بسم الله الرحمن الرحیم

روشهای گندزدایی آب

کارشناس آزمایشگاه آب و فاضلاب مرکز بهداشت استان اصفهان

تهیه و تنظیم: هاجر صفاری

بهمن ۱۳۹۹

مقدمه

- آب ارزنده ترین هدیه ای است که خداوند نثار بشر کرده است و از نیازهای اساسی برای حیات تمام موجودات کره زمین است. یکی از شاخصه های رشد توسعه در کشورها دسترسی به آب سالم و بهداشتی است. آب سالم آبی است که عوامل فیزیکی، شیمیایی و میکروبی آن در حد استاندارد بوده و مصرف آن عارضه سوئی در درازمدت یا کوتاه مدت در انسان ایجاد نکند.

منابع آب

- **آبهای سطحی**
- **آبهای زیرزمینی**

آبهای سطحی: این آبها شامل آب باران وآب رودخانه ها می باشند که از ذوب برف و آبهای زیرزمینی مثل چشمه ها تامین می شود.

آبهای زیر زمینی: نفوذ آبهای سطحی از فضاها و شکافهای خاک و صخره ها و تجمع در سطح زمین آبهای زیرزمینی را تشکیل می دهد. امکان آلودگی در آبهای زیرزمینی نزدیک به سطح زمین وجود دارد، از این رو برای اطمینان از پاکی آب مصرفی از آبهای زیرزمینی عمیق استفاده می گردد.

Some common water-borne diseases prevented by disinfection

Bacterial	Viral	Protozoan
Typhoid fever Para-typhoid Bacterial diarrhea Cholera Legionnaires' disease	Hepatitis Rotavirus diarrhea	Amoebiasis Giardiasis Crypto-sporidiasis

گندزدایی آب

- قرن ها است که گند زدایی آب آشامیدنی انجام می شود.
- طی قرن گذشته کلرزنی به عنوان روش قابل قبول گند زدایی آب در آمده و این فرایند مهمترین کشف در زمینه تصفیه آب به شمار میرود.
- گندزدایی آب آشامیدنی یک مرحله تصفیه اختصاصی برای تخریب یا حذف ارگانیزم های بیماری زا است.
- پس نباید با استریل کردن که تخریب یا حذف همه ارگانیزم های زنده است اشتباه شود.
- هدف رسیدن به مقدار صفر Ecoli در هر ۱۰۰میلی لیتر آب برروی تمام منابع آبی است.

شرایط لازم برای ورود آب به مرحله اصلی گندزدائی

- یک گندزدای خوب فقط هنگامی موثر واقع می شود که برای آبی با کیفیت خوب مصرف شود.
- میزان مواد نامحلول باید در آب تا حد امکان کم و ترجیحا از ۱ میلی گرم در لیتر بیشتر، نباشد.
- کدورت آب نیز ۱واحد NTU باشد وحد مطلوب آن ۰/۳ واحد است.
- TOC آب (کل مواد آلی کربنی) در لحظه ورود به مرحله پیش کلر زنی کمتر از ۲ میلی گرم در لیتر باشد . تا تشکیل تری هالومتان ها کمتر از حد ماکزیمم باشد.

شرایط لازم برای پذیرش یک گندزدا

ماده گندزدائی که برای آب انتخاب می شود باید دارای دو اثر متفاوت باشد:

- **اثر ضد باکتریائی**: که به قدرت میکروب کشی عامل گندزدا بستگی دارد.
- **اثر ابقائی**: اثر ابقائی که به قابلیت گندزدا از لحاظ باقیماندن در سیستم توزیع بستگی داشته و تضمین کننده کیفیت باکتریولوژیکی آب در نقطه مصرف می باشد.
- واینکه بعد از سالم سازی آب باقیمانده آن طعم وبوی قابل اعتراض بوجود نیاورد.
- فرآورده جانبی خطرناک بوجود نیاورد و کیفیت شیمیائی آب را تنزل ندهد.
- تولید ،حمل ونقل ،ذخیره سازی آن خطرناک نبوده ، ومقرون به صرفه باشد.

فرضیه های اصلی در انتخاب فرایند گند زدایی:

برخی از عواملی که کارایی گندزدایی را تحت تأثیر قرار می دهند عبارتند از:

- نوع و غلظت میکرواورگانیزم
- نوع و غلظت گندزدا
- زمان تماس گندزدا
- کیفیت شیمیایی و دمایی آب
- PH و کدورت آب
- وجود موجودات زنده در منبع آب شرب
- عملی بودن استفاده از روش گندزدایی غیر فعال سازی ۹۹/۹ معادل log3 کیست ژیاردیا، یا غیر فعال سازی ۹۹/۹۹ معادل log4 ویروسی
- رابطه (cxt) گندزدایی
- تشکیل محصولات جانبی گندزدا و میزان آن ها در کمترین حد ممکن
- کیفیت آب فرایندی
- مشکلات ناشی از گندزدایی ها (وارد نکردن سمیت و طعم و بو و رنگ در آب گندزدایی شده)
- هزینه هر یک از گندزدا ها

تحلیل عوامل مؤثر بر عمل گندزداها

مکانیزم های گندزداها

چهار نوع مکانیزی که برای تشریح نحوه عمل گندزدا ها پیشنهاد شده است عبارتند از:

۱- آسیب دیدن دیواره سلولی

- **آسیب یا تخریب دیوار سلولی منجر به متلاشی شدن و مرگ سلولی می شود برخی از عواملی مانند پنی سیلین از سنتز وترمیم دیواره سلولی باکتری ها جلوگیری می‌کند.**

۲- تغییرتراوایی سلولی

- **بعضی عواملی مانند ترکیبات فنلی و شوینده ها ، تراوایی غشائی سیتوپلاسم را تغییر می دهند و باعث می شوند عوامل مغذی مانند فسفر و ازت از سلول خارج شوند.**

۳- تغییرات ماهیت کلوئیدی پرتوپلاسم

- **گرما و تابش و عوامل اسیدی و قلیایی خاصیت کلوئیدی پرتوپلاسم را تغییر می دهند و تأثیرمرگ باری بر سلول دارند، مانند گرما که پروتئین ها را لخته و اسید و قلیاها که پروتئین را تجزیه می‌کنند.**

۴- ممانعت از فعالیت های آنزیمی

- **عوامل اکساینده چون کلر می تواند آرایش آنزیم ها را تغییر دهد و آن ها را غیر فعال سازد .**

روش های گندزدایی:

- عوامل فیزیکی
- عوامل شیمیایی
- روش های مکانیکی
- تابش

عوامل فیزیکی

شامل روش دمایی و روش اشعه UV یا ماورائ بنفش است

- گرما دادن آب تا نقطه جوش اکثر باکتری های بیماری زا را که تشکیل هاگ نمی دهند از بین می برد.
- جوشاندن آب به مدت ۳ تا ۱۰ دقیقه اغلب باکتری ها و ویروس ها را از بین می برند.
- جوشاندن آب به مدت ۲۰ دقیقه موجب از بین رفتن کلیه موجودات زنده در آب می شود.
- کارایی راندمان عمل گند زدایی آب بعد از ۳ دقیقه جوشاندن به ۱۰۰ درصد می رسد.

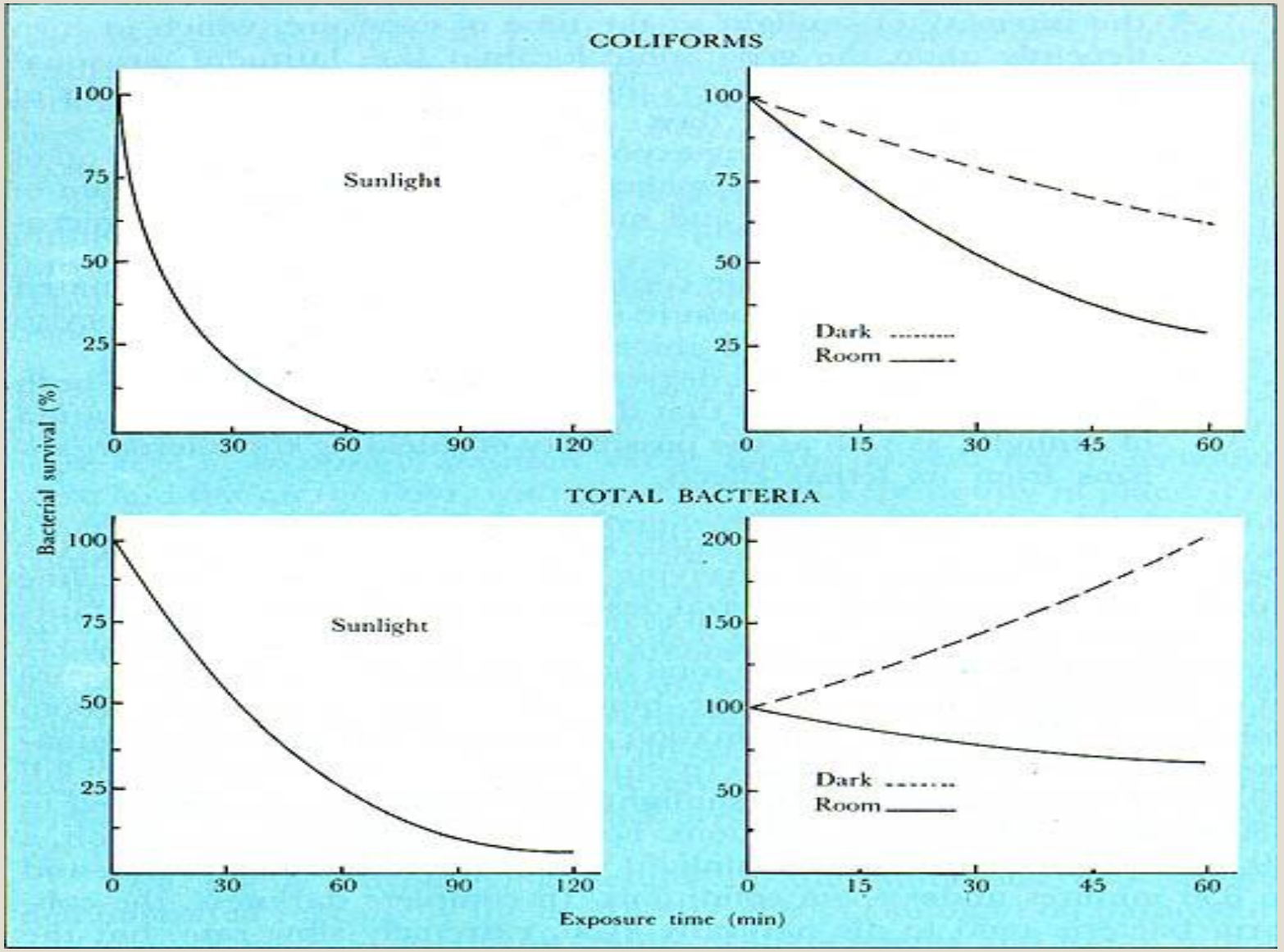
Simple Solar Disinfection

5

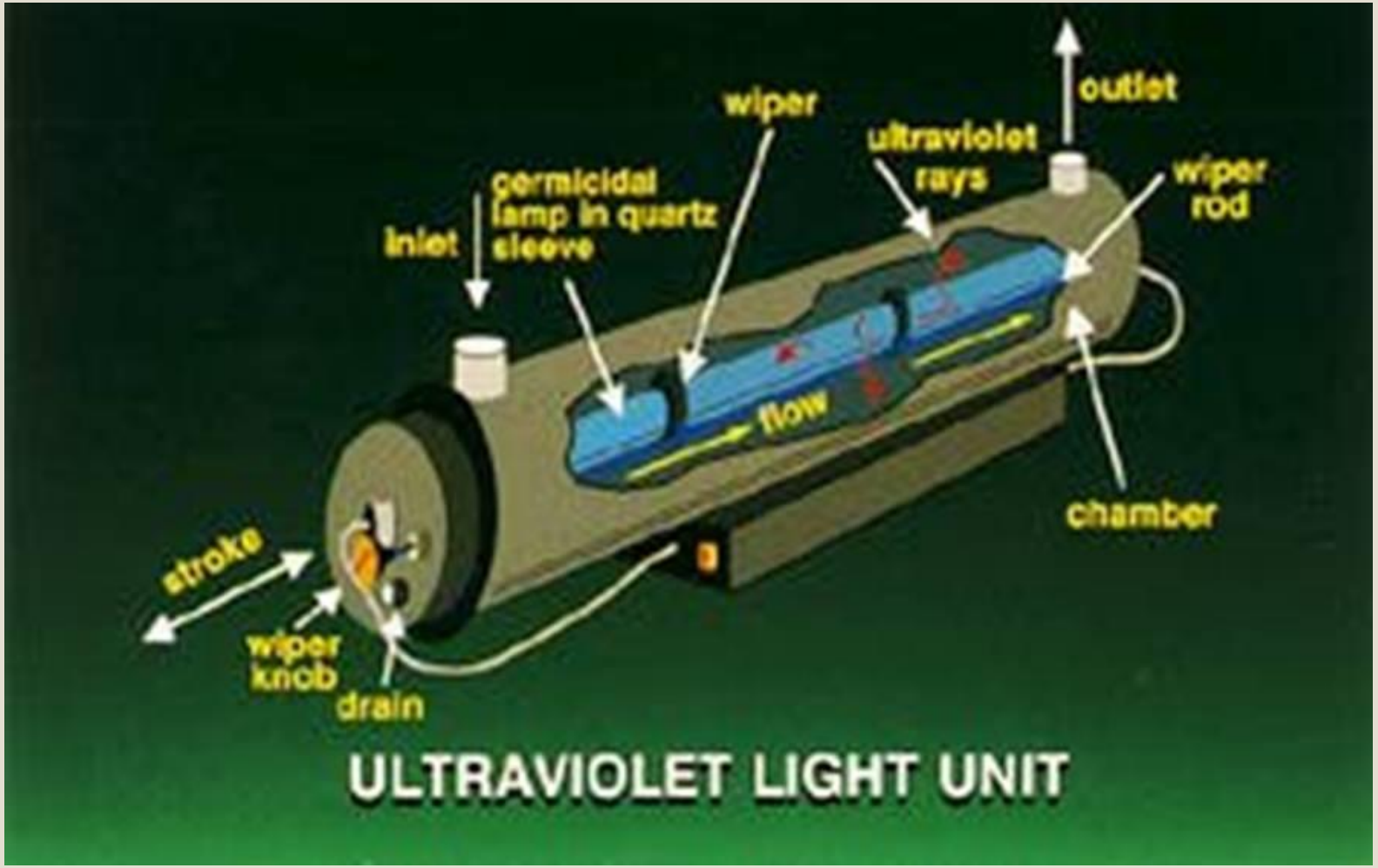
Place the bottles on a corrugated iron sheet

Inactivation of microorganisms by UV-A-radiation and thermal treatment

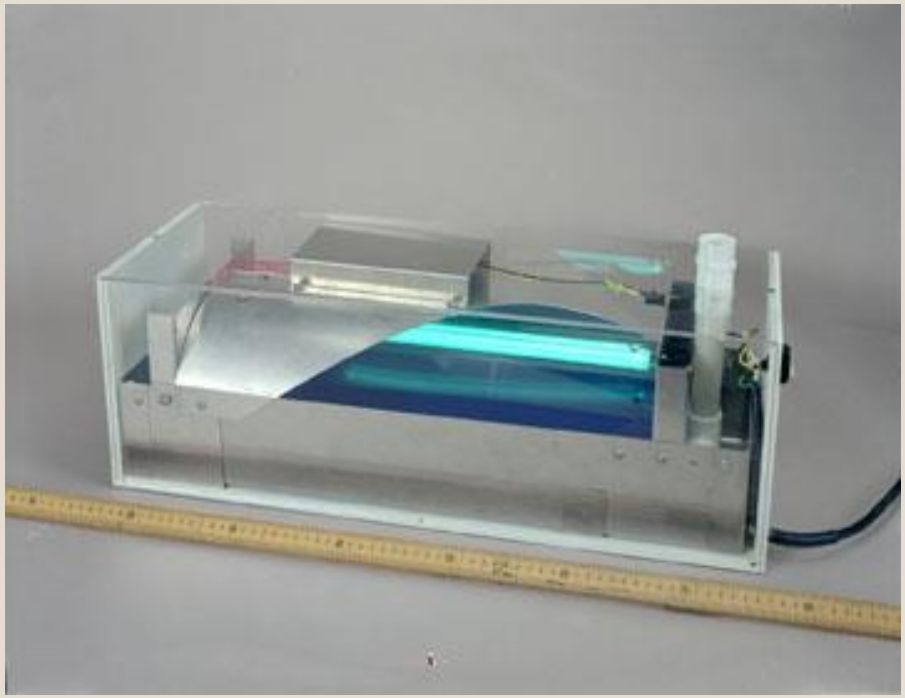
Solar Disinfection

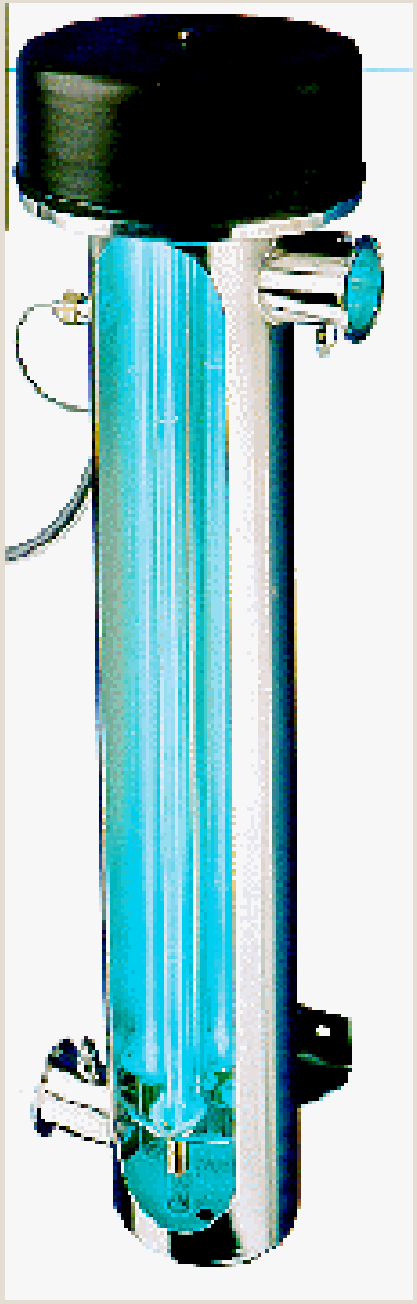


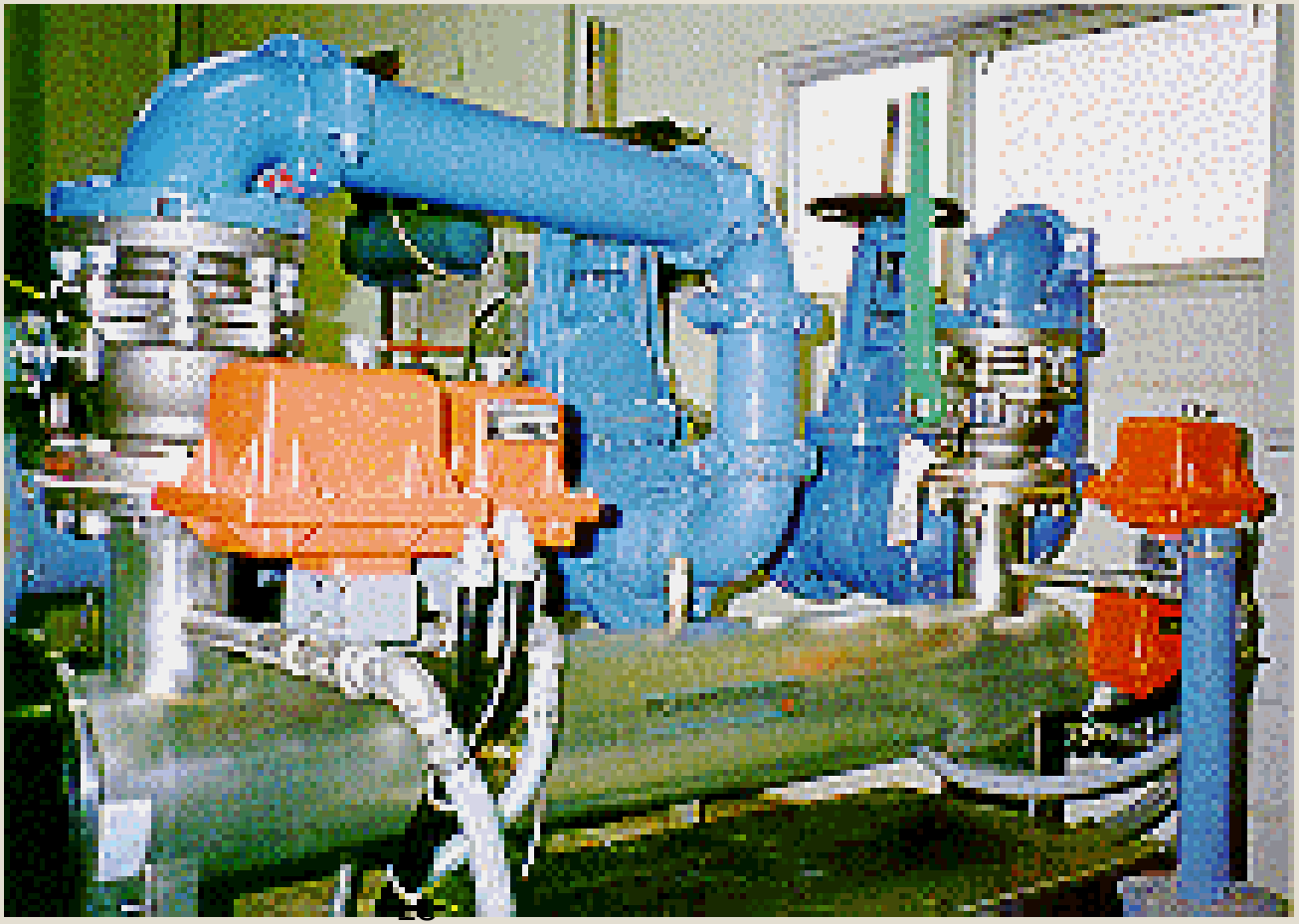
Ultraviolet Irradiation



AQUA Uv™







گندزدایی به روش شیمیایی

- کلر و ترکیبات آن ، برم، ید، ازن ، هیدروژن پراکسید، پرمنگنات پتاسیم که در کل عوامل اکسید کننده نامیده می‌شوند.
- همچنین از آب بسیار اسیدی یا قلیایی نیز می توان برای از بین بردن باکتری ها ی بیماری زا استفاده کرد.
- زیرا آب با PH بیش از ۱۱ یا PH کمتر از ۳ برای اکثر باکتری ها نسبتاً سمی می شود.

عمل گند زدایی مکانیکی

- شامل روش های انعقاد- لخته سازی- ته نشینی و غشاها است که روش های بالا تا ۹۰ درصد میکروب های آب را کاهش می دهند.

عوامل تابش

- استفاده از انرژی پرقدرت که درتصفیه آب رایج نیست .

Ozonation

عوامل اکسید کننده درگندزایی آب

توانایی عوامل اکسید کننده با پتانسیل های متفاوت در کشتن یا غیر فعال کردن پاتوژن ها فرق می کنند.

(طبق جدول اسلاید بعد)

Oxidizing Potential of Various Reagents

Oxidizing Reagent	Oxidizing Potential
Ozone	2.07
Hydrogen Peroxide	1.77
Permanganate	1.67
Chlorine Dioxide	1.57
Hypochlorous Acid	1.49
Chlorine Gas	1.36
Hypobromous Acid	1.33
Oxygen	1.23
Bromine	1.09
Hypochlorite	0.94
Chlorite	0.76
Iodine	0

مراحل چند گانه برای حذف پاتوژن ها

- **گندزدائی اولیه**

هدف نابودی یا غیر فعال سازی موجودات بیماریزای موجود در منبع آب می باشد.

کلر آزاد ، دی اکسید کلر و ازن بعنوان مناسب ترین عوامل گندزدائی اولیه معرفی می شوند.

- **معیار C×T برای گندزدائی آب**

مقادیر C×T تحت تاثیر عواملی نظیر دما و ph میباشد .

برای غالب میکروارگانیسم ها با افزایش دما سرعت نابود سازی بیشتر می شود .

در مورد تغییرات ph باید گفت با افزایش ph نابودی میکروب ها کاهش می یابد.

گندزدائی موثر

- گندزدائی موثر مستلزم رعایت زمان تماس(T) و مصرف میزان مناسب از عامل گندزدا (C) می باشد.
- برای نابود سازی درصد معینی از هر ارگانیسم خاص C×T باید برای هرگندزدا درحد معین تنظیم شود.
- برای هر یک گندزدای واحد، مقدار C×T لازم برای ارگانیسم های مختلف متفاوت است.
- برای نابود سازی درصد معینی از یک ارگانیسم خاص نیز مقدار C×T برای گندزداهای مختلف تفاوت خواهد داشت.
- در این رابطه گندزدائی، موفق تر و قدرتمند تر خواهد بود، که با C×T کمتر، عمل گندزدائی را بهتر به انجام رساند.
- مثلا ازن بسیار سریع تر از کلر ودی اکسید کلر E.coli را از بین می برد .
- یا اینکه جهت نابود سازی ۹۹/۹ درصد از پلی ویروس ها میزان C×T برای کلر باید بیشتر از رقم مربوط به E.coli باشد .

گندزدائی ثانویه آب

- مهمترین اهداف گندزدائی ثانویه آب عبارتند از ممانعت از رشد میکروب ها در سیستم های توزیع و ایجاد حفاظت در برابر بروز آلودگی های مربوط به اتصالات ناجور می باشد
- مسئله رشد مجدد میکروبی مربوط به این واقعیت است که تعدادی از باکتری ها و میکروب ها می توانند در سیستم های توزیع آب ایجاد کلنی بنمایند .
- برخی از این میکروب ها می توانند در شرایط مساعد به عوامل بیماریزای فرصت طلب تبدیل شوند .
- مهمترین باکتر ی های این گروه عبارتند از لژیونلا ، سودوموناس ، مایکوباکتریوم ، آئروموناس ، باسیلوس سوبتلیس ، فلاووباکتریوم است .
- قارچ ها با میزان ۱ تا ۲ میلی گرم در لیتر کلر کاملا در آب بر طرف می شوند و گاهی وقت ها تا ۳ میلی گرم در لیتر کلر نیاز است .
- لژیونلا مهمترین باکتری از نظر رشد مجدد در شبکه آب می باشد.
- تجمع باکتری لژیونلا در سیستم توزیع ولوله کشی به ویژه در قسمت هائی که رسوبات جمع شده اند دیده می شود .

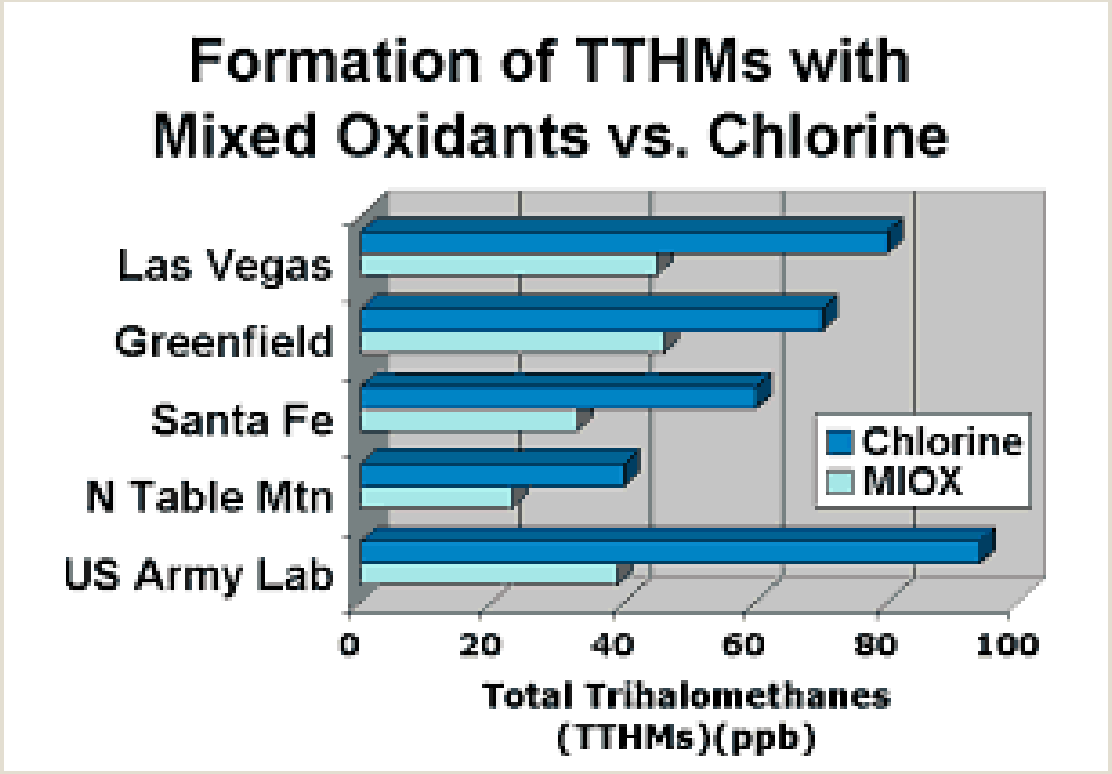
دلایل گندزدائی ثانویه آب

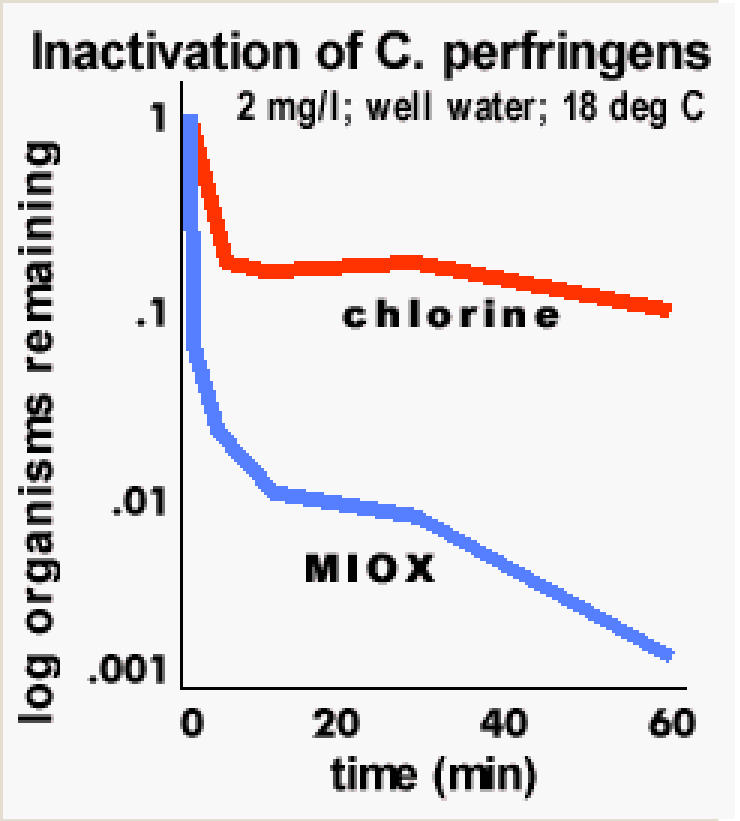
گندزدائی ثانویه آب بطور سنتی به منظور ایجاد یک باقیمانده از گندزدا و با هدف جلوگیری از بروز پدیده رشد بیولوژیکی انجام می شود .

- **گندزدای مورد مصرف کلر ، کلر آمین ، گاهی دی اکسید کلر می باشد.**
- **در سیستم توزیع بخش هائی که دارای نقاط کور یا سرعت کم آب باشند ، ،موجب اتلاف گندزدا شده و قابلیت رشد مجدد میکروب ها را بالا می برند .**
- **ناصافی بوجود آمده از خوردگی لوله ها از جمله شرایطی است که با انجام شستشو برطرف نمی شود .**
- **ناصافی ها به منزله محل حفاظت میکروب ها در مقابل گندزدا می شود .**
- **کلنی های لژیونلا بعد از تشکیل در برابر کلر مقاومت نشان میدهد، برای کنترل معمولا به ۴ تا ۶ mg/ L کلر نیاز دارند .**
- **تصفیه حرارتی و شوک کلر از روشهای مبارزه با لژیونلا در خطوط لوله آب است**
- **انجام هیپوکلریناسیون اضافی که مشتمل بر نصب و راه اندازی کلریناتور در محل ساختمان است، روش دیگری برای ایجاد حفاظت است. این عمل برای محل های کار و منازل و ساختمان های بزرگ وکارخانه ها لازم محسوب می شود .**
- **گزارش شده که درزگیرها و واشر های لاستیکی موجب ایجاد حفاظت برای لژیونلا ها در برابر کلر و حرارت هستند.**

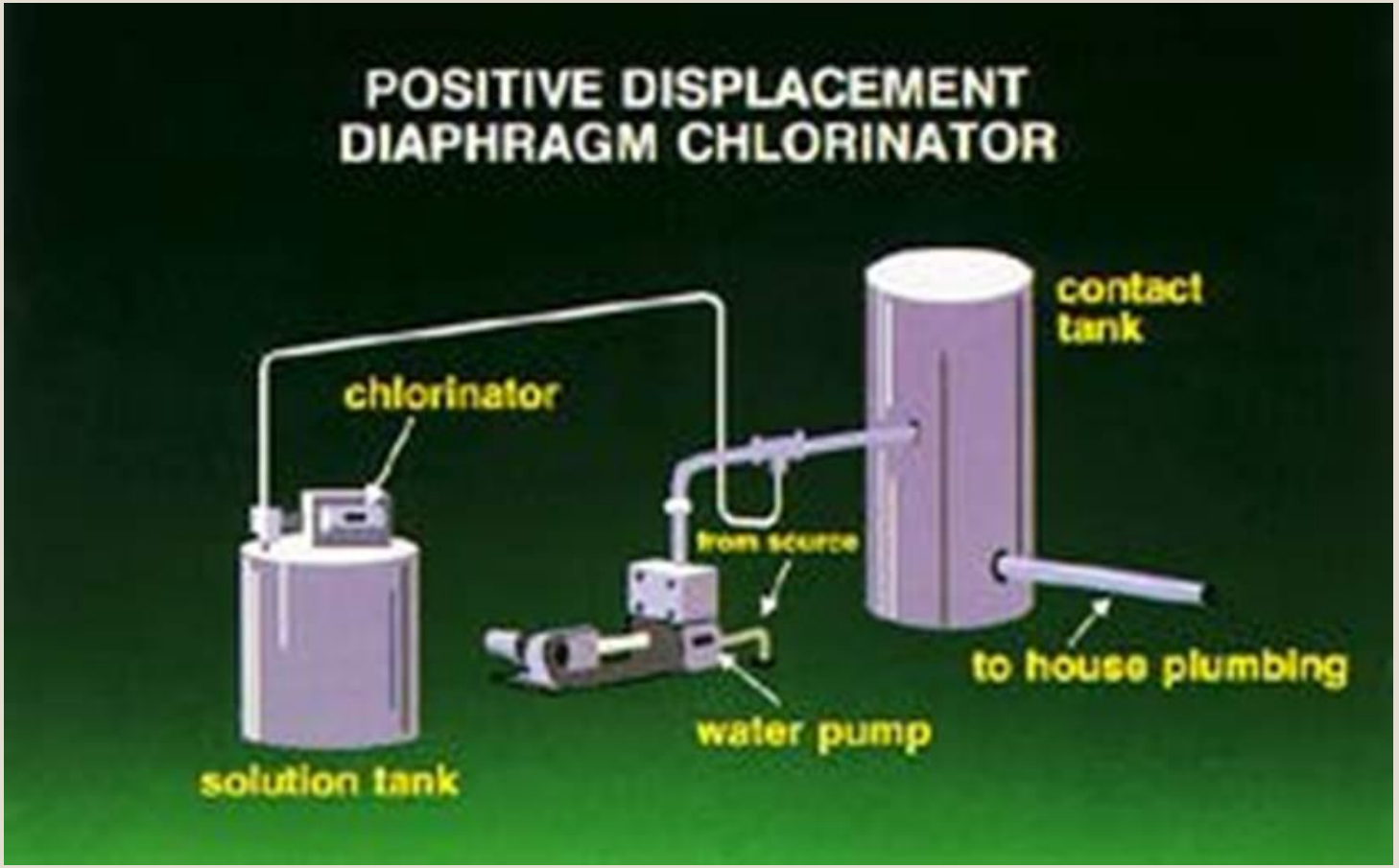
گندزادیی با کلر

- کلر ماده شیمیایی است که غالباً در گندزدایی آب آشامیدنی استفاه می شود.
- اولین مورد کاربرد کلر در تصفیه آب آشامیدنی با مصرف کنترل طعم و بو بوده است.
- در حال حاضر کلر به عنوان ماده، گندزدای اصلی درتصفیه آب آشامیدنی استفاده می شود.
- سایر کاربردهای کلر شامل کنترل طعم و بو کنترل جلبک ها حذف آهن و منگنز حذف سولفید هیدروژن و حذف رنگ است.
- کلر به اشکال Cl_2 ترکیبات جامد هیپو کلریت سدیم و پتاسیم و دی اکسید کلر گازی در صنعت آب موجود است.


Formation of TTHMs with Mixed Oxidants vs. Chlorine
Las Vegas
Greenfield
Santa Fe
N Table Mtn
US Army Lab
Chlorine
MIOX
0
20
40
60
80
100
Total Trihalomethanes (TTHMs)(ppb)


Inactivation of C. perfringens
2 mg/l; well water; 18 deg C
log organisms remaining
1
.1
.01
.001
chlorine
MIOX
0
20
40
60
time (min)

Chlorination



Chlorine contact tank with baffles

شیمی کلر

- خواص زیاد کلر این ماده را به عنوان یک گندزدای ایده آل مطرح می کند .
- کلردر آب بسیار محلول است لذا کاربرد آن آسان است.
- کلر به آسانی اندازه گیری و کنترل می شود.
- کلر به شکل باقیمانده پایدار در آب با قی می ماند
- در مقایسه با سایر گندزدایی ها کلر ارزان تر است.
- وقتی کلر در آب حل شود تبدیل به اسید هیپو کلرو HOCL و یون هیپو کلرو OCL می شود
- HOCL اکسید کننده بسیار قوی تری نسبت بهOCL است
- قدرت میکروب کشی کلر وابسته به PH است و افزایش PH قدرت میکروب کشی کلر را کاهش می دهد .
- در PH حدود ۹ کلر آزاد باقیمانده به دلیل بالا بودن غلظت یون هیپو کلرو CLO، قدرت گندزدایی کمی دارد.
- استفاده از گاز کلر سبب می شود که PH آب کاهش یابد.
- استفاده از هیپو کلریت سدیم یا کلسیم باعث افزایش PH آب می شود.

گندزدائی آب با کلر

کلر باقیمانده

- هنگامی‌که کلر وارد آب می شود به سرعت با ترکیبات موجود در آب وارد واکنش می شود. کلر با ترکیبات آلی موجود در آب واکنش داده و تری‌هالومتان‌ها را تولید می کند. همچنین با مواد احیاء کننده مانند سولفید هیدروژن، یون های آهن، یون‌های منگنز و نیتریت وارد واکنش می شود.
- به عنوان مثال، در واکنش کلر با سولفید هیدروژن دو واکنش متفاوت زیر رخ می‌دهد.

Hydrogen Sulfide + Chlorine + Oxygen Ion → Elemental Sulfur + Water + Chloride Ions

$$H_2S + Cl_2 + O^{2-} \rightarrow S + H_2O + 2Cl^-$$

Hydrogen Sulfide + Chlorine + Water → Sulfuric Acid + Hydrochloric Acid

$$H_2S + 4Cl_2 + 4\,H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 8\,HCl$$

➢ بعد از این واکنش ها

وقتی کلر در آب حل می شود طبق معادله زیر هیدرولیز شده و تشکیل اسید هیپو کلرو میدهد

Chlorine + Water → Hypochlorous Acid + Hydrochloric Acid

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl$$

HOCl یک اسید ضعیف است که به صورت زیر واپاشی شده و به یون هیپوکلریت تبدیل می شود.

Hypochlorous Acid ↔ Hydrogen Ion + Hypochlorite Ion

$$HOCl \leftrightarrow H^+ + OCl^-$$

لذا مجموع HOCL و OCL را کلر آزاد باقی مانده می نامند.

- غلظت های نسبی HOCL و OCL با pH ، دما ، و غلظت کلـر موجـود در محلـول تغییـر می کند .
- HOCL اکسید کننده بسیار قوی تر نسبت به OCL است. HOCL در pH=6 و OCL در pH=7/5 ترکیب غالب است . لذا قدرت گندزدایی کلر با افزایش pH کاهش می یابد .

در pH حدود ۹ کلر آزاد با قیمانده به دلیل بالا بودن غلظت یون هیپوکلریت قدرت گندزدایی کمی دارد. کلر آزاد به شکل نمک های هیپوکلریت نیز به آب اضافه می شود . واکنش های واپاشی هیپوکلریت های کلسیم و سدیم به شکل زیر است:

Calcium hypochlorite + Water → Hypochlorous Acid + Calcium Hydroxide

$$Ca(OCl)_2 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ HOCl + Ca(OH)$$

$_2$Sodium hypochlorite + Water → Hypochlorous Acid + Sodium Hydroxide

$$NaOCl + H_2O \rightarrow HOCl + NaOH$$

همان گونه که از این واکنش ها برمی آید گازکلر pH آب را کاهش می دهد.

درصورتی که هیپوکلریت ها pH آب را بالامی برند.

لذا در یک مقدار مساوی کلر اضافه شده به آب دارای ظرفیت بافری کم ، کارایی گندزدایی گاز کلر بالاتر از هیپوکلریت ها است .

کلر ترکیبی باقیمانده

کلر بلافاصله با آمونیاک واکنش داده و تشکیل کلرآمین که کلر ترکیبی باقیمانده نامیده می شود می دهد.

طبق معادلات زیرکلر در این شکل گندزدای ضعیفی است و باقیمانده پایدار در شبکه توزیع ایجاد می کند.

Ammonia + Hypochlorous Acid → Monochloramine + Water

$$NH_3 + HOCl \rightarrow NH_2Cl + H_2O$$

منوکلروآمین سپس با اسید هیپوکلرو واکنش داده و دی کلرو آمین تشکیل می گردد.

Monochloramine + Hypochlorous Acid → Dichloramine + Water

$$NH_2Cl + HOCl \rightarrow NHCl_2 + H_2O$$

در نهایت دی کلروآمین با اسید هیپوکلرو واکنش داده و تری کلرو آمین تولید می شود.

Dichloramine + Hypochlorous Acid → Trichloramine + Water

$$NHCl_2 + HOCl \rightarrow NCl_3 + H_2O$$

درصورت حضور آمونیاک در آب کلر با آمونیاک ترکیب شده و ترکیبات موسوم به کلروآمین ها تولید می کند، که می تواند به سه صورت مونوکلروآمین و دی کلروآمین و یا تری کلروآمین باشد. به اسید هیپوکلریت و یون هیپوکلرو مجموعا کلرآزاد موجود می گویند. در حالی که کلر به صورت کلرو آمین ها را کلر ترکیبی موجود می نامند.

اینکه کدامیک از کلروآمین ها تولید می شود بستگی به نسبت کلر و نیتروژن آمونیاکی، مقدار کلر مصرفی، دما، pH و قلیائیت دارد.

نیتروژن تری کلراید عامل اصلی ایجاد سوزش و تحریک چشم در آبهای کلرزده استخرهای شنا است.

واکنش های فوق در شرایطی ممکن است منجر به تولید ترکیباتی شود که فاقد کلر هستند.

$$2Cl_2 + 2NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 6HCl$$

$$4Cl_2 + NH_3 + 3H_2O \rightleftharpoons 8Cl^- + NO_3^- + 9H^+$$

نقطه شکست کلرزنی

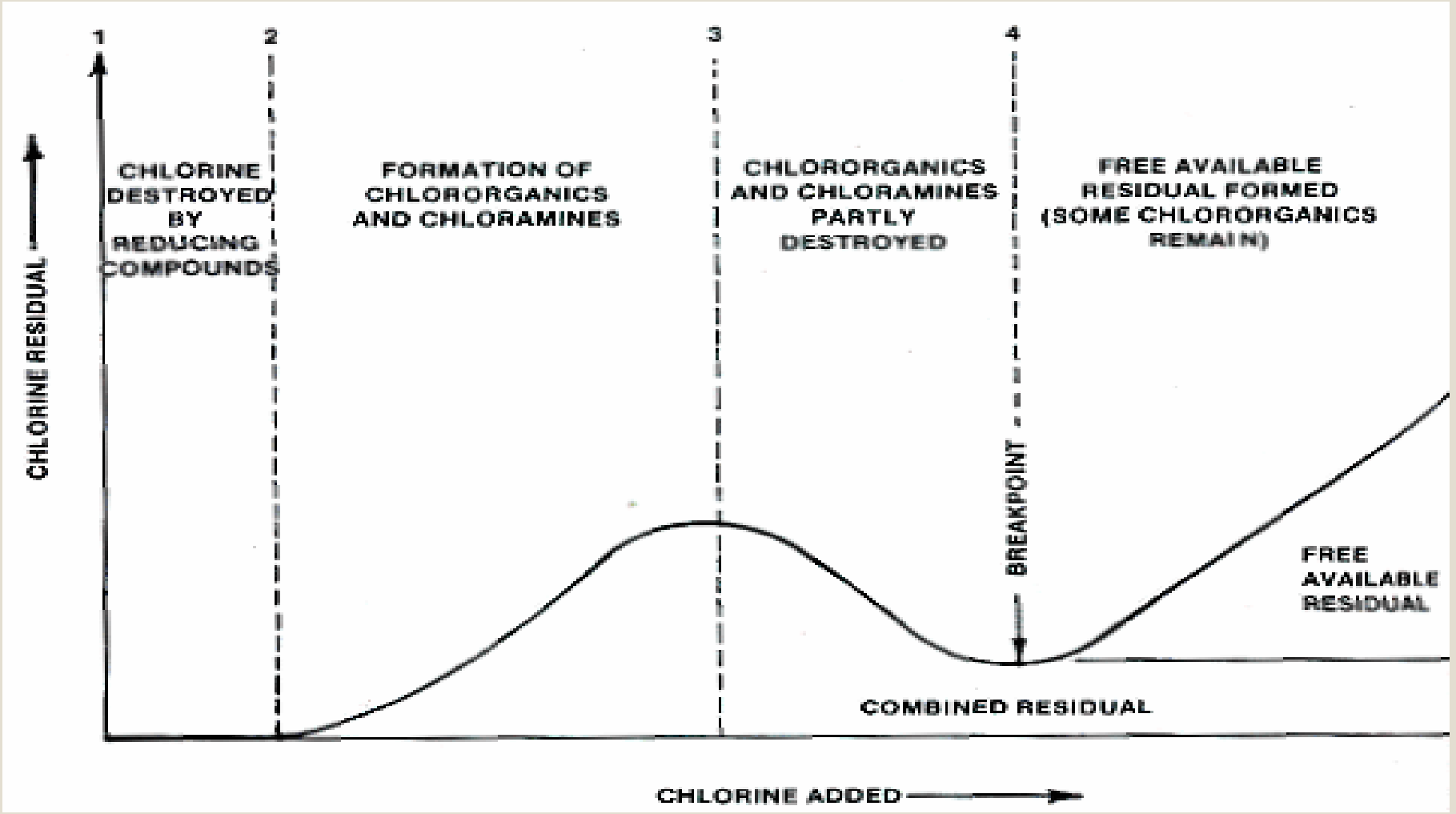
وقتی کلر به آب زده شود، در وهله اول صرف اکسید کردن انواع مختلف ترکیبات موجود در آب می گردد. تا زمانی که نیاز اولیه به کلر برطرف نشود هیچ کلر قابل اندازه گیری موجود نیست.

سپس کلر با آمونیاک واکنش داده و کلر ترکیبی باقیمانده تولید شود.

با افزودن مقادیر بیشتر کلر غلظت کلر ترکیبی باقیمانده به حداکثر مقدار، افزایش می یابد و افزودن بیش از حد کلر باعث کاهش کلرترکیبی می شود . این وضعیت را نقطه شکست کلرزنی می نامند . در این نقطه کلرآمین ها به اکسید نیتروژن یا سایر گاز ها اکسید می شوند.

نمودار زیر گویای این موضوع است

Breakpoint Chlorination



مقدارکلر تزریقی در فاصله ۱ تا ۲ صرف اکسیداسیون موادی چون Fe یا H_2S می شود.

در فاصله نقطه ۲ تا ۳ کلر تزریقی با آمونیاک ترکیب می شود و انواع کلر آمین ها را تولید می کند.

در فاصله ۳ تا ۴ کلر تزریقی صرف اکسیداسیون کلر آمین ها می شود به طوری که با تولید ترکیبات بدون خاصیت باکتری کشی چون N_2 یا N_2O تری اکسید ازت و اسیدکلرویدریک می شود. و عملا ارزش ضد عفونی کنندگی خود را از دست می دهد.

در فاصله نقطه ۴ به بعد کلر تزریقی به آب تماما خاصیت ضد عفونی کنندگی داد. و در اثر هیدرولیز به اسید هیپو کلریت و یا یون هیپو کلریت تبدیل می شود. نقطه ۴ را نقطه شکست می گویند و در عمل سعی می شود غلظت کلر بعد از نقطه شکست بین ۰/۵ تا ۱ PPm باشد.

دوز کلر

به مقدار کلر اضافه شده به آب برای تولید یک مقدار باقیمانده مشخص در انتهای یک زمان تماس معین است.

دوزکلر با کیفیت آب خام ، دما ، و سایر شرایط آب و هوایی تغییر می کند. معمولا دوزکلر درگستره ۰/۲ تا ۲ میلی گرم در لیتر قرار دارد.

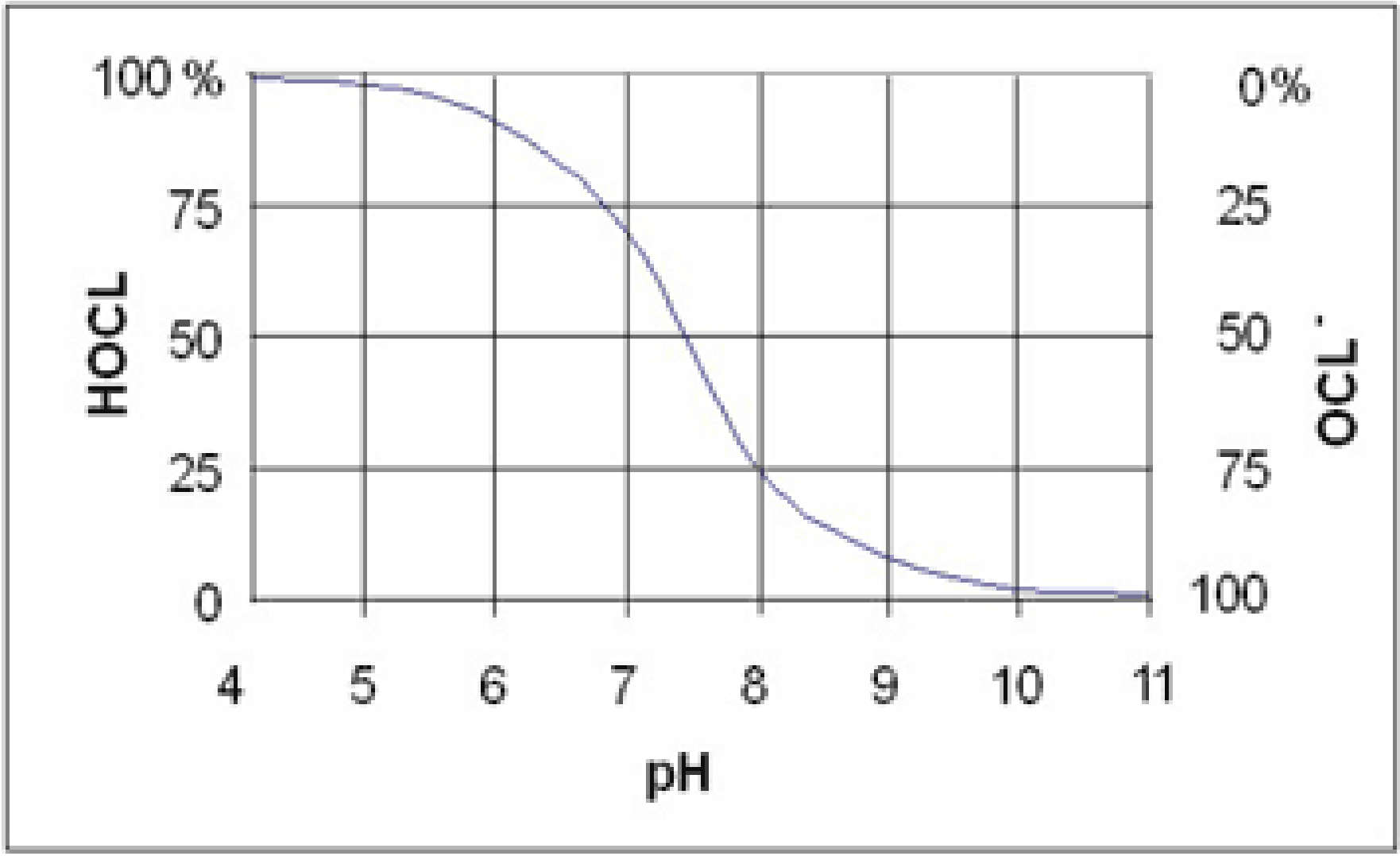
معمولا کلر ترکیبی باقیمانده باید بین ۰/۶ تا ۱ میلی گرم در نقاط دور شبکه توزیع باشد.

بسته به pH و دما و سایر مشخصات آب ، ممکن است مقادیر بیشتر کلر باقیمانده نیز لازم باشد.

کلر باقیمانده برای زمان تماس مشخص، باید گندزدایی موثر در تصفیه خانه و حفاظت در برابر رشد مجدد ارگانیزم های نامطلوب را تامین کند .

جدول تخمین کارایی انواع کلر باقی مانده در آب

نوع	کارایی تخمینی در مقایسه با CLHO
اسید هیپو کلرو	۱
یون هیپو کلرو	یک صدم
دی کلر آمین	یک هشتادم
منو کلر آمین	یک صد و پنجاهم


100 %
75
50
25
0
HOCL
0%
25
50
75
100
OCL
4
5
6
7
8
9
10
11
pH

رابطه کلر با PH و چگونگی تولید اسید هیپو کلرو

PH	HOCL	OCL
۵	۱۰۰	۰
۶	۹۸-۹۷	۳-۲
۷	۸۳-۷۵	۲۵-۱۷
۷/۲	۵۸-۴۷	۵۳-۴۲
۷/۵	۴۰-۳۲	۶۸-۶۰
۸	۳۲-۳۲	۶۸-۶۷
۹	۵-۳	۹۷-۹۵

انواع روشهای کلرزنی

- **کلرزن ساده** plain chlorination

زمانی که آب به تصفیه خاصی احتیاج ندارد: مانند آب چشمه، چاه

- **پیش کلر زنی** pre chlorination

یا کلرزنی مقدماتی برای آبهایی که کیفیت بیولوژیکی متغیر دارند بکار می رود.

- **اهداف این کار**

از بین بردن درصدی از میکروارگانیسم ها– کاهش مصرف مواد منعقد کننده– کاهش طعم وبوی آب– کاهش بار آلودگی ناشی از باکتری ها و جلبک ها

- **کلر زنی نهایی** post chlorination

در این روش آب را بعد از عملیات تصفیه گندزدایی می کنند.

- **کلر زنی مجدد** double chlorination

آب را قبل از ورود به صافی وبعد از خروج از صافی کلرزنی می کنند.

- **سوپر کلر زنی super chlorination**

بیش ازاندازه و مورد نیاز به آب، کلر تزریق می شود. بطوری که بعد ازکلرزنی درآب تا حدود ۵ ppm کلر باقیمانده داریم.

- **شوک کلریناسیون shock chlorination**

به منظور حفظ یک باقیمانده زیاد و با دوام از کلر با هدف کنترل رشد و نمو بیولوژیکی در تاسیسات و جلوگیری از ایجاد آلودگی روی سطح فیلترها دزاژ نسبتا بالایی از کلر به آب تزریق می شود. **حدود ۲۰ تا ۵۰ میلی گرم در لیتر**

سیستم کلر زن مایع

طراحی سیستم کلرزنی

یک سیستم کلر زنی برای گندزدائی آب متشکل از شش بخش جداگانه است:

۱-تامین کلر ۲- ذخیره و جابجائی ۳- اقدامات ایمنی

۴ –تزریق کلر ۵- انتشار اختلاط وتماس ۶- سیستم کنترل

۱- تامین کلر :کلر معمولا به صورت گاز متراکم مایع تحت فشار تامین میشود و در ظروف و یا سیلندر کوچک ویا بزرگ تهیه می شود.

۲- ذخیره وجابجائی : یک سیستم ذخیره وجابجائی باید بر اساس ملاحظات ایمنی طراحی شوند زیرا کلر بسیار سمی و خطرناک است.

۳- اقدامات ایمنی : ملاحظات مهم ایمنی در طراحی سیستم کلرزن شامل حدود مواجه کارکنان بهره برداری، تهویه اطفاء حریق، تحویل وتخلیه بار، ذخیره و انتقال است.

۴- تزریق : سیستم تزریق کلر اساسا متشکل از اجزای زیر است: برداشت کلر - تبخیر کننده- کلید خودکار- رگولاتور- انژکتور

۵- اختلاط و تماس : اختلاط سریع محلول کلر با آب و به دنبال آن ایجاد زمان تماس برای گندزدائی موثر ضروری است.

۶ - سیستم کنترل : سیستم کلرزنی باید به گونه ای طراحی شود تا در انتهای زمان تماس مشخص، مقداری کلر باقیمانده در آب وجود داشته باشد .

گاز کلر

- گاز کلر برای مصارف تجارتی از الکترولیز نمک طعام تهیه می شود.
- درون سیلندر فولادی فشرده با درجه خلوص ۹۹/۹ تهیه می‌شود.
- در درجه حرارت اتاق سبز متمایل به زرد است.
- ۲ تا ۲/۵ برابر از هوا سنگین تر است.
- در کپسول های ۶۰ – ۳۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرمی تهیه می‌شود.
- هنگام کار ایمنی کامل باید رعایت شود.
- حمل و نقل آن باید با احتیاط کامل صورت گیرد.
- تأثیر گاز کلر بهتر از بقیه اشکال کلر می باشد. زیرا ناخالصی آن خیلی کم است.

کلسیم هیپو کلریت $CA(CLO)_2$

- مخلوط خشک و نسبتاً پایداری از کلر است با نسبت کلر ۵۰٪ و کلسیم ۲۸٪ و اکسیژن ۲۲٪
- به صورت دانه توده یا قرص می باشد که معمولاً با خلوص ۶۰٪ تا ۷۰٪ تولید می شود.
- تهیه کلسیم هیپو کلریت احتیاج به زمان بیشتری نسبت به گازکلر دارد.
- گرانول های پرکلرین باید در ظرف پلاستیکی با آب مخلوط شده و بعد مصرف می شود.

سدیم هیپو کلریت NACLO

- سفید کننده خانگی در غلظت بالا بعنوان ضد عفونی کننده به کار می رود.
- سفید کننده خانگی ۵ تا ۵/۵ درصد کلر فعال دارد.
- سفیدکننده صنعتی ۸ تا ۱۰ درصد کلر فعال دارد.
- آب ژاول بر خلاف پرکلرین رسوب ایجاد نمی کند.
- آب ژاول یا سدیم هیپو کلریت بسیار ناپایدار است.
- گرما، رطوبت، نور و خورشید سبب از بین رفتن سدیم هیپوکلریت می شود.
- عمر مفید سدیم هیپوکلریت ۶۰ تا ۹۰ روز است.
- سدیم هیپوکلریت گران تر از کلسیم هیپوکلریت است.

سیستم های هیپو کلریت

- در این روش کلر آزاد به شکل مایع از یک منبع جامد تامین می شود این روش نسبت به کلر گازی کم خطر تر بوده است.
- در طراحی و بهره برداری از سیستم های تزریق هیپو کلریت توجه به موارد زیر ضروری است:

۱- خوردگی: هیپوکلریت ها می توانندموجبات خوردگی را فراهم آورند .

۲- افت کیفیت: هیپوکلریت ها در اثر گذشت زمان تجزیه شده واز قدرت محلول کم می شود.

۳- ناخالصی های موجود در محلول: تجزیه هیپوکلریت ها با حضور ناخالصی های معین نظیر ذرات آهن مس نیکل تسریع می شود .

۴ – زمان نگه داری: توصیه می شود که حداکثر مدت نگه داری محلول هیپو کلریت سدیم ۶۰ تا ۹۰ روز باشد چرا که بعد از آن تجزیه می شود .

۵ – تابش مستقیم آفتاب: عمر مفید محلول هیپو کلریت که در یک دوره طولانی مدت در معرض نور خورشید و اشعه UV ناشی از آن قرار می گیرند کاهش چشمگیری می یابد .

۶- غلظت محلول: هیپو کلریت سدیم را میتوان در غلظت های مختلف تهیه کرد معمولا در غلظت های ۱۲ تا ۱۶ درصد و هیپو کلریت کلسیم را در غلظت های ۱ تا ۳ درصد می سازند .

۷ – PH: پایداری محلول هیپوکلریت وقتی که کمتر از ۱۱ برسد کاهش می یابد بنابراین حفظ محدوده PH جهت پایداری بسیار لازم است .

۸- دما: با افزایش دما سرعت تجزیه محلول های هیپو کلریت افزایش و پایداری آن کاهش می یابد .

۹ – احتراق فوری: احتمال احتراق در عملیات ذخیره سازی محلول هیپو کلریت مسئله ای اجتناب ناپذیر است .

۱۰ – واکنش های شیمیایی خطرناک: در صورتیکه محلول هیپوکلریت قلیائیت لازم را داشته باشد کلر آزاد به صورت هیپو کلریت (یون) که ماده ای نسبتا بی خطر است تبدیل می شود. و در PH کمتر از ۷ کلر آزاد به اسید هیپو کلرو تبدیل می شود که قادر است مولکول کلر را تولید نماید و بدین ترتیب کلر بصورت گاز خارج شده و خطراتی را به همراه دارد.

دی اکسید کلر ClO_2

- به کار بردن این ماده در تصفیه آب اساساً به کنترل طعم و بو محدود می شود.
- مزایا و کاربرد دی اکسید کلر عبارتند:
  - باکتری کش و ویروس کش قوی
  - عدم واکنش با نیتروژن آمونیاکی
  - عدم واکنش با ترکیبات آ لی و تشکیل THMs
  - تخریب و تجزیه ۳۰ تا ۴۰ درصد پیش سازی های THM s
  - عدم تحت تأثیر قرار گرفتن به کارایی گندزدایی در PH بین ۶ تا ۱۰
- معایب:
  - هزینه بالای ماده شیمیایی (تقریباً ۵ برابر کلر)
  - باید در محل تولید شود.
  - امکان خطرات بهداشتی ناشی از فرآوردهای جانبی تولید.
  - ایجاد طعم فلزی در آب تصفیه شده در دوزاژ بالا

معایب دی اکسید کلر

- دی اکسید کلر یک گاز متمایل به سبز با بوی شدید نامطبوع بوده که از بوی کلر قویتر است.
- در صورت استنشاق دی اکسید کلر برای انسان سمی است.
- بوی آن در غلظت PMM 0/1 قابل تشخیص است.
- یک گاز ناپایدار بوده و در غلظت های بالای ۱۰ درصد حجمی در هوا باعث انفجار می شود.
- دی اکسید کلر به دلیل ناپایدار بودن همیشه در محل تولید و بلا فاصله مصرف می شود.
- گند زدایی قوی تر از کلر است با وجود این که پتانسیل کمتری از کلر دارد.
- اگر کلر آزاد اضافی وجود داشته باشد اسید هیپو کلرو و ترکیبات برم دار را تولید می کند.

اثرات حاد کلر

- کلر مایع به شدت در هر قسمتی از بدن اثر گذار است.
- وجود کلر به میزان بیشتر از 5 ppm در هوا ، بینی و چشم ها را می سوزاند.

ppm ۰/۴ تا ۰/۲	آستانه بو و بدون خطر
ppm ۳-۱	مرحله ضعیف همراه با سوزش مجاری تنفسی تا یک ساعت
ppm ۱۵-۵	مرحله متوسط همراه با سوزش شدید تر مجاری تنفس
ppm ۳۰	همراه با درد سریع سینه- استفراغ و سرفه
ppm ۴۰ تا ۶۰	مسمومیت شدید
ppm ۴۳۰	مرگ بعد از ۳ دقیقه

فرآوردهای جانبی کلر و ترکیبات کلر

پس از افزودن کلر و ترکیبات آن به آب موادی در اب یافت شدند که به آن ها تری هالومتان ها می گویند:

این محصولات شامل

- تری ها لومتان ها
- هالواستو نیتریل ها
- هالواستیک ها
- هالوکتون ها
- آلدئیدها
- کلروفئل
- تری هالومتان ها را می توان به عنوان شاخصی برای حضور سایر فرآورده های کلی کلر زنی به آب به کار برد.

تری هالومتان چیست؟

- ترکیباتی هالوژن دار با یک اتم منفرد با فرمول CH3x که در بین فرمول X ممکن است فلوئور- کلر- برم- ید با ترکیبی از آن ها باشد.
- چهار نوع از آن ها اهمیت زیادی دارند. شامل بروموفرم. دی بروموکلرومتان- برومودی کلرو متان و کلرو فرم است.
- کلرو فرم متداول ترین آن ها می باشد.
- در طی ضد عفونی کردن آب با کلر و ترکیبات آن مواد بالا تشکیل می‌شود.

چه فاکتورهایی در تشکیل تری هالومتال ها مؤثر است؟

- PH هر چه آب قلیایی تر باشد هالومتان های بیشتری تشکیل می‌شود.
- کلر هر چه میزان کلر در آب بیشتر باشد هالومتان های بیشتری تشکیل می شود.
- رنگ هر چه میزان رنگ در آب بیشتر باشد هالومتان های بیشتری تشکیل می شود.
- کدورت هر چه میزان کدورت در آب بیشتر باشد هالومتان های بیشتری تشکیل می شود.
- مواد آلی- هر چه میزان مواد آلی در آب بیشتر باشد هالومتان های بیشتری تشکیل می شود.

نرخ تشکیل و غلظت تری هالومتان ها به شش عامل بستگی دارد:

- مقدار مواد آلی اولیه
- مقدار کلر آزاد باقی مانده
- دمای آب
- PH آب
- غلظت برم در آب
- زمان تماس کلر

مقدار مواد آلی اولیه

- در صورتی که مواد اولیه در آب وجود نداشته باشد هیچ گونه تری هالومتانی تشکیل نمی شود.
- مقدار کلر آزاد باقیمانده به طور مستقیم در تشکیل تری هالومتان تاثیر دارد.
- دمای آب به طور مستقیم در تشکیل تری هالومتان تأثیر دارد. دمای زیاد سرعت تشکیل تری هالومتان را افزایش می دهند و بر عکس
- pH زیاد و قلیایی واکنش و مقدار تری هالومتان را افزایش می دهد.
- زمان تماس: میزان تری هالومتان تابع مدت زمان تماس کلر است زمان تماس طولانی سبب ایجاد تری هالومتان با غلظت زیاد می شود.
- غلظت برم: سرعت واکنش بین برم و مولکول های اولیه سریع تر از کلر و مواد اولیه است و تری هالومتان بیشتری تولید می شود.

استفاده از ازن و کربن فعال دانه ای یک روش مؤثر برای کنترل میزان تری هالومتان ها است.

اثرات بهداشتی

- کلروفرم روی سیستم اعصاب مرکزی اثر گذاشته و اختلاتی را ایجاد می کند.
- کلروفرم روی کبد تاثیر سوء دارد.
- بین سرطان مثانه و کلروفرم ارتباط موجود است.
- در آب خام تری هالومتان موجود نمی باشد.
- سازمان حفاظت محیط زیست امریکا و سازمان جهانی بهداشت، ترکیبات تری‌هالومتان را به عنوان مواد سرطان زا معرفی کرده است.
- نیز تری هالومتان را به عنوان مواد سرطان زا معرفی کرده است.
- EPA میزان تری هالومتان را ۸۰ میکرو گرم در لیتر و اتحاد به اروپا میزان آن را ۱۰۰ میکرو گرم در لیتر و استاندارد ایران میزان آن را ۳۰۰ میکرو گرم در لیتر اعلام نموده‌اند.

روش های اندازه گیری کلر :

۱- روش اورتوتولیدین

۲- روش DPD (دی متیل ۱ و۴ فنیلین دی آمونیم) دیسک رنگی کمپراتور

– کیت رنگ سنجی دستی

۳- روش الکترودی

۴- روش فتومتری

۵- روش تیتراسیون

ید I_2

- ید در حالت آزاد به شکل جامد و به رنگ آبی متمایل به سیاه وجود دارد.
- در حالت آزاد حلالیت کم در آب دارد. بنابراین یدور پتاسیم که در آب خیلی محلول است به جای ید مصرف می شود.
- ید آزاد به محض آزاد شدن با آب ترکیب شده و ایجاد اسید هیپوآیو دوس را می نماید که یک اسید ضعیف و یک ضد عفونی کننده خوب است.
- به طور کلی ید در مقابل جلبک ها بی اثر است.
- استفاده از ید برای گند زدایی آب برای خانم های حامله ، افراد دچار بیماری های تیروئیدی توصیه نمی شود. مگر این که از یک سیستم تصفیه نهانی حذف مؤثر ید، مثل کربن گرانوله استفاده شود.

- معمولاً میزان ید در آب باید بالای ۱ میلی گرم در لیتر است.
- عمل گند زدایی آب با ید، پس از نیم ساعت کامل می شود.
- ید از کلر گران تر است.

- ید می تواند اثرات فیزویولوژیکی، نامطلوبی را در غلظت ۱ تا ۲ میلی گرم در لیتر بر سلامتی ایجاد نماید. براساس رهنمود بهداشت عمومی امریکا مصرف ۵ قطره محلول تنتورید ۲ درصد در مدت زمان ۳۰ دقیقه برای تصفیه آب پاک و ۱۰ قطره برای گندزدایی آب کدر توصیه می شود.
- ۵ قطره محلول ۲ درصد در یک لیتر و ۲ قطره محلول ۷ درصد در یک لیتر بعد از ۳۰ دقیقه توسط سازمان جهانی بهداشت در شرایط اضطراری پیشنهاد شده است.

اثرات ضد میکروبی ید

- I2 وHIO اسید هیپویدو و ید دو عامل مهم گندزدائی در میان گونه های مختلف ترکیبات ید می باشند.
- مقادیر نسبی I2 و اسید هیپویدو به PH و قدرت محلول و دما بستگی دارد.
- I2 ۳ تا ۶ برابر بیش از HIO می توند اسپورها را نابود سازد.
- I2 در نابودی کیست آنتامبا هیستولیتیکا ۲تا ۳ برابر بیش از HIO موثر است.
- اما اثر ضد ویروسی اسید هیپویدو بیش از I2 است.
- HIO ۳ تا ۴ برابر بیش از I2 میتواند باکتری E.coli را نابود سازد.

برم

- برم در درجه حرارت اتاق به صورت مایع قرمز رنگ یا قرمز قهوه ای بوده و سه بار از آب سنگین تر است.
- آماده سازی آن فوق العاده خطرناک است و سطح پوست را می سوزاند.
- **مزایا**
- کمتر از کلر چشم را تحریک می کند.
- اکسید کننده- ضد عفونی کننده- جلبک کش قوی بوده است و محلول است.
- **معایب**
- قابلیت انفجار دارد.
- PH آب را کاهش می دهد.
- بوی تندی دارد.
- آب را می تواند به رنگ سبز در بیاورد.
- برم از کلر ۱۰ برابر گران تر است.

پرمنگنات پتاسیم

- در پرمنگنات پتاسیم یک اکسید کننده قوی است. و به طور گسترده برای کنترل طعم و بو و حذف منگنز استفاده می شود.
- پر منگنات پتاسیم یک گندزدا ضعیف است. بنابراین برای گندزدایی به زمان و غلظت بسیار زیاد احتیاج دارد .
- برای گند زدایی با باقیمانده ۲ میلی گرم در لیتر به زمان ۲۴ ساعت نیاز دارد .
- به دلیل گفته شده کاربرد پرمنگنات پتاسیم در تصفیه آب بسیار محدود است.
- این ماده از واکنش کلر با منگنات پتاسیم تولید می شود.
- وقتی پرمنگنات پتاسیم به اب اضافه می شود حضورش با ایجاد ته رنگ بنفش به کمک چشم قابل تشخیص است.

مزایا

- به علت ایجاد رنگ بنفش تشخیص آن آسان است.
- جا به جایی و حمل آن به صورت جامد آسان است.
- خطر تزریق بیش از حد با تزریق ماده جامد و دیدن رنگ بنفش در محلول کاهش می‌یابد.

معایب

- تزریق ان باعث رنگی کردن اطراف می شود.
- کاربرد تزریق ماده جامد بیش از محلول آن است.
- زمان تماس مورد نیاز طولانی است.

رابطه زمان و غلظت ماده گند زدایی باقیمانده

$T \times C$

The Ct Concept

In disinfection, the ability to inactivate microorganisms is a function of both disinfectant concentration and time.

Fractional removal, $N/N_o = C^n t^m$

This is generally simplified to

$$N/N_o = Ct$$

Ct values have been determined for 99.99% virus and 99.9% Giardia removal

- دو عامل بسیار مهم گندزدایی عبارتند از غلظت ماده گندزدای باقیمانده و زمان تماس است.

این رابطه به شکل زیر بیان می شود.

- $T \times C =$ عدد ثابت

که C غلظت گندزدایی باقی مانده mg/l , T زمان تماس بر حسب دقیقه است.

- نکته خیلی مهم این است که اثر ماده گندزدای کم غلظت با زمان تماس طولانی تقریباً مساوی با غلظت ماده گندزدای غلیظ با زمان تماس کوتاه می باشد.

Inactivation of Hepatitis A Virus by Drinking Water Disinfectants

Disinfectant	pH	Concentration (mg/L)	Virus state	T-99.99 (min.)	CT
free chlorine	8	0.4	dispersed	5.5	2.0
free chlorine	8	0.4	cell-associated	70.0	27.0
free chlorine	10	0.4	dispersed	50.0	19.3
free chlorine	10	0.4	cell-associated	253.0	104.0
Chlorine dioxide	6	0.5	dispersed	40.0	14.0
Chlorine dioxide	6	0.5	cell-associated	55.0	15.0
Chlorine dioxide	9	0.5	dispersed	0.5	0.2
Chlorine dioxide	9	0.5	cell-associated	0.5	0.2
Ozone	8	0.3	dispersed	<0.1	<0.03
Monochloramine	8	10.0	dispersed	116.0	1,225.0*
Monochloramine	8	10.0	cell-associated	170	1,740.0*

* by extrapolation from experiments with 60-minute contact times

Ozone Ct values

Microorganism	Ct (mg min l^{-1})	T (°C)	pH	log reduction
E.coli	0,009	12	*	4 log
Legionella pneumophila	1,05	12	*	2 log
Rotavirus	0,006-0,06	5	6-7	2 log
Giardia lamblia (cysts)	0,17	25	7.2	2 log
Giardia muris (cysts)	0,27	25	7	2 log
Cryptosporidium parvum (oocysts)	5,39	20	*	2 log

مقایسه مقادیر CT برای غیر فعال سازی ویروس ها توسط مهمترین گندزداهای رایج

گندزدا	واحد	غیر فعال سازی	
		دولگاریتم	سه لگاریتم
کلر	mg.min/L	۳	٤
کلرآمین	mg.min/L	٦٤٣	١٠٦٧
دی اکسید کلر	mg.min/L	٤/٢	١٢/٨
ازن	mg.min/L	٠/٥	٠/٨
ماورای بنفش	mv.s/cm ٢	٢١	٣٦

۱ .مقادیر برای دما ۱۰ دامنه PH ٦ تا ۹ وکلر باقیمانده ۰/۲ تا ۰/۵ میلی گرم در لیتر

۲ مقادیر برای شرایطی است که دم ۱۰ درجه و PH مساوی ۸ باشد

۳ مقادیر برای شراطی است که دما ۱۰ درجه و دامنه PH ٦ تا ۹ باشد .

مقایسه مقادیر CT برای غیر فعال سازی کیست های ژیاردیا توسط مهمترین گندزدا ها

گندزدا	غیر فعال سازی		
	یک لگاریتم	دو لگاریتم	سه لگاریتم
کلر	۳۵	٦۹	۱۰٤
کلر آمین	٦۱۰	۱۲۳۰	۱۸۵۰
دی اکسید کلر	۷/۷	۱۵	۲۳
ازن	۰/٤۸	۰/۹۵	۱/٤۳

۱ -مقادیر برای شرایطی است که کلر باقی مانده کمتر یا مساوی ۰/٤ میلی گرم درلیتر دما ۱۰ درجه و PH =۷ باشد

مقادیر CT برای غیر فعال سازی کیست های ژیاردیا در شرایط مختلف از میزان کلر و پی هاش آب در ۲۵ درجه

کلر باقیمانده آزاد	PH		
Mg/L	۶/۵	۷/۵	۸/۵
۰/۶	۳۰	۴۳	۶۱
۰/۸	۳۱	۴۴	۶۳
۱	۳۱	۴۵	۶۵
۱/۴	۳۳	۴۷	۶۹
۲	۳۵	۵۰	۷۴
۲/۴	۳۶	۵۲	۷۷

مقادیر CT برای غیر فعال سازی ویروس ها به وسیله کلر

دما	میزان غیر فعال سازی		
	دو لگاریتم	سه لگاریتم	چهار لگاریتم
	PH=٦.٩	PH= ٦.٩	PH= ٦.٩
٥	٦	٧	٨
١٠	٣	٤	٦
٢٠	١	٢	٣
٢٥	١	١	٢

مقادیر CT برای غیر فعال سازی کیست ژیادیا به وسیله کلر آمین در دامنه پی هاش ٦ تا ٩

میزان غیر فعال سازی / دما		٥	١٥	٢٥
١	log	٧٣٥	٦١٥	٢٥٠
٢	log	١٤٧٠	١٢٣٠	٥٠٠
٣	log	٥٢٠٠	١٨٥٠	٧٥٠

مقادیر CT برای غیر فعال سازی ویروس ها به وسیله کلر آمین

میزان غیر فعال سازی دما	٥	١٥	٢٥
log ٢	٨٥٧	٤٢٨	٢١٤
٣ log	١٤٢٣	٧١٢	٣٦٥

مقایسه ویژگی های تکنیکی – اقتصادی مهمترین روش های گندزدائی

ویژگی ها	کلر	ازن	UV	میکروفیلتر	اولترافیلتر
باکتری کشی	++	+++	++	+++	+++
ویروس کشی	++	+++	+	هیچ	+++
امکان رشد مجدد	+	++	+	هیچ	هیچ
ممیت باقیمانده گندزدا	+++	+	هیچ	هیچ	هیچ
فرآورده جانبی	+++	+	هیچ	هیچ	هیچ
هزینه سرمایه گذاری	+	+++	++	+++	+++

+ = کم ++ = متوسط +++ = زیاد

منابع

۱. آب آشامیدنی کتاب رهنمودهایی در خصوص آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت های ترجمه مهندس محمد سپهر
۲. اصول تصفیه آب تألیف مهندس مرتضی حسینیان
۳. تصفیه آب دکتر محوی و مصطفی لیلی
۴. اصول تصفیه آب دکتر چالکش امیری
۵. مبانی تصفیه آب دکتر محمد پیکری- دکتر ارجمند مهربانی
۶. طراحی و راهبری جامع سیستم تصفیه آب سوسوکاوامورا
۷. مهندسی آب- برنامه ریزی و طراحی – بهره برداری ترجمه دکتر غلامرضا موسوی
۸ . اصول رعایت یهداشت در واحد های صنایع غذایی : دکتر مظاهری – دکتر حبیبی
۹. اصول تصفیه آب و فاضلاب : دکتر شریعت پناهی
۱۰. تصفیه آب و کنترل پاتوژن ها : از اتشارات WHO ترجمه مصطفی لیلی ، محمد انصاری زاده
۱۱. مقررات گندزدائی آب و بهره برداری از گندزداها تالیف دکتر فروغ واعظی
۱۲. سایت مهندسی بهداشت محیط ایران

با تشکر از حسن توجه شما