشابه به یکدیگر که روی پارچه‌ها دیده می‌شوند ناشی از چیست؟ می‌تواند ناشی از آهن و سنگسری باشد که در آب به صورت محلول بوده و در اثر اکسیداسیون با هوا به صورت هیدروکسید آهن و اکسید سنگسری رنگ‌های زرد و قهوه‌ای متمایل به سیاه درآمده‌اند.



## تعارف و اصول کلی در تصفیه آب

### فصل دوم:

#### شکل گزارش آنالیز آب:

غلظت ناخالص ها در آب بسیار کم است. از این رو برای بیان غلظت یون ها از واحد ppm «part per million» استفاده می کنند و این بیان به دو صورت ممکن است: (الف) بر حسب جرم یون (ب) بر حسب اکسیدان از یون

چون در فرایندهای تصفیه آب با واکنش های شیمیایی سروکار داریم از این رو ترجیح دارد که غلظت ها بر حسب اکسیدان بیان شوند اما بیان غلظت ها بر حسب اکسیدان معمولاً عدد کوچکی و اغلب اعشاری است برای آن که این مشکل حل شود غلظت اکسیدان را در عدد ۵ ضرب می کنند و به عدد حاصل، غلظت معادل کربنات کلسیم ( $CaCO_3$ ) می گویند چون جرم مولی اکسیدان کربنات کلسیم ۵ برابر باشد.

غلظت یون های مختلف بر حسب معادل کربنات کلسیم جمع پذیر هستند مثلاً کلسیم و منیزیم هر دو باعث سختی آب می شوند بنابراین برای بیان سختی کل آب می توان غلظت کلسیم و منیزیم را با هم جمع کرد و یا غلظت همه کاتیون ها را با هم جمع کرد که برابر غلظت همه آنیون ها می شود.

معمولاً غلظت آهن، منگنز و سیلیکا را به صورت یون (معادل کربنات کلسیم) بیان نمی کنند چون این مواد اغلب کلورید هستند.

مثال

\* اگر غلظت سولفات کلسیم در یک نمونه آب 18 mg/L باشد، غلظت سولفات کلسیم بر حسب معادل کربنات کلسیم چقدر است؟

	وزن یون	وزن اکسیدان
$CaSO_4$	$Ca^{2+}$ 40	20
	$S^{2-}$ 32	16
	$O^{2-}$ 16	8

$$20 + 16 + 4(8) = 68$$

جرم مولی اکسیدان سولفات کلسیم

$$18 \text{ mg/L} = 18 \text{ ppm}$$

$$\frac{18}{68} = 0.26$$

$$0.26 \times 50 = 13$$

ppm معادل کربنات کلسیم

**مواد جامد معلق در آب SS (Suspended solids):** اگر آب را از یک فیلتر بسیار ریز عبور دهیم، مواد جامد محلول و نیز مواد کلوئیدی از فیلتر عبور می کنند و ذرات جامدی که در فیلتر باقی می ماندند مواد جامد معلق آب مورد نظر هستند. این مواد اندازه ای در حد میکرومتر و بالاتر دارند.

**کدریت (Turbidity):** مواد کلوئیدی، کدریت نمونه را تشکیل می دهند. کدریت را استاندارد چنین تعریف می شود: یک خاصیت فیزیکی نمونه است که باعث می شود نور تابیده شده به نمونه متفرق و یا جذب شود و در عبور نکند.

**ناخالصی های آل در آب:** بعضی از مواد آل به صورت ذرات کلوئیدی هستند اما بیشتر مواد آل به صورت محلول هستند. آلانیدهای آل ممکن است باعث بو، رنگ و طعم نامطبوع آب شوند. ناخالصی های آل را با چند تست شاخص گزارش می کنند: اکسین مورد نیاز بیولوژیکی، اکسین مورد نیاز شیمیایی، کل کربن آل، اثر ششایی فرم

**اکسین مورد نیاز بیولوژیکی BOD (Biological oxygen demand):** منظور از این شاخص، تعیین

آن قمت از آلانیدهای آل است که باکتری ها قادر به تجزیه آن ها هستند. چون تجزیه مواد آل توسط باکتری ها به دما و زمان بستگی دارد از این رو مقدار آن را در دما  $20^{\circ}\text{C}$  اندازه گیری می کنند. BOD یک نمونه در طی ساعات و حتی روزهای اولیه متفاوت می باشد و امروزه در سطح جهانی مقدار این شاخص در طی پنج روز را به عنوان استاندارد انتخاب کرده و آن را

به صورت  $BOD_5$  نشان می دهند

برای اندازه گیری  $BOD_5$  از دستگاه استفاده می شود که گاهی اکسین در نمونه را (که توسط باکتری های هوازی مصرف می شود تا مواد آل را تجزیه کنند) در طی پنج روز با غلظت مواد آل قابل تجزیه توسط باکتری مرتبط می سازد. بالا بردن BOD معرف سهولت تعیین پذیری نمونه است

**اکسین مورد نیاز شیمیایی COD (Chemical oxygen demand):** منظور از این شاخص دانستن مواد آل موجود

در آب است که می توان آن ها را توسط کرومیک اسید ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ) اکسید کرد و کربن را به صورت گاز کربن دی اکسید درآورد

این شاخص هم معرف مواد آل قابل تجزیه و هم غیر قابل تجزیه با باکتری می باشد. بنابراین COD با تقریب خوبی می تواند

معرف ناخالصی های آل نمونه باشد.



تمرین  
\* اگر غلظت آلومینیم  $Al^{3+}$  در یک نمونه آب 25 ppm باشد غلظت آلومینیم بر حسب معادل کربنات چقدر است؟  
 $Al^{3+}$  27 9

$$\frac{25}{9} = 2.778$$

$$2.778 \times 50 = 138.9 \text{ ppm معادل کربنات}$$

تمرین  
\* اگر غلظت یون منیزیم بر حسب معادل کربنات 170 ppm باشد، غلظت منیزیم بر حسب خودی چقدر است؟

$$\frac{170}{50} = 3.4$$

$$3.4 \times 12 = 40.8 \text{ ppm بر حسب خودی}$$

تمرین فلایات  
\* در تعیین فلایات کل در یک نمونه آب با حجم 200 میلی لیتر که pH آن برابر 10 می باشد 30 میلی لیتر سولفوریک اسید 0.02 N زایل برای رسیدن به pH 4.5 مصرف شده است. فلایات کل بر حسب معادل کربنات چقدر می باشد؟

$$\text{معادل کربنات} = \frac{30 \times 0.02 \times 50000}{200} = 150 \text{ ppm}$$

$$\text{فلایات کل} =$$

تمرین  
\* برای تعیین فلایات کل نمونه آب را با کلریدریک اسید 0.1 N زایل تیر کنیم

برای رسیدن به pH = 8.3 معادل 50 میلی لیتر اسید مصرف می شود پس برای رسیدن به pH 8.3

4.5، 0.1 میلی لیتر دیگر کلریدریک اسید مصرف می شود. فلایات کل در کل را بیابید.

هیچ آنالیز آب بدون معلوم کردن pH کامل نخواهد بود و نیز توجه داشته باشید که pH به ما بتکلی دارد به طوری که با افزایش دما pH کاهش پیدا می کند.

**قلیائیت آب (Alkalinity):** قلیائیت آب نمایانگر ظرفیت آب برای خنثی کردن اسید افزوده شده یا رسیدن به pH

حدود 4.5 است. هر چه قلیائیت آب بیشتر باشد ظرفیت بافر آن بیشتر است. بنابراین دانستن قلیائیت آب ممکن دانستن pH آب می باشد چون pH آب معرف قدرت اسیدی آب بوده ولی قلیائیت آب معرف مقاومت آب در برابر تغییرات pH است.

آبی که حاوی 1 ppm گاز  $CO_2$  و 10 ppm قلیائیت باشد دارای همان pH آب است که حاوی 10 ppm گاز  $CO_2$  و 100 ppm قلیائیت است. اما اگر به آب اولی 4 ppm گاز  $CO_2$  اضافه کنیم pH آن کاملاً تغییر می کند ولی اگر به آب دومی همان مقدار گاز  $CO_2$  اضافه کنیم تغییر pH قابل توجه نیست و این معرف نقش قلیائیت در تولید محیط بافر در آب می باشد.

قلیائیت آب طبیعی معمولاً برابر مجموع غلظت یون های  $CO_3^{2-}$ ،  $HCO_3^-$  و  $OH^-$  است. (دو نوع قلیائیت عبارتند از: 1. قلیائیت سار یا قلیائیت نسبت به قفل فتالین M

2. قلیائیت کل یا قلیائیت نسبت به متیل اورانژ M

برای اندازه گیری قلیائیت یک نمونه آب به آن چند قطره قفل فتالین اضافه می شود اگر محلول از رنگانی زرد، قلیائیت دارد و در غیر این صورت قلیائیت ندارد پس با سولفوریک اسید آن را تیتر می کنیم در pH حدود 8.3 رنگ از رنگانی محلول از بین خواهد رفت. در این جا هر چه کمتر ترکیب از سولفوریک اسید مصرف شده معرف 10 ppm قلیائیت سار بر حسب معادل کریم است. واکنش های انجام شده تا این مرحله به صورت زیر است:

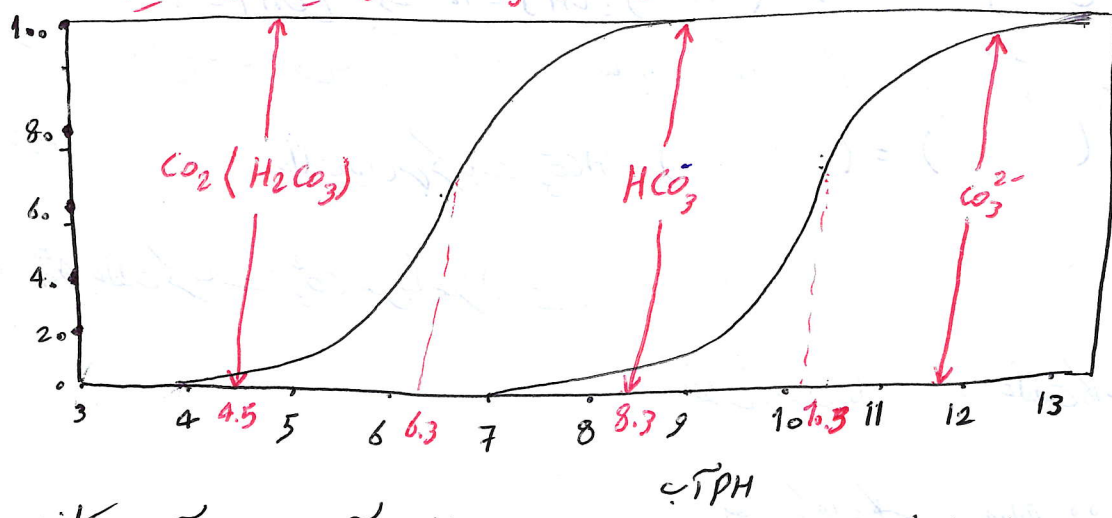


هرچه قلیائیت ساد کمتر قلیائیت کل بیشتر باشد. pH آب کمتر است و هرچه قلیائیت ساد بیشتر شود pH آب بیشتر می شود زیرا قلیائیت ساد معروف غلظت یون های هیدروکسید و کربنات است که در pH های خیلی قلیا دارای غلظت قابل توجه هستند.

مثال

\* آب های آنیون سنگین (هنگام قلیائیت آب می توانند هزیما وجود داشته باشند؟ خیر، زیرا غلظت یون های هیدروکسید OH<sup>-</sup> و کربنات CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> در pH های بزرگتر از ۱۰ و غلظت یون HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> در pH های کمتر از ۱۰ قابل توجه می شوند.

درصدی از CO<sub>2</sub> که در pH های مختلف به صورت CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> و HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> در آب به صورت زیر است:



در واقع H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> اسیدی ناپایدار در آب است و به صورت CO<sub>2</sub> و H<sub>2</sub>O در آب می تواند به صورت های HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> و CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> تبدیل شود که بستگی به pH آب دارد. شکل بالا تعادل سه شکل CO<sub>2</sub>، CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> و HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> را بر حسب pH آب نشان می دهد.

ناخالصی	غلظت معادل کربنات کلیم / ppm
Ca <sup>2+</sup>	200
Mg <sup>2+</sup>	100
K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup>	100
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	100
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	100
Cl <sup>-</sup>	?

\* آب با مشخصات ذیل مورد نظر است:

الف) غلظت یون کلر در این نمونه آب بر حسب معادل کربنات کلیم چقدر است؟  
 $200 + 100 + 100 = 100 + 0 + 100 + x \Rightarrow x = 200$  ppm معادل کربنات کلیم  
 ب) غلظت یون کلر در این نمونه بر حسب حدود یون کلر چقدر است؟ (وزن یون کلر 35.5)  
 $\frac{200}{35.5} = 4 \quad \frac{x}{35.5} = 4 \Rightarrow x = 142 \text{ ppm}$  بر حسب حدود یون  
 ج) قلیائیت ساد (p) و قلیائیت کل (M) این نمونه را تعیین کنید.

$p = 0$  = مجموع غلظت یون های هیدروکسید و کربنات =

$M = 0 + 100 = 100$  = مجموع غلظت یون های هیدروکسید و کربنات و کربنات =



2. **تصفیه داخلی:** اگر مراحل مختلف تصفیه آب در داخل واحد صنعتی انجام شود به آن تصفیه داخلی گویند. باکتری‌های نیاز به آب با خلوص بالا تر، تصفیه داخلی از اهمیت زیادی برخوردار شده است و در کمتر واحد صنعتی است که نیاز به تصفیه داخلی باشد. استفاده از مواد شیمیایی برای تنظیم pH مواد ضد خوردگی در داخل واحد، ضربه تصفیه داخلی دهند.

در فصل هار بعد به توضیح عملیات واحد مهم معمول در تصفیه آب می‌پردازیم.

## فصل سوم: کاهش سختی آب به روش آهک زنی

در فرایند آهک زنی، مواد زائد محلول در آب را به صورت نامحلول در آورده تا به صورت رسوب ته نشین شوند و محلول به فرایند زیر اطلاق می‌شود.

1. آهک یا آهک و سود زنی برای کاهش سختی

2. اکسیداسیون برای حذف آهن یا منگنز

3. انعقاد زنی برای کاهش کدورت و مواد معلق آب

**سختی آب:** سختی آب ناشی از وجود کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در آب می‌باشد. هر چقدر که کاتیون‌های دیگر چون آهن و منگنز نیز می‌توانند تولید سختی کنند و چون غلظت آن‌ها در آب بسیار کم است اصطلاحاً به مجموع کاتیون‌های کلسیم و منیزیم، سختی آب می‌گویند.

در آب‌های طبیعی غلظت کلسیم حدود دو برابر منیزیم است در حالی که در آب دریا غلظت منیزیم حدود پنج برابر کلسیم می‌باشد.

**سختی موقت (Carbonated hardness):** سختی موقت یا سختی کربناته و یا به عبارت دیگر سختی پرکربناته املح

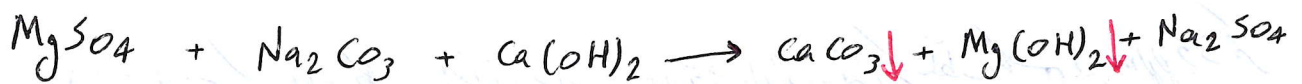
پرکربناته کلسیم و منیزیم است که در اثر وارد شدن از حالت محلول به صورت غیر محلول در می‌آیند.



در این واکنش ها ابتدا گروه هیدروکسید که از آهک به آب اضافه می شود با یون پرکربنات ترکیب شده و تولید یون کربنات می نماید. یون کربنات با یون کلسیم تولید نمک نامحلول کلسیم کربنات می نماید. یون کلسیم هم از خود آب و هم از آهک تأمین می شود. دیده می شود که به ازاء هر اکسیدان پرکربنات، دو اکسیدان کربنات تشکیل می شود.



واکنش سودا با نسیم دائم سولفات به صورت زیر است:



نسیم آب رقیق اصلی ایجاد رسوب در نسیم ها است.

حذف هر اکسیدان نسیم منجر به غیر کربنات احتیاج به یک اکسیدان سودا و یک اکسیدان آهک دارد.

تذکر این نکته لازم است که واکنش های آهک زنی صد درصد کامل نیستند، از این رو همیشه پس از آهک زنی هنوز هم

مقداری از نسیم باقی می ماند. برای حذف این مقدار نسیم آهک و سودا بیشتر از مقدار استوکیومتری انتخاب می شوند.

از نظر تئوری مقدار کلسیم کربنات محلول در حال تعادل با رسوب باید تا 35 ppm بر حسب معادل کربناتر کاهش یابد

ولی در شرایط حوضچه آهک زنی معمولاً به کمتر از 50 ppm اکتفا نمی کنند. هر چند اگر که نسیم کل باقی مانده بیشتر از 80 ppm باشد عموماً فکرات کال در محوره برداری است.

ذرات نمک های غیر محلول کلسیم کربنات و منیزیم هیدروکسید آنقدر ریز هستند که بسیار کندی ته نشین می شوند بنابراین در فرایند

آهک زنی باید مواد منعقد کننده مانند آلوم، کلرید آهن (III)، سولفات آهن (II) یا (III) به آب اضافه کرد تا ذرات

تشکیل دهنده، سنگین شده و در نتیجه سرعت ته نشینی افزایش یابد.

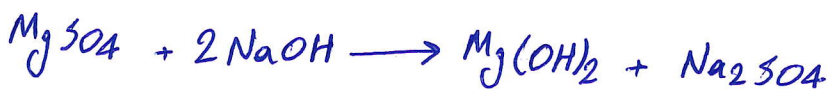
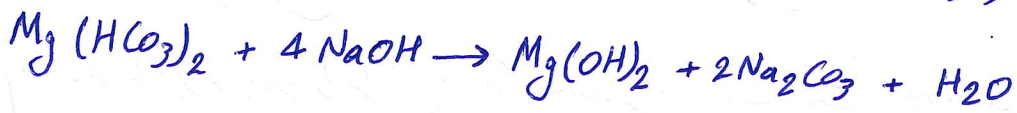
احتیاج به مواد منعقد کننده نیست مگر آنکه آب مورد نظر دارای کدورت و مواد آلودگی زیادی باشد.

4. در فرایند گرم کردن در آنکه متعاً از آب خالص می شود و از این رو احتیاج به حذف شیمان آن نیست.

5. در فرایند گرم کردن محلول در آب خروجی از سیستم کاهش می یابد (اکسین یکی از عوامل مهم در خوردگی خارج آب است)

6. در فرایند گرم کردن مقدار سیلیس محلول را می توان تا 1 ppm بر حسب  $\text{SiO}_2$  کاهش داد به شرط آنکه عوامل جاذب سیلیس به اندازه کافی به محلول فرایند اضافه شوند.

گاهی به جای آهک سودا از سود سوزآور (NaOH) استفاده می کنند. واکنش های مربوط به صورت زیر است:



مدیرکننده تولید می کند در واکنش اول در واکنش سوم برای از بین بردن نمک غیر کربنات استفاده می شود.

استفاده از سود سوزآور برای کاهش نمک آب می تواند دارای مزایای زیر باشد:

1. اغلب نیازی به ماده دوم نیست.

2. استفاده از آهک معمولاً بر درستی از سود است.

3. در اثر نگهداری فاسد نمی شود.

4. حجم کم تولید می کند. ( $\text{CaCO}_3$ ) کمتر خوله دارد.

5. حذف منیزیم کامل تر انجام می شود.

فرایندهای آهک زنی علاوه بر کاهش نمک آب دارای فواید زیر نیز می باشد:

1. کاهش فلزات سنگین و ترکیبات دیگر فلزی و غیر فلزی است.

2. کاهش موثر باکتری ها، ویروس ها و جلبک ها.

3. کاهش هیدروکربن ها، فسفر، سرب و کروم و نیز سیلیکا.



\* چرا توصیه می شود که در حوضچه های آهک زنی، هیدروکسید اضافی در محیط داشته باشیم؟ اگر در یک واکنش بسیار هیدروکسید (هیدروکسید) به مقدار استوکیومتری انتخاب شوند واکنش در مرحله اول محدود می شود بنابراین در این جا مقدار هیدروکسید را به صورت اضافی در نظر می گیرند تا واکنش های حذف و کاهش سختی به طور کامل صورتی انجام می شوند.

\* اگر به جای هیدروکسید کلیم، از هیدروکسید منیزیم یا کولید هیدروکسید اضافی استفاده شود رانندگی حذف سختی کاهش می یابد یا اقتضای؟ چرا! کاهش می یابد زیرا هیدروکسید منیزیم  $Mg(OH)_2$  به صورت رسوب می باشد و در آب نامحلول است و کولید هیدروکسید کربن می نماید.

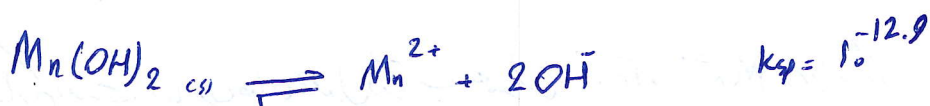
## فصل چهارم: آهن و منگنز

مقدار مجاز آهن و منگنز بسیار کم و برای آب های صنعتی حدود  $0.3 - 0.05 \text{ mg/l}$  و برای آب های آشامیدنی به ترتیب  $0.3 \text{ mg/l}$  و  $0.05 \text{ mg/l}$  می باشد.

آهن و منگنز به صورت دو ظرفیتی محلول بوده و اغلب در آب های زیر زمینی دیده می شوند. اگر به صورت یون های محلول باشند، می توانند در اثر اکسید شدن و در نتیجه ته نشین شدن تولید لکه ها و بعضاً خطوط رنگی نمایند.

معمولاً آب های میست سرد که در عمق کم قرار دارند به علت مجاورت با اتمسفر و وجود اکسیژن محلول می توانند عاری از آهن و منگنز باشند ولی آب های در عمق زیاد، به علت فعالیت باکتری ها و فقدان اکسیژن حاوی آهن و منگنز هستند. اگر آب آشامیدنی حاوی آهن باشد مزه آن نامطبوع خواهد شد.

در محیط با قلیائیت و سولفات کم، حالت آهن و منگنز از روابط زیر تبعیت می کند:



آب که از چاه بیرون می آید متبلبل رنگ است اما به مرور زمان به خاطر ترکیب اکسیژن هوا با آهن و منگنز محلول در آب چاه به صورت سبزی رنگ و درختانی به رنگ زرد تا نارنجی به سبزه در می آید که نشانه اکسید شدن آهن و منگنز محلول به صورت  $Fe^{3+}$  و  $Mn^{4+}$  می باشد. واکنش های شیمیایی مربوط به صورت زیر است:



مقدار بسیار کمی از هوائ محلول در آب قادر به اکسیداسیون مقادیر قابل توجهی از این دو یون می باشد. هیدروکسید آهن (III)

واکسید منگنز (IV) ته نشین شده را از فیلترهای شش یا فیلترها با سبزه فیلتر عبور می دهند تا رسوبات در فیلتر از محلول جدا شوند.

این کار فایده دیگری هم دارد و آن این که مواد ته نشین شده در سبزه فیلتر، یون های اکسید شده  $Fe^{2+}$  و  $Mn^{2+}$  را جذب می کنند.

بنابراین با گذشت زمان و در نتیجه افزایش رسوبات روی سبزه فیلتر رانده حذف آهن و منگنز بحدود می باید نکته مهم در

اکسیداسیون این دو فلز این است که سرعت اکسیداسیون به pH و نیز ترکیب آب مورد نظر بستگی دارد. چنان چه در

فرانده آهک زنده اگر pH حوضچه آهک زنده بالاتر از 9.8 باشد (که عموماً هم باید باشد) آهن و منگنز تقریباً ۱۰٪

حذف می شوند. محدود در pH بحدود برابر اکسیداسیون سریع آهن 9-7 و برای منگنز 10.5-9 می باشد.

اگر pH آب خیلی پایین تر از محدود در pH بحدود باید برای تسریع در اکسیداسیون، pH را افزایش داد. این

عمل به دو صورت ممکن است:

۱. کاهش کربنات اکسید از طریق هوا دهی

۲. اضافه کردن یک ماده قلیایی (ترجیحاً آهک)

آهک با کاهش کربن دی اکسید، pH آب را بالا می برد و هنوز باعث افزایش قلیائیت آب می گردد. در هوا دهی دو کار

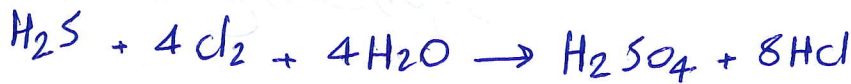
همزمان انجام می شود. اول آنکه کربن دی اکسید حذف می شود که باعث افزایش pH می شود. دوم آنکه اکسیژن لازم برای اکسیداسیون



بجای پرکنند = حدود هفت برابر کمر است. از طرف مقدار نیروی پرکنند = آب باید کنترل شود زیرا پرکنند  
اضافه آب رنگ اغوان می دهد. در صورتی که کمر اضافی رنگ به آب می دهد و وجود مقدار کمی کمر برای از بین بردن  
بakteriya ها مطلوب است.

مواد شیمیایی لازم برای حذف منگنز در برابر آهن است.

اغلب آب های زیرزمینی به همراه آهن و منگنز مقدار هیدروژن سولفور هم دارند. بنابراین مقدار از مایه اکسیدان  
صرف اکسید کردن هیدروژن سولفور می شود:



در عمل ابتدا با روش هوادری بیشتر هیدروژن سولفور حذف می شود سپس باقیمانده را با کمر حذف می نمایند. فرم های  
آهن آهن و منگنز معمولاً در برابر اکسیدانست. های ضعیف مثل هوا مقاومت می نمایند. اما این نوع آهن و منگنز را معمولاً  
با کمک / آهن سوزان یا کلردن اکسید می توان حذف کرد.

\* مصرف پرکنند = برابر اکسیداسیون آهن و منگنز کمتر از مقدار استوکیومتری است؟ و در مقدار کمر لازم برای اکسیداسیون  
این فلزات = بیشتر از مقدار استوکیومتری است؟ چرا؟ در اثر اکسیداسیون آهن و منگنز توسط پرکنند = رسوب  $MnO_2$   
تولید می شود که این محصول خود می تواند آهن یا منگنز دو ظرفیتی را اکسید کند. اما اگر اکسیداسیون توسط کمر صورت  
گیرد، قسمتی از کمر مصرف صرف اکسید کردن گازها می شود  $H_2S$  یا از بین بردن باکتری ها می شود. بنابراین کمر بیشتر  
مورد نیاز خواهد بود.

## فصل پنجم: انعقاد زیر و نیمه گذاری (Coagulation & Flocculation)

اندازه ذرات ناخالصی در آب می تواند از چند میکرومتر (مواد محلول) تا چند سانتیمتر (مواد معلق) باشد. هر چه ذرات معلق در آب ریزتر باشند برای حذف آن ها احتیاج به روش ها و دستگاه ها پیچیده تری است.

ذرات با ابعاد بزرگتر از سانتیمتر رایج در آب می تواند با صفحات مشبک (توری) حذف گردد. برای حذف ذرات ریزتر باید با توجه به کمایل ذرات به ته نشینی، شناور سازی یا تعلیق روش مناسب را انتخاب کرد.

انعقاد زیر و نیمه گذاری فرایندهایی هستند که در آن ها ذرات بسیار ریز کدریت و رنگ به صورتی که در آنها به اندازه کافی درشت در می آیند که در مخایط حذف آن ها به روش های مختلف فیزیکی مثل ته نشینی، فیلتراسیون و یا شناور سازی با سرعت معقول انجام پذیرد.

### مکانیسم انعقاد زیر:

برای آن که بتوان ذرات ریز را به ذرات درشت تر تبدیل کرد دو شرط لازم است:

الف) تحرک ذرات: بر وجود بین ذرات و قوا امکان پذیر است که منبت به هم دیگر حرکت داشته باشند.  
ب) ناپایداری ذرات: شرط لازم برای آن که ذرات در اثر برهم ریز به هم بچسبند.

### تحرک ذرات:

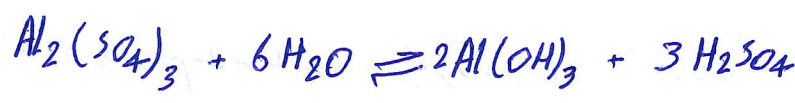
سرعت تجمع ذرات بستگی به نوع برهم ریز بین ذرات دارد. برهم ریز بین ذرات می تواند به دلایل مختلفی انجام شود:

1. برهم ریز ناشی از جنبش گرمایی (Thermal motion) که همواره به تقوذ براون (Brownian diffusion) می باشد.
2. برهم ریز اختلاط (bulk motion) که ناشی از هم زدن مکانیکی است.
3. برهم ریز ناشی از ته نشینی تفاضلی (differential settling): ذرات درشت تر به علت سرعت ته نشینی بیشتر در حین ته نشینی

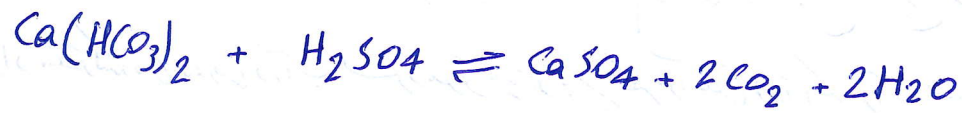


در آب طبیعی به اندازه کافی یون منیزیم باشد در آن صورت لازم است که به مقدار مناسب آهک اضافه شود تا رسوب  $Mg(OH)_2$  ایجاد نشود. در حین پاشیدن ذرات معلق را در خود حبس کرده و از محیط خارج نکند. در هر صورت pH محیط باید بیشتر از ۱۰ باشد تا منیزیم اکسید به عنوان ماده منعقد کننده موفق عمل کند.

وقتی یک ماده منعقد کننده به آب اضافه می شود مقدار آن صرف تبدیل پتانسیل الکتریکی ذرات می شود و مقداری نیز با قلیائیت آب ترکیب می شود. به عنوان مثال با اضافه کردن آلوم به آب واکنش زیر انجام می شود:

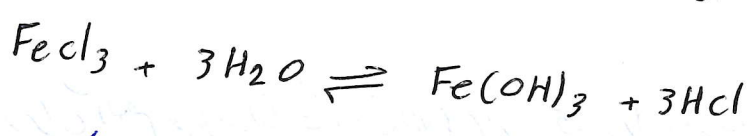
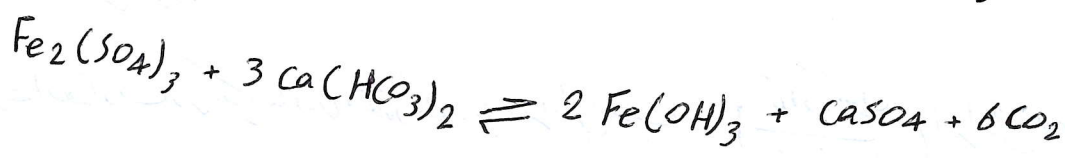
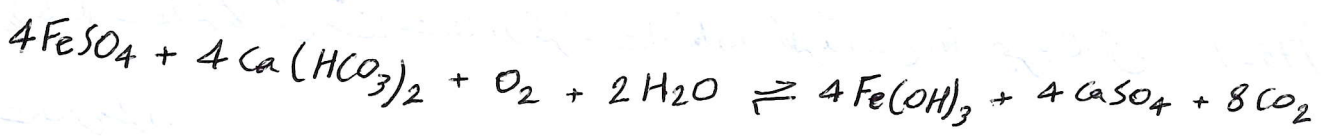


که علاوه بر تولید آلومینوم هیدروکسید چسبک که در حین ته نشینی مقداری از ذرات معلق محیط را حذف می کند، اسید تولید می شود. قلیائیت آب ترکیب می شود:



ترکیب دی اکسید  $(CO_2)$  تولید می تواند مزایم فزاینده انعقاد را می شود زیرا به جای ته نشینی مواد باعث شناوری آن ها می شود. از این رو کنترل pH در انعقاد از بیار مهم است.

واکنش های سولفات آهن (II و III) و کلرید آهن (III) به عنوان مواد منعقد کننده به صورت زیر هستند:



اگر قلیائیت آب به اندازه کافی برای ترکیب با اسید تولیدی نباشد در آن صورت باید به آب مواد قلیایی چون آهک، سود و سودا اضافه کرد. هر چند که اضافه کردن آهک باعث افزایش منیزیم آب می شود ولیکن به علت ارزانی و نیز تولید لخته های بزرگ، بر مواد دیگر ترجیح دارد.

میگردند. در این صورت باید آب را قبل از کلرزنی کردن، با این مواد آکسید شده و محدود شده بجهت  $PH$  وسیع تر گشته تا کنترل کیفیت کار آب ندر گردد. [مبلغ از مواد آکسید مثل فتول که در بعضی از آب ها دیده می شود به اکسید کننده قوی تر از کلر مثل دی اکسید کلر ( $ClO_2$ ) احتیاج دارند تا غریب شوند].

مقدار و نوع مواد جامدی که در آب وجود دارند بر روی انعقاد زیر مؤثر هستند. به طور کلی هر چه کل مواد جامد محلول  $TDS$  در آب بیشتر باشد فزاینده انعقاد زیر کامل تر صورت میگیرد. به طور کلی زمان لازم برای انعقاد زیر با مقدار  $TDS$  نسبت عکس دارد. انعقاد زیر ذرات ریز مشکل تر از ذرات کدر است. آب های که از نظر کدریت فقیر ولی از نظر رنگ غنی می باشند تولید لخته های سبک تر کرده که بالطبع دیرتر ته نشین می شوند. در چنین مواردی از مواد کمک منعقد کننده استفاده می شود.

### کمک منعقد کننده ها (Coagulant aids):

ثابت شده است که گروهی از پلی الکترولیت ها (موکول های بازنجیر طولانی) می توانند کارایی مواد منعقد کننده را در حذف رنگ و مواد آکسید و کدریت بهبود بخشند. این مواد ممکن است کاتیون و آنیون و یا غیر یونی باشند. این مواد گران قیمت هستند ولی مقدار لازم مورد استفاده آن ها بسیار کم و معمولاً حدود  $1 ppm$  می باشد. مکانیسم کار کمک منعقد کننده ها بدین صورت است که با تشکیل بندها و پل های بین ذرات ریز لخته حاصل از کار مواد منعقد کننده ها، آن ها را به صورت لخته های درشت تر و سنگین تر در می آورند که ته نشین شدن آنها سریع تر انجام می شود.

همان گونه که قبلاً ذکر شد برای آب های که از نظر رنگ غنی و از نظر کدریت فقیر هستند و همچنین برای آب های با دمای پائین استفاده از مواد کمک منعقد کننده بسیار مفید خواهد بود. علاوه بر این کمک منعقد کننده ها می توانند محدود کننده  $PH$  را گسترده تر کرده و همچنین مقدار مانده منعقد کننده مورد نیاز را کاهش دهند.

اگر بخواهیم از پلی الکترولیت به تنهایی برای انعقاد زیر در آب طبیعی استفاده کنیم باید که پلی الکترولیت از نوع کاتیون باشد.



می توانند به آرماتورها کمک کنند که نتیجه بگیرد که از مواد منعقد کننده برای آب مورد نظر مناسب تر است. همین روش را می توان  
برای سایر یابن دیگر متفرها به کار برد.

پس از اضافه شدن مواد منعقد کننده به آب سه مرحله صورت می گیرد: ۱. اختلاط سریع (Flash mixing): باید محلول (آب)  
به سرعت هم زده شود ۲. محفظه لخته گذاری (Flocculator chamber): در این مرحله با هم خوردن ملائم آب رسوب لخته ها  
شروع می شود ۳. رسوب گذاری (Sedimentation): لخته های ایجاد شده در مرحله قبل و ذرات ریز دیگر در این  
لخته ها حبس شده اند و در حوضچه های ته نشینی می افتند تا در آنجا لخته ها و ذرات رسوب کنند.

ترتیب افتراضی مواد شیمیایی به آب از اهمیت زیادی برخوردار است. معمولاً این ترتیب افتراضی مواد شیمیایی بدین گونه است که  
ابتدا  $\text{pH}$  آب خام را با افتراضی آلوم کاهش دهیم تا کمپلکس های آلومینوم دوتاب ظرفیتی تشکیل شود. این کمپلکس ها به طرز موثری  
بتأثیر الکتریکی ذرات ریز کلوئیدی را کاهش می دهند. در مرحله بعد  $\text{pH}$  آب را به محدودی تغییر می دهیم که آلومینوم کمتری  
حلالیت را در آن محدود داشته باشد تا رسوب هیدروکسید آلومینوم  $\text{Al(OH)}_3$  تشکیل شود.

اگر رنگ و بوی آب خام خیلی کم باشد در آن صورت به جای سیستم انعقاد و لخته گذاری از فیلتر استفاده می شود و گاهی به آب  
ورودی به فیلتر مواد کمک منعقد کننده پلیمری افزوده می شود و معمولاً از منعقد کننده های معدنی استفاده نمی شود زیرا منعقد کننده های  
معدنی تولید لجن زیاد کرد و اگر فیلتر زود هنگام فیلتر را باعث می شوند.

کف فیلتر بسیار مهم در انتخاب ذرات داخل صاف، مقام است آن‌ها در برابر سیدر است چون در شستوی صاف این مواد به صورت شناور در آید و عمل سایدینگ شدیدتر شود.

اگر مواد معلق آب فیلتر بیشتر از  $5 \text{ ppm}$  و نیز مقدار آب مورد نظر زیاد باشد، برای حذف مواد معلق از دستگاه‌ها به روش کشته استفاده می‌شود. ولی اگر مقدار مواد معلق کمتر از  $5 \text{ ppm}$  باشد و مخصوصاً اگر در آب کم باشد برای حذف مواد معلق از فیلترها استفاده می‌شود.

برای شستوی فیلترها آب را در جهت عکس آب ورودی وارد فیلتر می‌کنند. ممکن است شستوی فیلتر به نحای برای تمیز کردن بستر فیلتر کافی نباشد، برای رفع این مشکل در داخل فیلترها لوله‌های مسک شغای تعبیه می‌کنند که در موقع شستوی آب از داخل لوله‌ها جریان پیدا کرده و به علت ایجاد جت آب، لوله‌ها را می‌چرخد و با این کار شستن و شست‌ها کاملاً شسته می‌شوند.

**فیلترهای فشاری (pressure filter):** بدنه این فیلترها استوانه‌ای شکل و از فولاد ساخته شده است.

فشار استاندارد در این فیلترها بین 3 تا 7 اتمسفر می‌باشد اگر فشار بیش از این باشد باعث ایجاد پدیده بسیار نامی

(channeling) می‌شود. این فیلترها هم به صورت افقی و هم به صورت عمودی در بازار موجود دارد. فیلترهای عمودی که

در تمام راستای ارتفاع آن‌ها محل تصفیه و فیلتراسیون انجام می‌گیرد بر فیلترهای افقی ترجیح دارند.

معمولاً ذرات ریز در بالای فیلتر و ذرات درشت‌تر در لایه‌های پایین‌تر قرار دارند.

**فیلترهای ثقلی (gravity filter):** فیلترهای ثقلی اغلب مکعبی یا مکعب مستطیل شکل هستند هر چند که به صورت مدور

هم وجود دارند. این فیلترها در فشار محیط کار می‌کنند و معمولاً در کارخانه‌هایی که حجم زیادی از آب با سیس صاف شوند، مورد

استفاده قرار می‌گیرند.

از آن فیلترهایی که در فیلتر دارد. این ویژگی‌ها عبارتند از: تخلخل بستر فیلتر، نسبت عمق بستر فیلتر به اندازه

ذرات آن و شکل و خواص سطحی ذرات فیلتر.



با کلمه مشکل ترا نام شود. pH پایین آب معوف خطر خوردگی است.

دستگاه که دقیقاً بتواند عملکرد فیلتر را نشان دهد دستگاه اندازه و تعداد ذرات است. اما قیمت چنین دستگاه‌ها گران است و کمتر واحد صنعتی است که بتواند چنین دستگاه‌ها را تهیه کند

### فیلترها در مواقع تعطیل:

اگر قرار است که تصفیه خانه به مدت بیش از سه هفته تعطیل باشد، صلاح این است که فیلترهای کم نیاز نیست را کاملاً از آب تخلیه کنیم. اما اگر تعطیل حدود دو تا سه هفته است، بهتر است که فیلترها تخلیه شوند چون برای راه اندازی مجدد به وقت نسبتاً زیادی نیاز است تا بستر فیلتر مشکل مطلوب خود را بگیرد. در این حالت با بستن شیر خروجی فیلتر، آب را در داخل فیلتر نگه می‌داریم.

### کاربرد فیلترها:

تقریباً برای هر استفاده لازم است که مواد از آلودگی و معلق آب حذف شوند. برای زلال کردن (Clarification) آب‌های کدر از فیلترها استفاده می‌شود. برای بهبود کار در نهی و انعقاد در زیر، از فیلترها به عنوان مرحله‌ای حذف مواد معلق استفاده می‌شود. معمولاً بعد از آنکه آب سوزان در زیر چش از تصفیه با ریزش‌های تعویض‌پذیر و امپنر معکوس، استفاده از فیلترها توصیه می‌شود.

### پساب شستوی فیلترها و جلوگیری از استفاده از آن

در تصفیه خانه‌های معمولی حدود 2-3٪ از حجم آب تصفیه شده صرف شستوی فیلترها می‌شود که به صورت پساب شستوی فیلترها دریا می‌آید که به اختصار آن را پساب فیلتر می‌نامیم. پساب فیلترها معمولاً به صورت فاضلاب دفع می‌شود.

تجارب کشورهای پیشرفته نشان داده است که می‌توان پساب شستوی فیلتر را چه با تصفیه و چه بدون تصفیه به مدار تصفیه خانه برگرداند. و مورد استفاده قرار داد. این کار نه فقط هیچ اثر سوئی روی کیفیت آب تصفیه شده نمی‌گذارد بلکه معمولاً علاوه بر صرفه جویی اقتصادی باعث بهبود کیفیت آب تصفیه شده می‌گردد.



## فصل هفتم: حذف گازها، هوازها و روغن‌های شیمیایی

مهمترین گازها که در آب ممکن است وجود داشته باشند عبارتند از: اکسیژن، کربن دی‌اکسید، آمونیاک و هیدروژن سولفور.

درست‌ترین لز گازها چون اکسیژن و نیتروژن همواره به صورت گاز در آب هستند در حالی که دسته دیگر چون کربن دی‌اکسید، آمونیاک و هیدروژن سولفور می‌توانند هم به صورت گازی باشند و هم در اثر یونیزاسیون به صورت یون درآیند که بستگی به pH آب دارد. واضح است که آن قسمت از گازهای محلول که در آب به صورت یون در می‌آیند جزو ناخالصی‌های گازی در آب محسوب نمی‌شوند و باید با آن‌ها همچون یک یون رفتار کرد.

در حالی که حذف گازها از آب‌های صنعتی پیش از ورود به واحدهای تعریف‌شده، تبدیل و حتی لوله‌های انتقال مطلوب است ولی در تعریف آب آشامیدنی و فاضلاب‌ها، افزودن هوا و یا اکسیژن لازم می‌آید (هوا دهی). اما گاهی حذف یک گاز پر در سرگرمی می‌کنند، اکسید با هوا در امکان پذیر نیست. در هوا دهی گاز از خارج از فاز مایع (آب) وارد آن می‌شود ولی در هوا زایی گاز از داخل آب خارج می‌شود.

### حالت گازها در آب

اگر آب در تماس با گازی (هوا) قرار داشته باشد مقداری از گاز در آب حل می‌شود که مقدار گاز حل شده به دمای آب، جنس گاز و فشار گاز بستگی دارد به طوری که در حالت تعادل (زمانی که فشار گاز با آب) رابطه زیر برقرار است:

$y_A$ : جزء مول گاز A در فاز گاز

$$y_A = m \cdot x_A$$

قانون هنری

$x_A$ : جزء مول A در آب

$m$ : ثابت هنری

$$y_A = \frac{P_A \rightarrow \text{فشار جزئی گاز A}}{P_t \rightarrow \text{فشار کل}}$$

ثابت هنری ( $m$ ) فقط به جنس گاز و دما بستگی دارد. و مقدار آن را از جدول کتاب‌های مرجع می‌توان خواند.