

بسمه تعالی

## اصول و کیفیت تصفیه آب

مرکز بهداشت شهرستان اردبیل - بهداشت محیط

تهیه و ارائه : مهندس یوسف بابائی

آذر ۸۴

## مقدمه :

آب منشاء حیات و سرچشمه زندگی است. زندگی بدون آب معنی و مفهومی ندارد. منابع و اشکال گوناگون و متنوعی از آب در طبیعت وجود دارد. مثل ریزشهای جوی - آبهای سطحی - آبهای زیرزمینی و منابع عظیم اقیانوسها و دریاها. مصرف آب برای شرب، علاوه بر رفع نیاز بدن به آب، به مفهوم مطلق آن، باعث رفع نیازهای ضروری دیگر به املاح و عناصر ضروری موجود در آن مثل فلئور، ید و ... میشود. که برای سلامتی انسان مورد نیاز است و در صورت فقدان این عناصر در آب سلامتی انسان بخطر می افتد. برعکس آب مصرفی اگر دارای مواد شیمیایی یا موجودات ذره بینی غیر مجاز باشد باعث بروز انواع بیماریها می شود. پس شناخت آب و روشهای سالم سازی آن با توجه به محدود بودن منابع آب قابل شرب از اهمیت بسزائی برخوردار است.

## کیفیت آب آشامیدنی :

الف) کیفیت یا اختصااصات ظاهری آب آشامیدنی

ب) کیفیت فیزیکی آب آشامیدنی

ج) کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی

د) کیفیت بیولوژیکی (میکروبی) آب آشامیدنی

## الف) کیفیت یا اختصااصات ظاهری آب آشامیدنی

۱. بو و طعم: بوی آب ارتباط نزدیکی با طعم آن دارد، در صورتیکه بعضی مواد باعث بوجود آمدن طعم در آب می شوند (کلرور سدیم) ولی اثری بر بوی آن نمی گذارند. عوامل ایجاد طعم و بو عبارتند از: جلبکها، تجزیه گیاهان آبی، محصولات جانبی کلریناسیون.

آب آشامیدنی نباید دارای طعم و بوی خاصی باشد.

۲. کدورت: میزان شفافیت آب را مشخص می کند. باعث پراکندگی یا جذب نور در حین عبور از یک خط مستقیم در آب میشود. ذرات معلق و کلوئیدی باعث ایجاد کدورت می شود. کدورت با روشهای زیر اندازه گیری میشود: جکسون (Jtu) نفلومتری (Ntu) و جذب سنجی یا فورمازین (Ftu)

۳. رنگ: منابع مختلفی میتوانند در آب ایجاد رنگ نمایند. نمکهای فلزی موجود در طبیعت (آهن و منگنز) - آلودگیهای صنعتی - مواد در حال پوسیده شدن. اگر رنگ آب به علت مواد معلق باشد رنگ ظاهری است. اگر بعد از صافسازی، آب باز دارای رنگ باشد، رنگ حقیقی است.

## ب) کیفیت فیزیکی آب آشامیدنی

۱. PH آب خالص به میزان خیلی کم به یون  $H^+$  و  $OH^-$  تجزیه می شود. غلظت تقریبی یونها در آب خنثی ۷-۱۰ مول در لیتر می باشد، یعنی در حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد و  $PH = 7$ . آبهای طبیعی معمولاً دارای PH بین ۹-۴ می باشند. اکثراً PH آب به علت انحلال کربنات و بیکربنات قلیایی پوسته زمین کمی قلیایی می باشند ولی آبهایی که از معادن زغال سنگ می گذرند PH پائین داشته و دارای خاصیت خورندگی و طعم اسیدی یا نمکی می باشد. آبهای سخت که از زمینهای آهکی می گذرند PH بالائی دارند.

۲. قابلیت هدایت الکتریکی: تابعی از یونهای موجود در آب می باشد و نشانگر کل مواد حل شده در آب است. واحد آن ms/cm است.

مقدار حل شده به  $mg/lit =$  قابلیت هدایت (۰/۷-۰/۵۵)

۳. خاصیت خورندگی: عوامل زیادی بر این فاکتور تاثیر می گذارند. از جمله عوامل مهم عبارتند از:

الف) PH پائین یا اسیدی بودن آب

ب)  $CO_2$  آزاد بالا، یعنی دی اکسید کربن

ج) عدم وجود سختی و قلیائیت موقت

۴. مواد معلق : شامل مواد معلق آلی و غیر آلی است . میزان مواد معلق در آبهای سطحی در فصول مختلف سال تغییر می کنند .

### ج) کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی

۱. سختی : مربوط به املاح خاص در آب می باشد . کاتیونهایی مثل منیزیم ، استرانسیم ، کلسیم ، آهن ، آلومینیوم ، منگنز و مس با آنیونهای بیکربنات ، کربنات ، کلرور ، سولفات ، سیلیکات و نیترات بصورت محلول در آب باعث سختی می شوند .

سختی دائم ( سختی غیر کربناتی ) + سختی موقت ( سختی کربناتی ) = سختی کل

سختی موقت = املاح کربنات و بیکربنات کلسیم و منیزیم

سختی دائم = املاح سولفات و کلرور منیزیم و کلسیم

۲. اسیددیده : معمولاً توسط دی اکسید کربن حل شده در آب و گاهی بوسیله اسیدهای هومیک و سایر اسیدهای آلی که از تجزیه گیاهان حاصل شده ایجاد میگردد . مرز مشخص برای اسیددیده وجود ندارد ولی نباید در آب خاصیت خوردگی ایجاد کند

۳. قلیائیت : معمولاً در اثر وجود یون کربنات و بیکربنات که اکثراً همراه یونهای کلسیم و منیزیم ، سدیم و پتاسیم می باشد ایجاد می شود . در PH تا ۹/۴ قلیائیت بصورت کربنات و بیکربنات و در PH بین ۱۰-۹/۴ قلیائیت ناشی از هیدروکسید  $OH^-$  می باشد . حد مشخصی برای قلیائیت وجود ندارد .

۴. مواد معدنی :

الف ) کاتیونها : کلسیم - منیزیم - سدیم و پتاسیم ب ) آنیونها : دی اکسید کربن - بیکربنات و کربنات - کلر  $Cl_2$  - کلرور  $Cl$  - سولفات - ترکیبات از ته آمونیاکی  $NH_3$  - نیتريت و نیترات - فسفات - سیلیس  $SiO_2$

۵. مواد آلی : از منابع مختلفی وارد آب می شود . با اندازه گیری  $BOD$  و  $COD$  و کل کربن آلی می توان مقدار مواد آلی را تخمین زد .

- سموم دفع آفات - ترکیبات فنلی از صنایع پتروشیمی - هیدروکربورهای پلی سیکلیک (فاضلاب صنعتی) - تری هالومتانها و مواد جانبی گندزدائی - پاک کننده ها - پلی کلروبی فنیلها ( روغن خودرو - پلاستیک و رنگ )

۶. عناصر سمی : مثل آرسنیک ، سیانید ، سرب و جیوه

۷. عناصر کمیاب : مثل آلومینیوم ، برومور ، مس ، فلوئور ، ید ، آهن ، منگنز ، روی

۸. مواد رادیواکتیو ( اشعه آلفا - بتا - رادیوم - اورانیوم )

**این مواد از چهار منبع مهم وارد آب و محیط می شود :**

۱. در استخراج معادن مواد رادیواکتیو

۲. مصرف مواد رادیواکتیو در مراکز تولید نیرو

۳. مصرف مواد رادیواکتیو در مراکز تحقیقات ( پزشکی ، کشاورزی و ... )

۴. از انفجارات اتمی

### تصفیه آب آشامیدنی

اهداف تصفیه: کیفیت آب برای مصارف خاص بویژه آشامیدن بندرت با کیفیت آبهای طبیعی مطابقت دارد . هدف اساسی از تصفیه آب ، حفاظت مصرف کننده در برابر عوامل بیماریزا و ناخالصیهای موجود در آن می باشد که ممکن است برای سلامتی مزاحم و زیان آور باشد .

**اصول تصفیه آب :**

اصولاً آبهای زیرزمینی نیاز به تصفیه کمتری دارند و در بیشتر مواقع با یک کلرزنی وارد سیستم شبکه توزیع آب میگردند. در برخی موارد برای حذف مواد محلول یا کاهش سختی نیاز به مراحل بیشتری از تصفیه می باشد.

آبهای سطحی هرگز نباید بدون انجام مراحل تصفیه جهت شرب مصرف گردد زیرا علاوه بر آلودگیهای بیماریزا حاوی کدورت - موجودات آبی و احتمالاً فاضلاب می باشند که بایستی با روشهای صحیح تصفیه، از آب حذف شوند

## فرایندهای تصفیه آب:

۱. فرایندهای فیزیکی: مثل ته نشینی - دانه گیری

۲. فرایندهای مکانیکی: مثل آشغالگیر

۳. فرایندهای شیمیایی: مثل گندزدائی با کلر

## الف) تصفیه مقدماتی

۱. آشغالگیر: اولین مرحله تصفیه مقدماتی است. آشغالگیرهای مشبک سیمی، میله ای و توری و ... برای گرفتن آشغالهای بزرگ مثل چرم، سنگ، پارچه و اجسامی که ممکن است به دستگاههای تصفیه خانه آسیب وارد کنند. نحوه قرار گرفتن آشغالگیرها با زاویه خاصی در مسیر عبور جریان می باشد. آشغال رویی ممکن است دستی یا مکانیکی انجام شود.

۲. تصفیه مقدماتی شیمیایی: گیاهان آبی مثل آنگها یا گیاهان آبی ریشه دار معمولاً مشکلات زیادی در مراحل مختلف تصفیه بوجود می آورند مثل گرفتگی صافیها - ایجاد قشر لزج ژلاتینی - رنگ - بو و مزه آب - خوردگی - سمیت و ... برای از بین بردن آنگها، معمولاً از سولفات مس ( $CuSO_4$ ) و پودر زغال فعال (PAC) که بر روی سطوح آب می پاشند استفاده می شود. برای از بین بردن گیاهان آبی ریشه دار از روشهای کنترل فیزیکی مثل لایروبی منابع آب - کنترل بیولوژیکی و استفاده از خرچنگ آب شیرین یا حلزون و ماهیها و کنترل شیمیایی مانند مصرف علف کشها (دیکوات و اندوتول) استفاده می شود.

۳. ته نشینی مقدماتی: با کاهش سرعت عبور جریان آب ذراتی مثل سنگ ریزه، شن و ماسه قبل از ورود به تصفیه خانه در حوضچه هایی به حجم های مختلف با وزن ثقیلی جدا می شوند. اگر این دانه ها حذف نشوند باعث انهدام سریع پروانه پمپ ها و وسایل متحرک غوطه ور در آب می شود.

۴. اندازه گیری جریان آب: جریان آب بعد از خروج از بخش تصفیه مقدماتی و قبل از ورود به تصفیه خانه اندازه گیری می شود. اندازه گیری جریان آب جهت کنترل جریان آب ورودی به قسمتهای مختلف تصفیه خانه، تنظیم مقدار مواد شیمیائی، تعیین کارائی پمپ، محاسبه انرژی مورد نیاز، محاسبه زمان ماند در مراحل مختلف تصفیه، تنظیم مقدار آب تصفیه شده و محاسبه هزینه تصفیه یک واحد آب لازم می باشد.

## ب) هوادهی

برای خارج ساختن بعضی از گازهای محلول مثل دی اکسید کربن و نامحلول مثل متان - هیدروژن سولفور و نیز اکسیداسیون فلزاتی مثل آهن و منگنز با افزایش غلظت اکسیژن محلول آب عمل میشود. هوادهی باعث کاهش بو و مزه در آب می شود.

## هوادهنده ها:

۱. هوادهنده های آب در هوا

هوادهنده آبشاری - پلکانی - بشقابی

هوادهنده مخروطی

هوادهنده پروانه ای

## هوادهنده اسپری

### ۲. هوادهنده های هوادر آب

هوادهنده منتشر کننده یا دیفیوزرها

هوادهنده پمپی

### ۳. مخلوط هوادهنده ها

هوادهنده مکانیکی

هوادهنده فشاری

## ج) انعقاد (لخته سازی)

- کوچکترین مواد جامد معلق (کوچکتر از  $0.1/0$  میلیمتر) به سرعت ته نشین نمی شوند و در صنعت تصفیه آب به آنها مواد غیر قابل ته نشینی گفته می شود که از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

- ذرات ریزتر مانند گل ولای، میکروبهها، ذرات رنگی، ویروسها به صورت کلوئیدی در آب وجود دارند و در زمان معقولی ته نشین می شود.

- مواد محلول در آب، مواد آلی یا معدنی مانند نمکها و گازها که غیر قابل ته نشینی بوده و مشکلات بو مزه و رنگ در آب ایجاد میکند پتانسیل زتا و نیروی واندروالس: معمولاً ذرات در آب دارای بار الکتریکی منفی بوده و یکدیگر را دفع می نمایند. این نیروی الکتریکی طبیعی دفع کننده را پتانسیل زتا می نامند. این نیرو باعث دور نگهداشتن ذرات کلوئیدی از هم در آب می شود.

میان تمام ذرات موجود در طبیعت یک نیروی جاذب نیز وجود دارد که دوزره را به طرف یکدیگر می کشد این نیرو عکس پتانسیل زتا عمل می کند. تا زمانیکه پتانسیل زتا از نیروی واندروالس بزرگتر است ذرات به صورت معلق در آب می ماند. تلاش فرایند انعقاد و لخته سازی این است که نیروی واندروالس ذرات معلق در آب را به حدی افزایش دهد تا نیروی دافع پتانسیل زتا خنثی گردد. در فرایند انعقاد و لخته سازی با افزودن مقدار معینی مواد منعقد کننده مثل سولفات آلومینیوم (زاج -  $Al_2(SO_4)$ ) - سولفات مس (کات کبود -  $(CuSO_4)$ )، سولفات فریک  $Fe_2(SO_4)_3$  - سولفات فرو  $FeSO_4$  و آلومینات سدیم  $(NaAlO_2)$  و... که باعث تقویت نیروی واندروالس می شود، گروههای کوچکی تشکیل میگردد و این گروهها در اثر تکان دادن ملایم (به هم زدن ملایم) به یکدیگر چسبیده و گروههای بزرگتر ژلاتینی شکل و نسبتاً سنگین را تشکیل می دهند که به آسانی ته نشین می شوند.

## د) ته نشینی

مواد معلق و ذرات لخته شده در مرحله انعقاد و لخته سازی در حوضهای ته نشینی طی فرایندی با کاهش سرعت آب ته نشین می شود. حوضهای ته نشینی در اشکال مختلف از جمله مستطیل و مدور طراحی می گردند. لجن جمع شده به صورت مکانیکی بوسیله تسمه یا پارو در یک قسمت جمع شده و با پمپ خارج می شود.

## ه) صاف کردن

هدف اصلی صاف کردن آب حذف مواد معلق باقیمانده از مراحل قبلی تصفیه می باشد. صافی بویژه در کاهش میکروارگانیسم ها، تخم انگلها و رسوبات کربنات کلسیم باقی مانده از مرحله سبک سازی و رسوبات آهن و منگنز دخالت دارد. مواد معلق حین عبور آب از بستر صافی که معمولاً از شن، زغال - آنتراسیت، مواد مصنوعی مثل پلاستیک با سطح زیاد تشکیل یافته، جدا می شود. اصولاً صاف کردن بر اساس مجموع دو مکانیسم پیچیده فیزیکی و شیمیایی قرار دارد که مهمترین آنها جذب سطحی است.

**صافیها به دو دسته تقسیم می شوند:**

### د) گندزدایی

گندزدایی آب برای از بین بردن میکروارگانیسمهای بیماریزا انجام می گیرد و نباید با سترون کردن که نابودی تمامی میکروبهاست اشتباه شود. تمام آبهای آشامیدنی باید گندزدایی شوند و چون آبهای سطحی بیشتر از آبهای زیرزمینی در معرض آلودگی با عوامل بیماریزا می باشند بنابراین همیشه باید قبل از گندزدایی و مصرف، مراحل انعقاد تجمع ذرات ته نشینی و صاف کردن را گذرانده باشند.

روشهای گندزدایی:

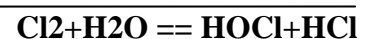
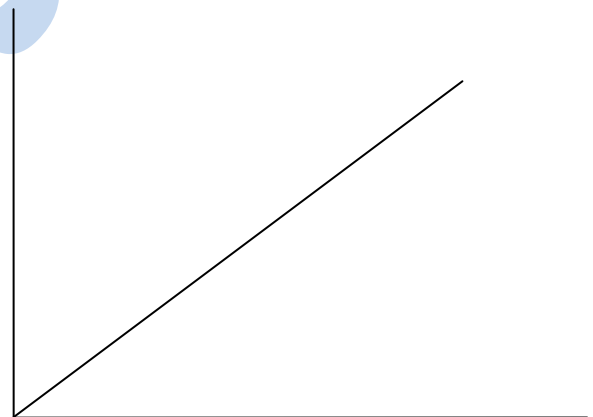
۱- گندزدایی فیزیکی مثل حرارت

۲- گندزدایی با روش پرتوافکنی مثل نور خورشید، اشعه ماوراء بنفش

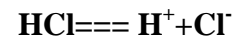
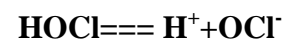
۳- گندزدایی با مواد شیمیایی مثل کلروترکیبات آن، ازن، برم، ید، کلروترکیبات آن مانند هیپوکلریت سدیم ( $Na_2ClO$ ) و هیپوکلریت کلسیم ( $CaClO_3$ ) خیلی زیاد برای آبهای آشامیدنی مخصوصاً در ایران بکار می روند. کلرزی یک روش عملی، بی خطر، مؤثر برای برای نابود ساختن میکروارگانیسمهای بیماریزا میباشد.

برای درک شیمی کلر در آب ابتدا واکنش کلر با آب مقطر را در نظر میگیریم

مقدار کلر باقیمانده در آب مقطر مستقیماً بستگی به مقدار کلر اضافه شده دارد. به عنوان مثال اگر ۲ میلیگرم کلر به یک لیتر آب مقطر اضافه کنیم کلر باقیمانده ۲ میلیگرم در لیتر خواهد بود. کلر با آب ترکیب شده اسید هیپوکلرو و اسید کلریدریک تولید می نماید. (در آب مقطر تمام کلر باقیمانده بصورت کلر باقیمانده آزاد است) نمودار واکنش کلر در آب مقطر



این اسیدها ترکیبات ناپایداری هستند. اسید هیپوکلرو به یون هیدروژن + یون هیپوکلریت و اسید کلریدریک به یون کلر + یون هیدروژن تجزیه میشود:

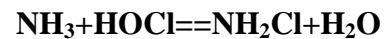


اسید هیپوکلرو ( $HOCl$ ) و یون هیپوکلریت ( $OCl^-$ ) هر دو کلر باقیمانده آزاد هستند که قدرت گندزدایی اسید هیپوکلرو بیش از ۸۰ برابر یون هیپوکلریت می باشد.

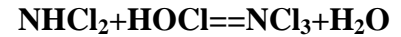
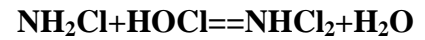
کلرزی نقطه شکست:

آبهای طبیعی خالص نبوده و ناخالصی های آن با کلر ترکیب میشوند به همین دلیل در کلرزی آب شرب کلر باقیمانده برابر کلر اضافه شده به آب نیست. هر چه آب حاوی مواد آلی، نیتریت، آهن منگنز و آمونیاک زیاد باشد به همان نسبت کلر مورد نیاز برای گندزدایی بالا خواهد بود. زیرا کلر اضافه شده به آب بلافاصله با این ناخالصی ها ترکیب شده و تازمانی که این ترکیبات توسط کلر اکسید نشوند هیچ کلر باقیمانده ای در آب بوجود نخواهد آمد. (فاصله بین نقطه ۱ و ۲ در نمودار)

با افزایش کلر اضافی مواد آلی و آمونیاک با آن ترکیب شده و کلر آمینها، ترکیبات کلر آلی و تری هالومتانها تولید می گردند (بین نقطه ۲ و ۳) که به آنها کلر باقیمانده ترکیبی می گویند. که بیشتر منوکلر آمین است و اثر گندزدایی خیلی کمی دارند



با افزایش بیشتر کلر به آب مقدار کلر باقیمانده واقعی کاهش می یابد. زیرا که بعضی از ترکیبات آلی کلردار و آمونیاک را اکسید می نماید (بین نقطه ۳ و ۴) همچنین کلر اضافی مقداری از منوکلر آمین را به دی کلر آمین ( $\text{NHCl}_2$ ) و تری کلر آمین ( $\text{NCl}_3$ ) تبدیل مینماید



با افزایش کلر اضافی مقدار کلر آمینها به حداقل می رسند که بعد از آن به نقطه ای می رسیم که از این نقطه به بعد با افزایش کلر مقدار کلر باقیمانده افزایش می یابد. این افزایش کلر باقیمانده به صورت کلر آزاد یعنی ترکیبی از مجموع  $\text{OCl}^-$ ،  $\text{HOCl}$ ،  $\text{Cl}_2$  که فرمهای کلر آزاد هستند میباشد. و اثرات گندزدایی بیشتری دارند به این نقطه نقطه شکست کلر گفته می شود.

## عوامل مؤثر در گندزدایی آب

- ۱- غلظت کلر
- ۲- زمان تماس
- ۳- درجه حرارت
- ۴- PH
- ۵- مواد موجود در آب (ناخالصی های آب)

غلظت و زمان تماس

از بین رفتن میکروارگانیسمها متناسب با غلظت و زمان تماس کلرمی باشد. اگر غلظت کلر در آب کاهش یابد زمان تماس آن بایستی به حدی افزایش یابد تا در نتیجه گندزدایی تغییری نیابد.

درجه حرارت

در درجه حرارت بالا کارایی گندزدایی افزایش می یابد اما از طرفی در درجه های پایین تر کلر در آب ثابت تر می شود و باقیمانده آن برای زمان طولانی تری در آب می ماند. لذا تا حدودی سرعت کمتر گندزدایی در دمای پایین را جبران می نماید.

PH

در PH پایین اسید هیپوکلر که گندزدای قوی است تجزیه شده و به شکل تبدیل می شود که قدرت گندزدایی آن حدود ۱/۸۰ اسید هیپوکلر است.

انتشار اسید هیپوکلر و یون هیپوکلریت در آب بر حسب PH

مواد موجود در آب :

اثر گندزدایی کلر فقط بعد از تماس میکروارگانیسمها با کلر مؤثر است. کدورت، ذرات ریز و سایر ناخالصی های معلق در آب مانع تماس کافی میکروارگانیسمها با کلر شده و آنها را در برابر اثر کشندگی کلر حفظ می نماید. بنابراین برای کلر زنی مؤثر آب کدورت باید تا حد اکثر ممکن بوسیله مراحل مختلف تصفیه مانند انعقاد، تجمع ذرات و صاف کردن کاهش یابد. ترکیب مواد آلی و آمونیاک آب با کلر باعث تشکیل کلر باقیمانده ترکیبی می شود که اثر گندزدایی کم موثر دارد. لذا برای گندزدایی مؤثر باید به صورت تجربی برای هر منبع آبی نقطه شکست کلر زنی مشخص و مقدار کلر اضافه شده به آب محاسبه گردد تا کلر باقیمانده آزاد در آب، بوجود آمده و گندزدایی مؤثر واقع گردد.