اصول و عملیات کلرزنی آب آشامیدنی

راهنمایی برای بهبود عملیات کلرزنی در منابع آب با اندازه کوچک تا متوسط

سازمان جهانی بهداشت

دفترمنطقه ای جنوب شرقی آسیا

مترجمین

دکتر مینا آقائی، دکتر حسنا جانجانی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت

دانشگاه علوم پزشکی تهران

بسم الله الرحمن الرحيم

عنوان و نام پدیدآور	:	اصول و عملیات کلرزنی آب آشامیدنی: راهنمایی برای بهبود عملیات کلرزنی در منابع آب با اندازه کوچک تا متوسط / [تهیه‌کننده] سازمان جهانی بهداشت دفترمنطقه‌ای جنوب شرقی آسیا؛ مترجمین مینا آقائی، حسنا جانجانی.
مشخصات نشر	:	تهران: دریچه نو، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	:	۷۰ص.: مصور.
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۹۴۹۳۴-۲-۷
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی:Principles and Practices of Drinking - water chlorination.
موضوع	:	راهنمایی برای بهبود عملیات کلرزنی در منابع آب با اندازه کوچک تا متوسط.
موضوع	:	آب -- تصفیه -- گندزدایی Water -- Purification -- Disinfection
موضوع	:	آب آشامیدنی -- تصفیه Drinking water -- Purification
موضوع	:	عفونت‌زدایی و عفونت‌زداها Disinfection and disinfectants
شناسه‌افزوده	:	آقایی، مینا، ۱۳۶۷-
شناسه‌افزوده	:	جانجانی، حسنا، ۱۳۶۸-
شناسه‌افزوده	:	سازمان بهداشت جهانی. دفترمنطقه‌ای آسیای جنوب شرقی World Health Organization. Regional Office for South-East Asia
رده بندی کنگره	:	TD459
رده بندی دیویی	:	۶۲۸/۱۶۶۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۰۷۰۸۴۵

اصول و عملیات کلرزنی آب آشامیدنی - (راهنمایی برای بهبود عملیات کلرزنی در منابع آب با اندازه کوچک تا متوسط)

نویسنده: سازمان جهانی بهداشت / دفترمنطقه ای جنوب شرقی آسیا

مترجم: دکتر مینا آقائی، دکتر حسنا جانجانی

نوبت چاپ: اول، تابستان ۱۴۰۱

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۹۴۹۳۴-۲-۷

قیمت: ۸۰۰۰۰ تومان

ناشر: دریچه نو

انتشارات دریچه نو

نشانی ناشر: تهران، میدان انقلاب، کارگر جنوبی، خیابان لبافی نژاد غربی، شماره ۳۲۲، واحد ۴ / کدپستی: ۱۳۱۳۹۱۳۹۸۶

تلفن: ۳-۶۶۹۲۱۸۶۲-۰۲۱

«کلیه حقوق قانونی برای مؤلف محفوظ می باشد»

کتاب حاضر ترجمه سند منتشرشده توسط سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۷ تحت عنوان زیر بوده است و استفاده غیر تجاری از آن با ذکر دقیق منبع به صورت زیر بلامانع است:

Principles and practices of drinking-water chlorination: a guide to strengthening chlorination practices in small-to mediumsized water supplies. World Health Organization; 2017. ISBN: 978-92-9022-536-2

لازم به ذکر است که این ترجمه توسط سازمان جهانی بهداشت انجام نشده است. بنابراین سازمان جهانی بهداشت هیچگونه مسئولیتی درقبال محتوا یا صحت مطالب ترجمه شده ندارد.

ترجمه این سند توسط گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده است.

مترجمین بر خود لازم می دانند که از زحمات جناب **آقای دکتر کاظم ندافی** به جهت راهنمایی های ارزشمند ایشان تقدیر و تشکر نمایند.

مترجمین: دکتر مینا آقائی، دکترحسنا جانجانی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

فهرست مطالب

مخفف ها و اختصارات

سپاسگزاری

مقدمه

۱. هدف از این راهنما چیست؟

۲. راهنما برای چه کسانی در نظر گرفته شده است؟

۳. ساختار راهنما چگونه است؟

۴. بخش ۱. اصول کلرزنی

۱,۱ کلرزنی چیست؟

۲,۱ خصوصیات کلر

۳,۱ اصول کلرزنی آب آشامیدنی

۱,۳,۱ دز کلر

۲,۳,۱ واکنش های کلر در آب آشامیدنی

۳,۳,۱ کلر مورد نیاز

۴,۳,۱ تجزیه کلر

۵,۳,۱ مفهوم Ct برای گندزدایی

۶,۳,۱ ملاحظات زیبایی شناختی برای کلرزنی

۷,۳,۱ بهینه سازی غلظت کلر در سیستم تأمین آب

۸,۳,۱ نقاط کاربرد کلر

۴,۱ خلاصه شرایط مورد نیاز برای کلر زنی مؤثر

۵. بخش ۲. کلرزنی عملی

۱,۲ جابجایی و ذخیره ایمن کلر

۲,۲ سیستم تزریق مایع کلر

۱,۲,۲ سیستم های تزریق بدون پمپ

۲,۲,۲ سیستم های تزریق مبتنی بر پمپ

۳,۲ محاسبات تزریق کلر

۱,۳,۲ نحوه محاسبه کلر مورد نیاز

۲,۳,۲ نحوه محاسبه مقدار Ct برای گندزدایی

۳,۳,۲ نحوه محاسبه دز کلر مورد نیاز

۴,۳,۲ نحوه محاسبه مقدار پودر کلر مورد نیاز جهت تهیه محلول مایع کلر

۵,۳,۲ نحوه محاسبه نرخ دز کلر

۴,۲ تدوین روشهای عملیاتی استاندارد برای کلرزنی

۲. ۵ پایش کلرزنی

۱,۵,۲ تجهیزات آزمایش کلر

۲,۵,۲ ملاحظات نمونه برداری کلر

۳,۵,۲ پایش عملیاتی برای کلرزنی بهینه

۶,۲ خلاصه

۶. جعبه ابزار

A) روش‌های عملیاتی استاندارد عمومی برای کلرزنی آب آشامیدنی

B) خلاصه برگه کلر زنی

C) محاسبه مقدار Ct برای گندزدایی

واژه نامه اصطلاحات

مخفف ها و اختصارات

%	percent	درصد
>	less than	کمتر از
<	greater than	بیشتر از
≤	greater than or equal to	بیشتر از یا مساوی با
AWWA	American Water Works Association	انجمن کارهای آبی آمریکا
Ct	Product of disinfectant concentration and time of contact	محصول غلظت گندزدا و زمان تماس
DBPs	disinfection by-products	محصولات جانبی ناشی از گندزدایی
DPD	N,N-diethyl-p-phenylenediamine	N, N دی اتیل پارا فنیلن دی آمین
Eq	equation	معادله
FIFO	first in, first out	اولین ورودی، اولین خروجی
g	gram	گرم
h	hour	ساعت
HAAs	haloacetic acids	اسیدهای هالواستیک
HWTS	household water treatment and safe storage	تصفیه آب خانگی و ذخیره ایمن
Kg	kilogram	کیلوگرم
L	litres	لیتر
L/h	litres per hour	لیتر بر ساعت
L/min	litres per minute	لیتر بر دقیقه
m^3	cubic meters	مترمکعب
m^3/h	cubic meters per hour	متر مکعب بر ساعت
m^3/min	cubic meters per minute	متر مکعب بر دقیقه
MDG	Millennium Development Goal	هدف توسعه هزاره
mg/L	milligrams per litre	میلی گرم بر لیتر
min	minute	دقیقه
min.mg/L	minutes per milligram per litre	دقیقه در میلی گرم بر لیتر
NTU	Nephelometric turbidity unit	واحد نفلومتری کدورت
°C	degree Celsius	درجه سلسیوس
PPE	Personal protective equipment	تجهیزات حفاظت فردی
SEARO	South-East Asia Regional Office	دفتر منطقه ای جنوب شرقی آسیا
SOP	Standard operating procedure	روش عملیاتی استاندارد
THMs	Trihalomethanes	تری هالومتان ها
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund	صندوق اضطراری بین المللی کودکان سازمان ملل متحد
WHO	World Health Organization	سازمان جهانی بهداشت
WSP	Water safety plan	برنامه ایمنی آب

مقدمه

گندزدایی منابع آب آشامیدنی با کلر به عنوان یکی از مهمترین مداخلات سلامت عمومی به طور وسیعی مورد توجه قرار گرفته است که می تواند موجب کاهش بروز بیماری های منتقله توسط آب در سطح جهان شود. با این حال تا سال ۲۰۱۵، ۶۶۳ میلیون نفر هنوز دسترسی به منابع به اصطلاح آب آشامیدنی بهبود یافته ندارند[۱]، و تعداد افرادی که به آب آشامیدنی ایمن دسترسی ندارند احتمالاً بسیار بیشتر است[۲]. به همین دلیل، بهبود شیوه های گندزدایی با کلر در منابع آب لوله کشی یک استراتژی مهم برای بهبود دسترسی جهانی به آب آشامیدنی ایمن (سالم) است.

هدف این راهنما چیست؟

این سند، رهنمودی را در مورد گندزدایی با استفاده از کلر در منابع آب سازمان یافته با اندازه کوچک تا متوسط در مناطق با منابع کم تر ارائه می دهد. این راهنما به عنوان یک برنامه پشتیبان برای توسعه و آموزش کارکنان تحت چارچوب طرح ایمنی آب (WSP) در نظر گرفته شده است[۳،۴]. این راهنما بخشی از یک برنامه آموزشی را تشکیل می دهد که ارائه آموزشی مربوطه از تارنمای دفتر منطقه ای جنوب شرقی آسیای (SEARO) سازمان جهانی بهداشت (WHO) برای دانلود در دسترس است[۵]. راهنمایی در مورد استفاده از کلر برای اهداف تصفیه ای غیر از گندزدایی ارائه نشده است. همچنین استفاده از کلر گازی و کلرآمیناسیون در این راهنما پوشش داده نشده است.

راهنما برای چه کسانی در نظر گرفته شده است؟

این راهنما برای افرادی در نظر گرفته شده است که در مدیریت و بهره برداری از سیستم های آبرسانی سازمان یافته کوچک تا متوسط درگیر هستند. محتوا با ملاحظات ویژه ای برای پرسنل سطح عملیاتی با مسئولیت کلر زنی (به عنوان مثال، اپراتورها و تکنسین های تصفیه خانه آب) توسعه یافته است. مطالب ارائه شده در این راهنما ممکن است برای مهندسان و نمایندگان بهداشت عمومی، دولت محلی، سازمان های غیردولتی، و همچنین سایر افرادی که از فعالیت های برنامه ریزی ایمنی آب برای تامین آب آشامیدنی ایمن حمایت می کنند، مناسب باشد.

ساختار راهنما چگونه است؟

این راهنما در دو بخش ارائه شده است:

---

[1] WHO and United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF; 2015). Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. Progress on drinking-water and sanitation: 2015 update and MDG assessment. Geneva, Switzerland.

[2] Onda, K., LoBuglio, J. and Bartram, J. (2012). Global access to safe water: accounting for water quality and the resulting impact on MDG progress. International Journal of Environmental Research and Public Health, 9, 880-894.

[3] Bartram et al. (2009). Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. Geneva, Switzerland.

[4] WHO (2012). Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking water supplies in small communities. Geneva, Switzerland.

[5] http://www.searo.who.int/en/.

بخش ۱. اصول کلر زنی: مفاهیم کلیدی کلر زنی را تشریح می کند و دانش پایه (اساسی) را برای اجرای شیوه های کلر زنی موثر فراهم می کند.

بخش ۲. شیوه های کلر زنی: کاربرد عملی مفاهیم ارائه شده در بخش ۱ از جمله محاسبات و روش های کلر زنی ایمن و مؤثر منابع آب آشامیدنی را شرح می دهد.

علاوه بر این، یک بخش تکمیلی به صورت کادرهایی در نظر گرفته شده است که روش های عملیاتی استاندارد (SOP) کلی را برای کلر زنی ارائه می کند تا به عنوان الگویی عمل کند که ممکن است برای سیستم های تأمین آب فردی به کار گرفته شود. در سرتاسر راهنما، مفاهیم کلیدی در کادرهایی همراه با مثال‌ها و محاسبات اولیه ارائه شده است تا خوانندگان را در خصوص اصول و کاربرد عملی کلرزنی آب آشامیدنی راهنمایی کنند.

بخش ۱. اصول کلر زنی

مفاهیم کلیدی کلر زنی را در چهارچوب عملی توصیف می کند تا درک لازم برای کلر زنی موثر آب آشامیدنی را فراهم کند.

۱,۱ کلرزنی چیست؟

میکروارگانیسم ها موجودات زنده میکروسکوپی هستند که در بیشتر محیط های روی زمین از جمله آب یافت می شوند. میکروارگانیسم ها ممکن است به طور طبیعی در منابع آب وجود داشته باشند، اما ممکن است از طریق فعالیت های انسانی (مانند تخلیه فضولات انسانی و حیوانی) نیز وارد منابع آبی شوند.

برخی از میکروارگانیسم ها ممکن است برای سلامت انسان مضر باشند (که پاتوژن یا بیماری زا نامیده می شوند). اگر آب بدون تصفیه کافی برای حذف عوامل بیماری زا مصرف شود، ممکن است باعث بیماری های تهدید کننده زندگی مانند اسهال شود. به بیماری هایی که از طریق آب منتقل می شوند، بیماری های منتقله از طریق آب گفته می شود.

میکروارگانیسم هایی که به طور رایجی با بیماری های منتقله از طریق آب مرتبط هستند عبارتند از:

- باکتری ها[۶] (مانند اشرشیاکلای، ویبریوکلرا)؛
- ویروس ها (مانند هپاتیت A، پولیوویروس A)؛
- تک یاخته ها (مانند کریپتوسپوریدیوم، ژیاردیا)

کلر یک گندزدای قوی است، یعنی ماده ای که ممکن است میکروارگانیسم ها را بکشد یا غیرفعال کند (به کادر A مراجعه کنید). کلر زنی فرآیندی است که در آن کلر برای کشتن یا غیرفعال کردن میکروارگانیسم ها از جمله پاتوژن های مضر به آب آشامیدنی اضافه می شود. اگرچه کلر یک گندزدای موثر است، اما همه میکروارگانیسم های مضر را از بین نمی برد (شکل ۱).

A) اثربخشی نسبی کلر در برابر میکروارگانیسم ها

اثربخشی کلر در برابر انواع مختلف میکروارگانیسم ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

به طور کلی، کلر در برابر باکتری ها بیشتر مؤثر است، در برابر برخی ویروس ها تأثیر کمتری دارد و کمترین اثر را در برابر تک یاخته های مشخصی دارد.

تک یاخته ها با تشکیل نوعی پوسته بادوام به نام کیست یا اووسیست ممکن است برای دوره های طولانی در محیط زنده بمانند. این نکته مهمی برای تامین آب آشامیدنی سالم است، زیرا در عمل کلر اثربخشی کمی در برابر این تک یاخته‌های مقاوم (مانند کریپتوسپوریدیوم) دارد. سایر فرآیندهای تصفیه آب آشامیدنی مانند فیلتراسیون یا گندزدایی با اشعه ماوراء بنفش (UV) ممکن است برای حذف یا غیرفعال کردن تک یاخته ها به طور مؤثر مورد نیاز باشد.

[۶] باکتری‌ها معمولاً به‌عنوان سلول‌های فعال در حال رشد یا «رویشی» وجود دارند که به گندزدایی با کلر بسیار حساس هستند. با این حال، تحت شرایط خاص، باکتری های خاص نیز ممکن است برای بقای محیطی، "اسپور" کیست مانند تشکیل دهند. کلر ممکن است در برابر اسپورهای باکتری خاص بی اثر باشد.

شکل ۱. اثربخشی نسبی کلر در برابر انواع مختلف میکروارگانیسم ها

۲,۱ خصوصیات کلر

کلر به صورت جامد (به عنوان مثال پودر)، مایع یا گاز وجود دارد. خصوصیات کلیدی کلر در رابطه با گندزدایی آب آشامیدنی شامل موارد زیر است:

- کلر از نظر شیمیایی بسیار واکنش پذیر است و به عنوان مثال با مواد آلی، میکروارگانیسم ها، فلزات، مواد موجود در لوله (متریال لوله) و اتصالات لوله واکنش می دهد.
- مایع کلر فرار است، به این معنی که پس از قرار گرفتن در معرض هوا، کلر ممکن است از فاز آبی خارج شده و به هوا برود.
- کلر دارای طعم و بوی متمایز و مشخصی است که ممکن است توسط افراد هنگام بوئیدن یا آشامیدن آب تشخیص داده شود.
- کلر خورنده است، به این معنی که می تواند باعث تحریک شدید و سوختگی های شیمیایی در بافت های انسانی مانند پوست شده و همچنین موجب آسیب به لوله ها شود. به این ترتیب، کلر باید با دقت ذخیره و نگهداری شود (به بخش ۱,۲ مراجعه کنید).
- کلر ممکن است پس از گندزدایی در آب باقی بماند که ممکن است از آب آشامیدنی در برابر آلودگی مجدد توسط میکروارگانیسم های مضر در طول ذخیره سازی و توزیع به مصرف کننده محافظت کند.

B) نحوه بیان قدرت کلر در کلر پودری و مایع

گاز کلر معمولاً حاوی کلر خالص است. با این حال، پودر و مایع کلر حاوی کلر خالص نیستند و با مواد دیگر (مانند کلسیم، سدیم یا آب) مخلوط می شوند.

به همین دلیل، قدرت کلر در کلر پودری یا مایع کلر به عنوان غلظت کلر در آن ماده نامیده می شود.

به طور معمول، به صورت درصد (٪) کلر فعال موجود بیان می شود.

خواص مهم پودر، مایع و گاز کلر در رابطه با گندزدایی آب آشامیدنی در شکل ۲ خلاصه شده است.

شکل ۲. خواص پودر، مایع و گاز کلر در رابطه با گندزدایی آب آشامیدنی

پودر کلر

ظاهر: پودر، گرانول و یا قرص سفید رنگ

قدرت: معمولا ۳۰ تا ۷۰ درصد کلر فعال

معمولاً ابتدا باید در آب حل شده و محلول آنها مورد استفاده قرار گیرد (به مایع کلر در زیر مراجعه کنید)

پایداری: ممکن است به مرور زمان کمی از قدرت آن کم شود؛ از مایع کلر پایدار تر است.

کاربرد: معمولا برای سیستم های تصفیه آب کوچک استفاده می شود (برای مثال، کمتر از ۵۰۰۰ متر مکعب در روز)

مایع کلر

ظاهر: مایع شفاف تا زرد کم رنگ

قدرت: معمولا ۱ تا ۱۵ درصد کلر فعال

پایداری: ممکن است به مرور زمان کمی از قدرت آن کم شود؛ از پودر کلر ناپایدار تر است.

کاربرد: معمولا برای سیستم های تصفیه آب کوچک تا متوسط استفاده می شود (برای مثال، کمتر از ۱۰۰۰۰ متر مکعب در روز)

مثال ها: هیپوکلریت سدیم (۱۰ تا ۱۵٪ کلر فعال؛ تهیه شده به صورت تجاری)، سفید کننده خانگی (۵ تا ۱۰٪ کلر فعال؛ تهیه شده به صورت تجاری)، و محلول مایع کلر تهیه شده از پودر کلر (معمولاً ۱ تا ۵٪ کلر

گاز کلر

ظاهر: گاز سبز- زرد رنگ

قدرت: تقریباً ۱۰۰٪ کلر فعال

پایداری: بیشترین پایداری را با گذر زمان در بین انواع کلر دارد

کاربرد: معمولا برای سیستم های تصفیه آب متوسط تا بزرگ استفاده می شود (برای مثال، بیشتر از ۱۰۰۰۰ متر مکعب در روز)

مثال ها: گاز کلر (مایع شده)

پودر کلر (نام شیمیایی: هیپوکلریت کلسیم) به دلیل پایداری، استحکام و هزینه های حمل و نقل کمتر، معمولاً در تصفیه خانه های آب با اندازه کوچک استفاده می شود. اگرچه پودر کلر ممکن است مستقیماً به آب آشامیدنی اضافه شود، معمولاً ابتدا در آب حل می شود تا محلول مایع کلر تشکیل شود و سپس می تواند برای گندزدایی به آب آشامیدنی جهت گندزدایی اضافه گردد.

با توجه به نیاز به منابع و مسائل ایمنی مرتبط با تهیه منظم حجم های زیاد مایع کلر از پودر کلر، مایع کلر آماده تجاری که در دسترس و مقرون به صرفه است معمولاً در تصفیه خانه های کوچک تا متوسط، استفاده می شود.

گاز کلر معمولاً فقط در تصفیه خانه های آب با اندازه بزرگتر استفاده می شود. دلیل این امر عوامل متعددی از جمله (۱) هزینه بالای تجهیزات تزریق گاز کلر، (۲) در دسترس بودن متخصص و بخش های تخصصی برای بهره برداری و

نگهداری از سیستم تزریق دز کلر، (۳) در دسترس بودن منابع تأمین گاز کلر، و همچنین (۴) ملاحظات ایمنی می باشد.

به دلایل مذکور، پودر و یا مایع کلر به طور کلی در تأسیسات تصفیه آب با اندازه کوچک تا متوسط استفاده می شود و به همین دلیل تمرکز اصلی این راهنما روی پودر و مایع کلر خواهد بود.

۳,۱ اصول کلر زنی آب آشامیدنی

۱,۳,۱ دز کلر

دز کلر به مقدار کلر اضافه شده به آب آشامیدنی (یا غلظت کلر در آب آشامیدنی) اشاره دارد. اطلاعات مربوط به چگونگی (نحوه) بیان غلظت کلر موجود در آب آشامیدنی در کادر (C) ارائه شده است.

C) نحوه بیان غلظت کلر در آب آشامیدنی

مقدار (یا غلظت) کلر موجود در آب آشامیدنی ممکن است به صورت میلی گرم بر لیتر (یا mg/L) بیان شود.

- برای مثال: اگر آب آشامیدنی غلظت کلر ۱ میلی گرم بر لیتر دارد، به این معنی است که ۱ میلی گرم کلر در یک لیتر آب وجود دارد.

دز بهینه کلر برای سیستم تأمین آب بایستی به صورت موردی با توجه به موقعیت خاص تعیین شود (به بخش ۷,۳,۱ مراجعه کنید).

۲,۳,۱ اصول کلر زنی آب آشامیدنی

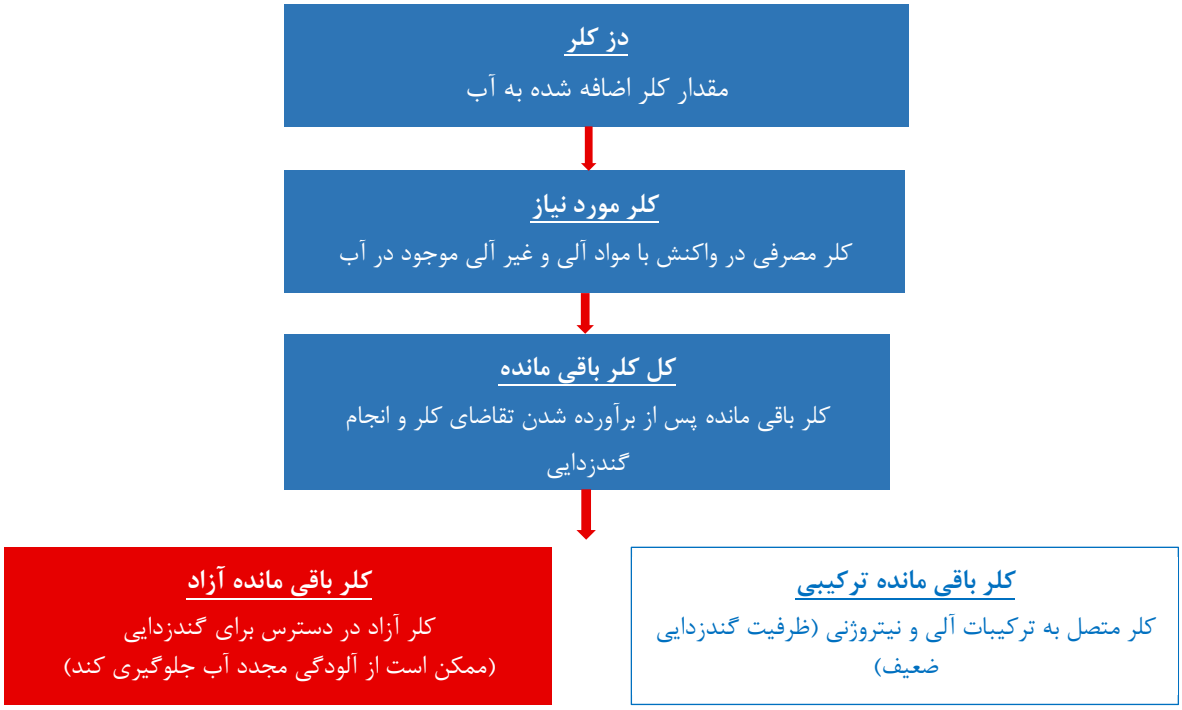
هنگامی که کلر به آب آشامیدنی اضافه می شود، تعدادی واکنش شیمیایی رخ می دهد. به این ترتیب، کلر به اشکال مختلف در آب آشامیدنی وجود دارد. در شکل ۳ انواع اصلی واکنش ها و انواع مختلف کلر که ممکن است در آب آشامیدنی وجود داشته باشد به طور خلاصه نشان داده شده است.

همانطور که در بخش ۲,۱ بحث شد، کلر بسیار واکنش پذیر است. در نتیجه کلر با هر ماده آلی (مانند میکروارگانیسم ها) و مواد غیر آلی موجود در آب (مانند فلزات، اتصالات لوله) واکنش نشان می دهد. این مواد آلی و معدنی ممکن است به عنوان مواد واکنش دهنده با کلر نامیده شود. در طی این واکنش ها کلر استفاده می شود (یا مصرف می شود) و بنابراین غلظت کلر کاهش می یابد. مقدار کلری که از طریق واکنش بین کلر و مواد واکنش دهنده با کلر موجود در آب مصرف می شود، نیاز کلر (کلر مورد نیاز، یا کلر مصرفی) نامیده می شود (بخش ۳,۳,۱).

هنگامی که کلر مورد نیاز برآورده شد و واکنش های گندزدایی کامل شد، کلر باقی مانده به عنوان کل کلر باقی مانده نامیده می شود. کل کلر باقی مانده شامل موارد زیر است:

- **کلر باقی مانده ترکیبی:** کلری است که با مواد آلی و ترکیبات نیتروژن (مانند آمونیاک) واکنش داده و مواد گندزدای ضعیفی تشکیل می دهد.
- **کلر باقی مانده آزاد:** کلر آزاد که باقی مانده و برای گندزدایی در دسترس است و آب را تا حدی از آلودگی مجدد میکروارگانیسم ها محافظت می کند (شکل ۳).

شکل ۳. ارتباط بین فرم های مختلف کلر در آب آشامیدنی[۷]



کلر باقی مانده (همچنین به عنوان کلر آزاد نیز شناخته می شود) یک گندزدای موثر است. غلظت کلر باقی مانده یکی از مهمترین پارامترهای کیفیت آب از دیدگاه بهداشت عمومی است (به کادر D مراجعه کنید).

[7] Adapted from Centre for Disease Control. Chlorine Residual Factsheet. http://www.cdc.gov/safewater/publications_pages/chlorineresidual.pdf. Visited on 8 July, 2015.

(D) اهمیت غلظت کلر باقی مانده و حفاظت از سلامت عمومی

وجود کلر باقی مانده در آب آشامیدنی تصفیه شده نشان می دهد که:

- کلر به اندازه کافی به آب اضافه شده است تا اطمینان حاصل شود که گندزدایی کافی انجام شده است.
- آب تا حدی از آلودگی مجدد توسط میکروارگانیسم های مضر که نسبت به کلر حساس هستند، محافظت می شود.

غلظت کلر باقی مانده کافی برای محافظت از آب آشامیدنی گندزدایی شده در برابر آلودگی مجدد در طول ذخیره سازی میانی (مانند مخازن آب تصفیه شده و تانک ها) و در حین توزیع تا نقطه تحویل به مصرف کننده بسیار مهم است [۸].

برای اطمینان از اینکه آب آشامیدنی تصفیه شده به اندازه کافی از خطر آلودگی مجدد توسط میکروارگانیسم های مضر محافظت می شود، WHO توصیه می کند که حداقل غلظت کلر باقی مانده ۰/۲ میلی گرم در لیتر تا نقطه تحویل به مصرف کننده حفظ شود[۹].

این بدان معناست که حداقل غلظت کلر باقی مانده ۰/۲ میلی گرم در لیتر باید در سیستم تامین آب آشامیدنی تا انتهای شبکه توزیع حفظ شود.

با این حال، از آنجایی که غلظت بالای کلر ممکن است برای سلامت عمومی مضر باشد، WHO توصیه می کند که میزان کلر در آب آشامیدنی از ۵ میلی گرم در لیتر بیشتر نشود. (برای ملاحظات زیبایی شناختی برای دز کلر، به بخش ۷،۳،۱ مراجعه کنید.)

۳،۳،۱ کلر مورد نیاز

همانطور که در بخش ۲،۳،۱ بحث شد، هنگامی که کلر برای اولین بار به آب اضافه می شود، با مواد واکنش دهنده با کلر موجود در آب (یعنی مواد آلی و معدنی) واکنش داده و مصرف می شود و در نتیجه غلظت کلر کاهش می یابد. تقاضای کلر به میزان واکنش بین کلر و مواد واکنش گر موجود در آب اشاره دارد. هنگام بحث درباره کلر مورد نیاز آب، معمولاً به آب قبل از اضافه شدن کلر اشاره می شود (یعنی بالادست نقطه مصرف کلر در تصفیه خانه آب).

کلر مورد نیاز آب بر میزان کلر مصرفی و میزان کلر باقی مانده برای محافظت از آب در برابر آلودگی مجدد در طول ذخیره سازی و توزیع تأثیر می گذارد. درک کلر مورد نیاز آب بسیار مهم است، زیرا بر مقدار کلر اضافه شده برای اطمینان از گندزدایی خوب اثر می گذارد.

[8] Points of delivery include water meters, standpipes or public taps. Beyond these points of delivery (for example, household bulk storages, household taps, household storage containers) the maintenance of a residual chlorine concentration is beyond the control and responsibility of the water supplier.

[9] World Health Organization (2011). Guidelines for Drinking-water Quality. 4th Edn. Geneva, Switzerland.

کادر متنی E رابطه ساده شده بین تقاضای کلر و غلظت مواد واکنش گر با کلر موجود در آب آشامیدنی را توصیف می کند.

(E) ارتباط بین کلر مورد نیاز و دز کلر

به طور کلی، آب کدر حاوی غلظت بالایی از مواد آلی و معدنی است. بنابراین، نیاز به کلر بالایی دارد و دز کلر بیشتری مورد نیاز است.

در حالی که آب زلال حاوی غلظت کمی از مواد آلی و معدنی است، نیاز به کلر پایینی دارد و دز کلر کمتری مورد نیاز خواهد بود (شکل ۴).

شکل ۴. ارتباط بین کلر مورد نیاز و غلظت مواد واکنش دهنده با کلر

با تغییرات کیفیت آب، کلر مورد نیاز آب به طور مداوم تغییر خواهد کرد. رویداد هایی که باعث تغییر کلر مورد نیاز آب می شوند عبارتند از:

- تغییرات فصلی در کیفیت آب منبع (به عنوان مثال، شکوفه های جلبکی در تابستان، کدورت بالا در طول فصل مرطوب)؛
- تغییرات کیفیت آب منبع در پاسخ به رویدادهای آب و هوایی شدید و بلایای طبیعی (به عنوان مثال، طوفان ها، سیل ها، رانش زمین، آتش سوزی در بوته ها)؛
- عملکرد زیر بهینه یک فرآیند تصفیه آب (به عنوان مثال، شکست در فرآیندهای زلال سازی و/یا فیلتراسیون).

برای گندزدایی موثر، درک و در صورت امکان پایش تقاضای کلر آب قبل از افزودن کلر مهم است، زیرا این نشان می دهد که چه مقدار کلر برای اطمینان از گندزدایی موثر و غلظت کلر باقی مانده کافی در تأمین آب آشامیدنی مورد نیاز است. برای اطلاعات در مورد محاسبه کلر مورد نیاز آب، به بخش ۱,۳,۲ مراجعه کنید.

۴,۳,۱ تجزیه کلر

تجزیه کلر به معنای کاهش غلظت کلر در آب آشامیدنی هنگام عبور آن از تصفیه خانه آب به انتهای سیستم توزیع است. هنگامی که گندزدایی در تصفیه خانه آب کامل می شود، کلر به واکنش با هر ماده آلی یا معدنی که ممکن است در مخازن ذخیره سازی میانی یا لوله های توزیع وجود داشته باشد ادامه می دهد (به عنوان مثال، رسوبات آلی، فلزات محلول در لوله های خورده، اتصالات لوله، مواد لوله، لجن های میکروبی یا بیو فیلم). همانطور که در بخش ۲,۳,۱ بحث شد، کلر در طول این واکنش ها مصرف می شود، بنابراین غلظت کلر کاهش می یابد. تجزیه کلر، کاهش غلظت کلر را توضیح می دهد که ممکن است هنگام عبور آب از شبکه توزیع آب مشاهده شود.

به دلیل تجزیه کلر، غلظت کلر در تصفیه خانه آب معمولا بیشتر از انتهای سیستم توزیع است. نرخ و میزان تجزیه کلر به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله:

- میزان مواد واکنش دهنده با کلر که در آب تصفیه شده و همچنین شبکه توزیع وجود دارد (این ماده آلی و معدنی ممکن است با کلر واکنش داده و آن را مصرف کند).
- مدت زمانی که آب در سیستم توزیع باقی می ماند (یا سن آب؛ همانطور که غلظت کلر در طول زمان کاهش می یابد، آب با زمان ماند/تماس بیشتر (در لوله) معمولاً غلظت کلر کمتری خواهد داشت).

تجزیه کلر یک مفهوم مهم با توجه به تأمین آب آشامیدنی ایمن است. به دلیل تجزیه کلر در یک سیستم تامین آب، آب آشامیدنی ممکن است مقدار کافی کلر در تصفیه خانه آب داشته باشد، اما کلر کافی در آب آشامیدنی در طول سیستم توزیع برای محافظت از آب در برابر آلودگی مجدد احتمالی توسط میکروارگانیسم های مضر باقی نماند. (این موضوع در کادر متنی F در زیر نشان داده شده است).

استراتژی های زیر ممکن است برای به حداقل رساندن تجزیه کلر در یک سیستم تامین آب در نظر گرفته شود:

- بهینه سازی فرآیندهای تصفیه آب برای به حداقل رساندن میزان مواد واکنش دهنده با کلر که وارد سیستم توزیع می شود.
- مخازن ذخیره سازی میانی و لوله های توزیع را به طور معمول تمیز کرده و نگهداری کنید (برای حذف رسوبات انباشته شده و بیو فیلم های میکروبی).
- بهینه سازی رژیم هیدرولیک (یعنی جریان آب) در سیستم توزیع برای به حداقل رساندن سن آب و بخش های کم جریان (یا گوشه های راکد).
- از مواد سازگار با کلر (مانند لوله کشی، اتصالات و پوشش داخلی مخزن) در سیستم توزیع استفاده کنید؛
- و در صورت امکان، تأمین آب پیوسته/مداوم (یعنی ۲۴ ساعته) را فراهم کنید.

(F) تاثیر تجزیه کلر بر غلظت کلر در یک سیستم تأمین آب

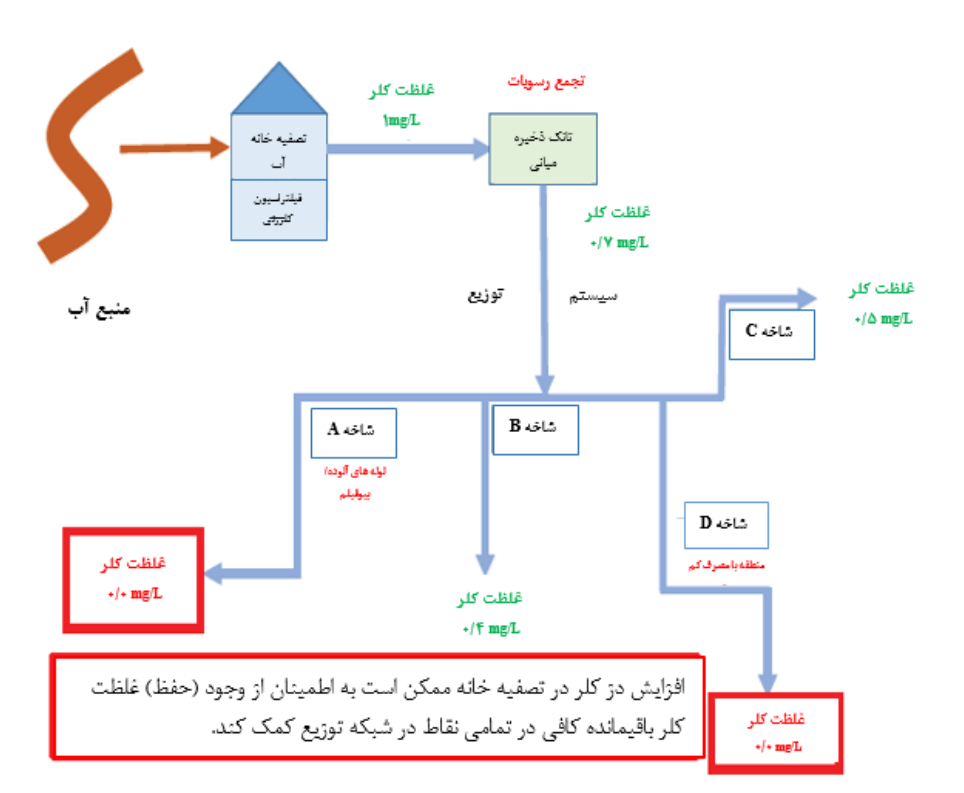
شکل ۵ یک مثال ساده از اینکه چگونه تجزیه کلر ممکن است بر غلظت کلر در یک سیستم تأمین آب تاثیر بگذارد را نشان می دهد.

در این مثال، با خروج آب حاوی کلر از تصفیه خانه آب و جاری شدن آن به انتهای شبکه توزیع، غلظت کلر کاهش می یابد (شکل ۵). دلایل کلیدی برای کاهش کلر در این مثال ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- **مخزن ذخیره میانی:** حاوی رسوبات انباشته شده ناشی از عدم تمیز کردن معمول مخزن است. رسوب، حاوی مواد واکنش دهنده با کلر است که کلر را مصرف می کند.
- **سیستم توزیع:**
  - **شاخه A:** لوله های آلوده (کثیف) در این منطقه به دلیل عدم برنامه پاکسازی معمول لوله وجود دارد. لوله ها با بیوفیلم میکروبی پوشانده شده اند که ممکن است با کلر واکنش نشان داده و کلر را مصرف کند.
  - **شاخه B و C:** لوله های تمیز بدون نشتی، تنها کاهش جزئی در غلظت کلر به دلیل واکنش کلر با مواد لوله و اتصالات مشاهده شد.
  - **شاخه D:** استفاده کم آب در این منطقه منجر به سن بالای آب می شود (یعنی آب راکد یا قدیمی)

در مورد شاخه A و D، غلظت کلر در آب آشامیدنی در نتیجه تجزیه گسترده کلر صفر است. این بدان معنی است که آب آشامیدنی در این شاخه های شبکه، از خطر آلودگی مجدد توسط میکروارگانیسم های مضر محافظت نمی شود. این نشان دهنده خطری برای سلامت عمومی است و اقدامات اصلاحی مورد نیاز است.

شکل ۵. اثر تجزیه کلر بر غلظت کلر در یک سیستم تأمین آب؛ خطرات کیفیت آب به رنگ قرمز مشخص شده است



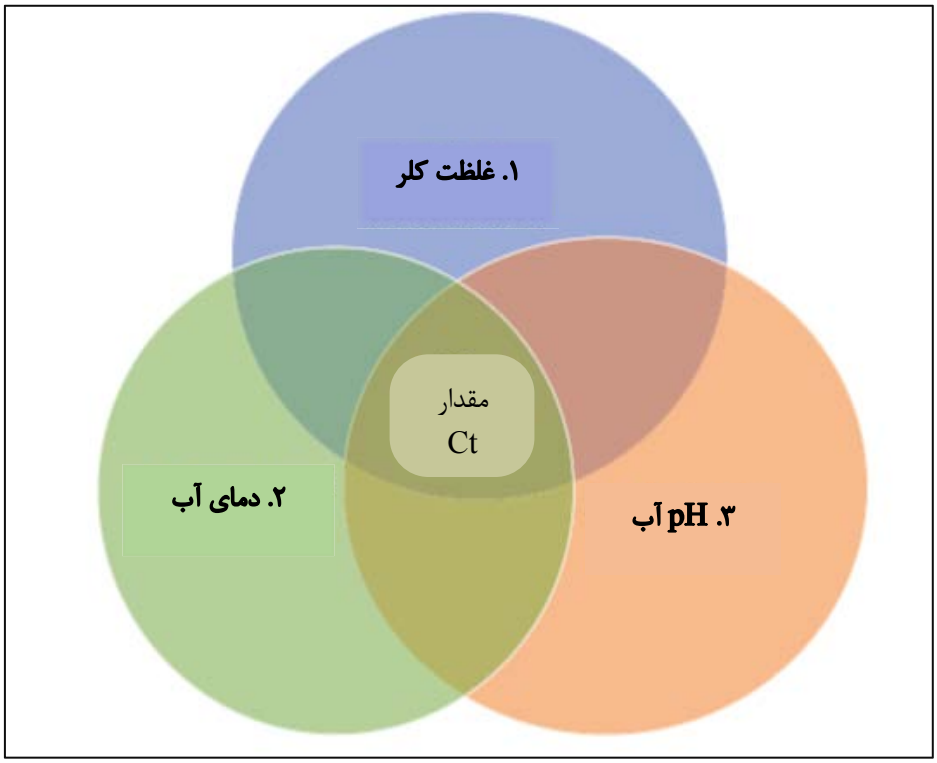
۵,۳,۱ مفهوم Ct در گندزدایی

در طول فرآیند گندزدایی، کلر به زمان نیاز دارد تا میکروارگانیسم های موجود در آب آشامیدنی را از بین ببرد یا غیرفعال کند که به آن زمان تماس می گویند. زمان تماس باید در ارتباط با غلظت کلر و سایر عوامل در نظر گرفته شود تا اطمینان حاصل شود که گندزدایی موثر آب آشامیدنی رخ می دهد- این به عنوان مفهوم Ct برای گندزدایی نامیده می شود. مقدار Ct حاصل ضرب غلظت کلر (C) و زمان تماس (t) با آب آشامیدنی است (برای فرمول محاسبه مقدار Ct به بخش ۲,۳,۲ مراجعه کنید).

مقدار Ct مورد نیاز برای گندزدایی مؤثر به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله تأثیرات ترکیبی:

۱) غلظت کلر در آب
۲) دمای آب
۳) pH آب (معیاری از اسیدی یا قلیایی بودن آب[۱۰]؛ شکل ۶)

شکل ۶. عوامل تأثیرگذار بر مقدار Ct برای گندزدایی

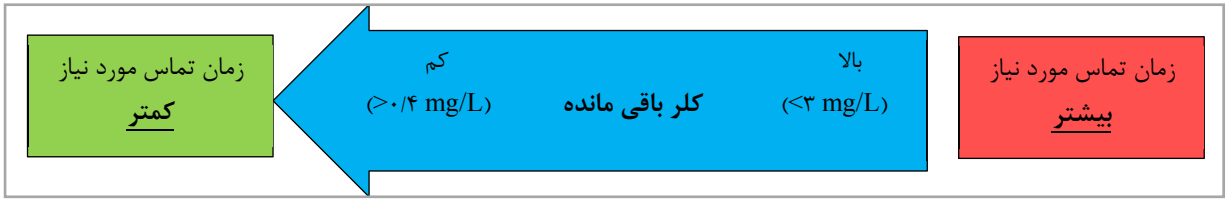


اطلاعات دقیق تر در مورد نحوه محاسبه مقدار Ct برای یک موقعیت خاص در بخش ۲,۳,۲ و کادر متنی C آورده شده است.

[۱۰] pH آب در مقیاس 0 pH تا ۱۴ pH اندازه گیری می شود که ۷ pH خنثی، ۷ > pH اسیدی و ۷ <pH قلیایی (یا بازی) در نظر گرفته می شود.

۱,۵,۳,۱ تأثیر غلظت کلر بر گندزدایی

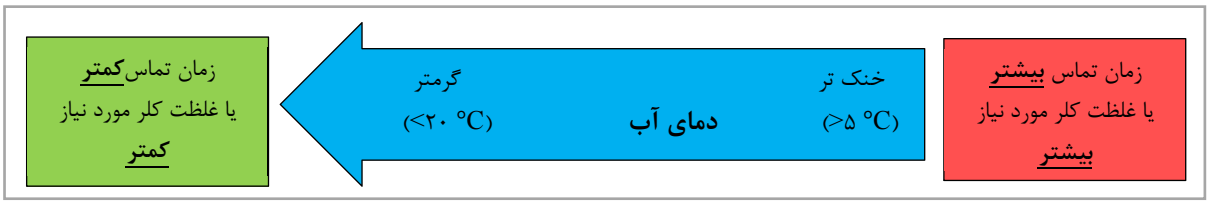
رابطه بین غلظت کلر و زمان تماس مورد نیاز برای گندزدایی مؤثر در شکل ۷ ارائه شده است. به طور کلی، هر چه غلظت کلر بیشتر باشد، زمان تماس کمتری برای گندزدایی موثر مورد نیاز است.



شکل ۷. ارتباط بین غلظت کلر و گندزدایی

۲,۵,۳,۱ تأثیر دمای آب بر گندزدایی

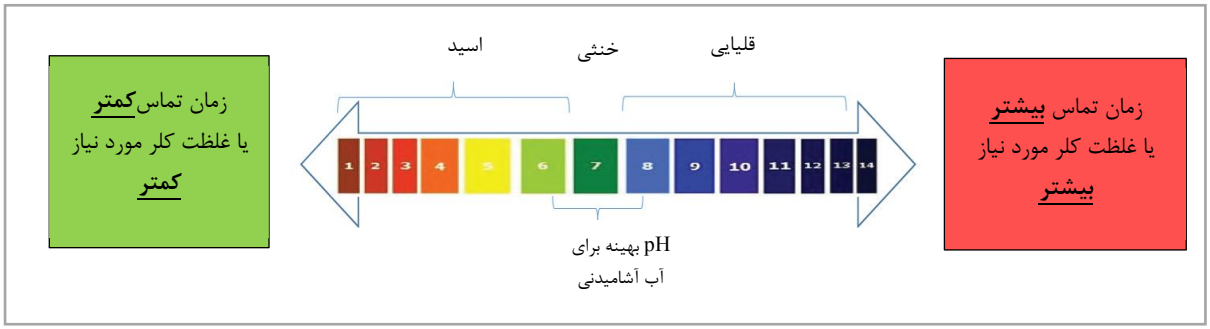
واکنش های شیمیایی معمولاً در دماهای بالاتر سریعتر رخ می دهد. گندزدایی با کلر نیز از این قاعده مستثنی نیست. رابطه بین دمای آب و گندزدایی در شکل ۸ ارائه شده است. به طور کلی، آب سردتر به زمان تماس بیشتر یا غلظت کلر بیشتری برای گندزدایی مؤثر نیاز دارد.



شکل ۸. ارتباط بین دمای آب و گندزدایی

۳,۵,۳,۱ تأثیر pH آب بر گندزدایی

به طور کلی، کلر در شرایط اسیدی مؤثرتر است. برای گندزدایی مؤثر، pH آب آشامیدنی باید کمتر از ۸ باشد. وقتی pH آب آشامیدنی بالای ۸ دارد، کلر اثر کمتری دارد و زمان تماس بیشتر یا غلظت کلر بالاتری ممکن است برای گندزدایی مؤثر مورد نیاز باشد (شکل ۹). برای متعادل کردن تعدادی از ملاحظات کیفیت آب، از جمله کلر زنی، pH بهینه آب آشامیدنی معمولاً بین ۶/۵ و ۸/۵ است.



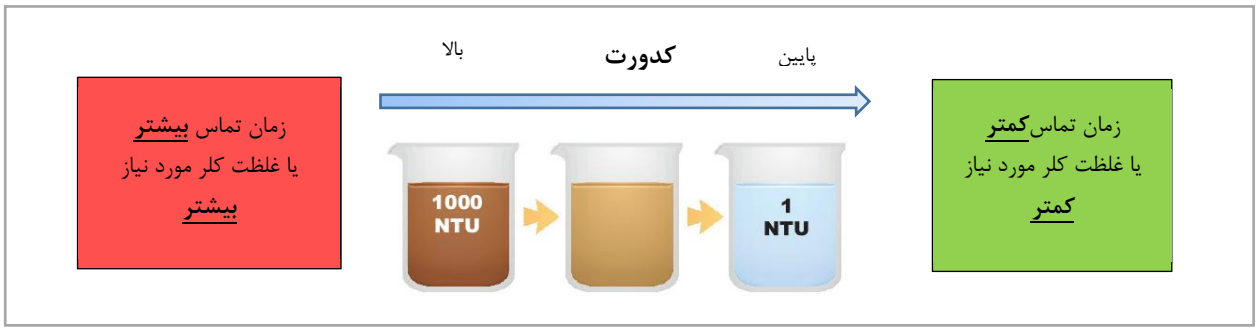
شکل ۹. ارتباط بین pH آب و گندزدایی

۴،۵،۳،۱ سایر عوامل مؤثر در گندزدایی

نوع میکروارگانیسم همچنین ممکن است بر اثربخشی گندزدایی تأثیر بگذارد، در کنار باکتری های رویشی که به زمان تماس کمتر یا غلظت‌های کمتر کلر نیاز دارند، برخی ویروس‌ها و تک یاخته‌ها (مانند ژیاردیا) به زمان تماس بیشتر یا غلظت‌های بالاتر کلر نیاز دارند، و اووسیست های تک یاخته‌ای خاص (مثلاً کریپتوسپوریدیوم) و اسپورهای باکتریایی به زمان تماس طولانی یا دزهای کلر بالا نیاز دارند یا گاهاً گندزدایی با کلر در این خصوص غیرعملی یا بی اثر تلقی می شود (کادر متنی A). مقادیر Ct معمولاً بر اساس غیرفعال شدن تک یاخته ژیاردیا است، زیرا اکثر باکتری ها و ویروس هایی که به کلر حساس هستند در این مدت غیرفعال می شوند (به کادر متنی C مراجعه کنید).

کدورت در آب در نتیجه وجود مواد آلی و معدنی در آب ایجاد می شود. کدورت به آب، ظاهری کدر (یا مات) می دهد. کدورت همچنین ممکن است به طور غیرمستقیم بر کارایی کلر زنی تأثیر بگذارد (شکل ۱۰). کدورت ممکن است شامل مواد واکنش دهنده با کلر (مانند مواد آلی و معدنی) باشد که ممکن است کلر مصرف کرده و همچنین میکروارگانیسم ها را از اثر کلر محافظت کند. برای گندزدایی مؤثر، WHO[9] توصیه می کند که کدورت آب باید کمتر از ۱ واحد کدورت نفلومتری (NTU) و ترجیحا در صورت امکان بسیار پایین تر از آن باشد.

در موقعیت های خاصی، دستیابی به کمتر از ۱ NTU در آب قبل از گندزدایی ممکن است امکان پذیر نباشد (به عنوان مثال، سیستم های آبرسانی کوچک، دارای منابع محدود). در چنین شرایطی، هدف باید حفظ کدورت کمتر از ۵ NTU قبل از گندزدایی باشد. در کدورت بالاتر از ۵ NTU، کلر زنی باید همچنان انجام شود، اما دز کلر یا زمان تماس بالاتری برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم های مضر مورد نیاز است.



شکل ۱۰. ارتباط بین کدورت و اثربخشی کلر

۵,۵,۳,۱ زمان تماس مورد نیاز برای گندزدایی مؤثر

کادر G حداقل زمان تماس لازم برای گندزدایی موثر کلر را توصیه می کند.

(G) چقدر زمان تماس برای گندزدایی موثر لازم است؟

برای گندزدایی مؤثر آب آشامیدنی در نقطه گندزدایی، سازمان جهانی بهداشت حداقل زمان تماس ۳۰ دقیقه را برای مواقعی که غلظت کلر باقی مانده ≤ ۰/۵ میلی گرم بر لیتر و pH آب زیر ۸ باشد، توصیه می کند.

فرمول تعیین زمان تماس، همراه با یک مثال، در بخش ۲,۳,۲ و کادر متنی C ارائه شده است.

۶,۳,۱ ملاحظات زیبایی شناختی برای کلر زنی

در زمینه کیفیت آب آشامیدنی، اصطلاح زیبایی شناختی به معنای قابل قبول بودن آب آشامیدنی برای مصرف کننده است. قابل قبول بودن آب آشامیدنی ممکن است بر اساس درک مصرف کننده از موارد زیر باشد:

(۱) ظاهر آب (آیا آب شفاف، رنگی، کدر، شیری به نظر می رسد)؛

(۲) طعم آب (آیا طعم آب قابل قبول است یا آب طعم نامطبوعی مانند طعم شیمیایی، کهنه، خاکی یا فلزی دارد)

(۳) بوی آب (آیا آب بی بو است یا بویی مانند بوی خاکی، کپک یا شیمیایی دارد).

تأمین آب آشامیدنی قابل قبول برای هر مصرف کننده یک چالش است، زیرا افراد مختلف حساسیت های متفاوتی نسبت به ظاهر، طعم و بوی آب دارند. به عنوان مثال، آب ممکن است از نظر یک فرد بویی نداشته باشد، در حالی که همان آب ممکن است برای فرد دیگری که حس بویایی حساس تری دارد غیرقابل قبول باشد.

همانطور که در بخش ۲,۱ بحث شد، کلر طعم و بوی خاصی دارد که ممکن است برای افراد حساس در غلظت های کلر بیش از ۰/۳ میلی گرم بر لیتر قابل توجه باشد. اگر کلر در آب آشامیدنی در غلظت های بسیار زیاد وجود داشته باشد، طعم و بوی قوی آن ممکن است منجر به استفاده از منابع آبی جایگزین و با ایمنی کمتری شود. به همین دلیل تأثیر زیبایی شناختی کلر بر آب آشامیدنی هنگام بهینه سازی دز کلر باید در نظر گرفته شود. با این حال، هنگام تنظیم دز کلر، ملاحظات زیبایی شناختی هرگز نباید گندزدایی را به خطر بیندازند (به کادر H مراجعه کنید).

۷,۳,۱ بهینه سازی غلظت کلر در یک سیستم تأمین آب

بهینه سازی غلظت کلر در یک سیستم تأمین آب ممکن است به دلیل نیاز به تعادل، بعنوان یک چالش باشد:

(۱) گندزدایی کافی؛

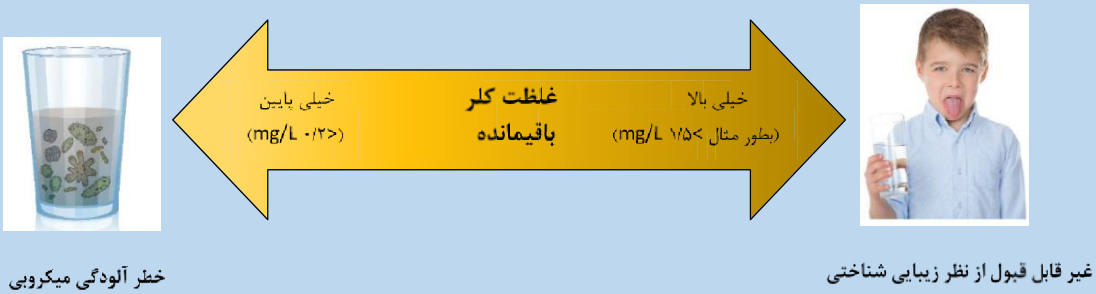
(۲) ظرفیت گندزدایی باقی مانده کافی در حین توزیع برای محافظت از آلودگی مجدد تا نقطه تحویل به مصرف کننده، و در کنار آن؛

(۳) مقبولیت مصرف کننده.

کادر H تعادل مورد نیاز بین سلامت کلر زنی آب آشامیدنی و ملاحظات زیبایی شناختی را مشخص می کند.

(H) ایجاد تعادل بین گندزدایی کافی با کلر و ملاحظات زیبایی شناختی

شکل ۱۱ تعادل دقیق مورد نیاز هنگام بهینه سازی غلظت کلر در یک سیستم تأمین آب را نشان می دهد.



شکل ۱۱. بهینه سازی غلظت کلر برای گندزدایی مؤثر و مقبولیت مصرف کننده

هنگام کلرزنی، اولویت باید همیشه اضافه کردن کلر کافی باشد به طوری که:

- حداقل زمان تماس مورد نیاز برای گندزدایی مؤثر به دست آید
- غلظت کلر باقی مانده در نقطه تحویل به مصرف کننده بیشتر از ۰/۲ میلی گرم بر لیتر باشد.

برای ایجاد تعادل بین ملاحظات گندزدایی با مقبولیت مصرف کننده، باید به طور کلی کلر باقی مانده بین ۰/۲ میلی گرم بر لیتر و ۰/۵ میلی گرم بر لیتر از توزیع تا نقطه تحویل هدف قرار گیرد. با این حال، در برخی موارد، ممکن است لازم باشد که غلظت کلر باقی مانده بالاتری در برخی از قسمت های سیستم توزیع (به عنوان مثال، در اوایل سیستم توزیع) حفظ شود تا اطمینان حاصل شود که حداقل غلظت کلر باقی مانده ۰/۲ میلی گرم در لیتر در طول کل سیستم به دست می آید (به عنوان مثال، در انتهای سیستم توزیع). هنگام تنظیم دز کلر، به دلیل ملاحظات زیبایی شناختی، هرگز نباید گندزدایی کافی به خطر بیفتد.

اهمیت پایش دقیق غلظت کلر در سراسر سیستم تأمین آب در بخش ۳,۵,۲ بحث شده است.

۸,۳,۱ نقاط کاربرد کلر

کلر ممکن است در مراحل مختلف در سیستم تأمین آب به آب آشامیدنی اضافه شود تا به اهداف مختلف کیفیت آب دست یابد (شکل ۱۲ را ببینید)، از جمله:

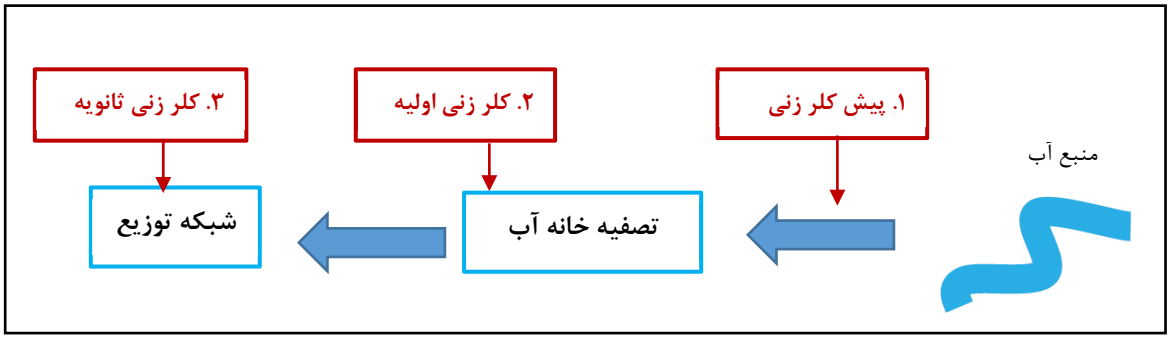
(۱) پیش کلر زنی (بلافاصله قبل از تصفیه آب)

(۲) کلر زنی اولیه (بلافاصله پس از تصفیه آب)

(۳) کلر زنی ثانویه (در سیستم توزیع).

سایر نقاط کاربرد کلر در یک سیستم آبرسانی که خارج از محدوده این راهنما است عبارتند از:

- گندزدایی شبکه های آب (به عنوان مثال، برای گندزدایی پس از راه اندازی شبکه های آب جدید یا تعمیر/تعویض شبکه های آب موجود).
- در سطح خانوار، به عنوان بخشی از تصفیه آب خانگی و ذخیره سازی ایمن (HWTS؛ مربوط به سناریو های اضطراری و غیر اضطراری).



شکل ۱۲. نمونه هایی از نقاطی در یک سیستم تامین آب که ممکن است کلر به آب اضافه شود

۱,۸,۳,۱ پیش کلر زنی

کلر زنی آب قبل از تصفیه آب عموماً به دلایلی غیر از گندزدایی انجام می شود. به طور معمول، کلر برای پیش تصفیه آب اضافه می شود تا به حذف مواد معدنی مانند آهن و منگنز یا سایر ترکیباتی که ممکن است باعث مشکلات طعم و بو شوند کمک کند. به دلیل اینکه آب تصفیه نشده نیاز به کلر بیشتری دارد، معمولاً دزهای بالاتر کلر برای پیش کلر زنی مورد نیاز است.

پیش کلر زنی اغلب با پتانسیل تشکیل محصولات جانبی گندزدایی همراه است (به کادر I مراجعه کنید).

۲,۸,۳,۱کلر زنی اولیه

هدف از کلر زنی اولیه، گندزدایی آب آشامیدنی است. کلر زنی اولیه معمولاً در یک تصفیه خانه آب انجام می شود. اگر فرآیندهای تصفیه آب در محل وجود داشته باشد (به عنوان مثال، انعقاد/لخته سازی، زلال سازی و یا فیلتراسیون)، کلر زنی اولیه معمولاً پس از این مراحل تصفیه آب اتفاق می افتد. این فرآیندهای بالا دستی برای حذف کدورت، رنگ و مواد آلی و معدنی (یعنی مواد واکنش دهنده با کلر) طراحی شده اند. اگر این مواد واکنش دهنده با کلر قبل از گندزدایی اولیه حذف نشوند، تقاضای کلر بیشتری ایجاد می کنند (بخش ۳,۳,۱)، کلر را مصرف می کنند و احتمالاً محصولات جانبی گندزدایی را تشکیل می‌دهند (کادر I).

۳,۸,۳,۱ کلرزنی ثانویه

به دلیل کلر زنی اولیه کمتر از حد مطلوب (بخش ۷,۳,۱) و/یا تجزیه کلر (بخش ۴,۳,۱)، غلظت کلر باقی مانده ممکن است کمتر از حداقل مقدار توصیه شده ۰/۲ میلی گرم بر لیتر در طی توزیع آب شود. هنگامی که غلظت کلر باقی مانده به کمتر از ۰/۲ میلی گرم در لیتر می رسد، آب مستعد آلودگی میکروبی در نظر گرفته می شود و خطر کیفیت آب وجود دارد. در شرایطی که بررسی دلیل غلظت کم کلر باقی مانده امکان پذیر نیست (بعنوان مثال، با بهینه سازی کلرزنی اولیه، تمیز کردن لوله های توزیع یا بهینه سازی رژیم هیدرولیک برای کاهش سن آب)، ممکن است کلرزنی ثانویه (یا تقویتی) جهت افزایش باقی مانده کلر در آن بخش از سیستم توزیع تا بالای ۰/۲ میلی گرم در لیتر استفاده شود.

(I) محصولات جانبی حاصل از گندزدایی

محصولات جانبی گندزدایی (DBP) ناشی از واکنش کلر با مواد آلی و معدنی موجود در آب آشامیدنی می باشند. برخی از این ترکیبات با نگرانی های سلامت عمومی مرتبط هستند.

مثال هایی از محصولات جانبی گندزدایی عبارتند از:

- تری هالو متان ها (THMs)
- هالو استیک اسیدها (HAAs)
- کلرات
- کلریت

استراتژی های کنترل تشکیل محصولات جانبی گندزدایی شامل موارد زیر می باشند:

- بهینه سازی فرآیندهای تصفیه آب برای حذف مواد آلی و معدنی (بعنوان مثال، پیش سازهای محصولات جانبی گندزدایی).
- بهینه سازی دز کلر برای اطمینان از گندزدایی کافی بدون افزودن کلر زیاد (بعنوان مثال، دز بیش از حد کلر).
- بهینه سازی نقطه تزریق کلر برای اطمینان از اینکه فقط آب تصفیه شده کلرزنی شده است (بدون به خطر انداختن زمان تماس).
- اجتناب از پیش کلر زنی (فقط در صورت امکان بدون به خطر انداختن سایر ملاحظات کیفیت آب)؛ و
- کاهش سن آب در شبکه توزیع (از آنجایی که زمان عامل مهمی برای تشکیل محصولات جانبی گندزدایی است) [11]

از آنجایی که خطرات سلامتی ناشی از محصولات جانبی گندزدایی در مقایسه با خطرات مرتبط با گندزدایی ناکافی بسیار ناچیز است، WHO توصیه می کند که "در تلاش برای کنترل محصولات جانبی گندزدایی نباید گندزدایی به خطر بیفتد".

[11] Water Research Foundation. Strategies to control disinfection by-products. Factsheet. http://www.waterrf.org/knowledge/dbps/FactSheets/DBP-ControlStrategies-FactSheet.pdf. Visited on 13 July, 2015.

۴,۱ خلاصه شرایط لازم برای اثربخشی کلر زنی

کادر متنی J شرایط مورد نیاز برای گندزدایی مؤثر با کلر را خلاصه می کند.

(J) خلاصه شرایط مورد نیاز برای گندزدایی موثر کلر

برای کلر زنی اولیه موثر آب آشامیدنی، شرایط ایده آل زیر توصیه می شود:

کدورت: کمتر از ۱ NTU (ترجیحاً در صورت امکان پایین تر)

در جایی که قابل دستیابی نیست، کمتر از ۵ NTU باید هدف باشد.

بالاتر از ۵ NTU، کلر زنی باید همچنان انجام شود، اما دزهای کلر یا زمان تماس بالاتر برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم های مضر مورد نیاز است.

pH: کمتر از ۸

بالاتر از ۸، کلرزنی باید همچنان انجام شود اما برای غیرفعال کردن میکروارگانیسم های مضر به دزهای کلر یا زمان تماس بالاتر نیاز است.

حداقل زمان تماس: حداقل ۳۰ دقیقه زمان تماس، که در آن غلظت کلر باقی مانده ≥ ۰/۵ میلی گرم بر لیتر و pH آب کمتر از ۸ است.

هنگامی که کلر زنی در تصفیه خانه آب کامل شد، غلظت کلر باقی مانده در طول توزیع به نقطه تحویل مصرف کننده باید بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلی گرم بر لیتر باشد.

حداقل غلظت کلر باقی مانده ۰/۲ میلی گرم بر لیتر باید همیشه تا نقطه تحویل مصرف کننده حفظ شود.

برای دستیابی به حداقل غلظت کلر باقی مانده۰/۲میلی گرم در لیتر در نقطه تحویل مصرف کننده، غلظت کلر باقی مانده در سیستم توزیع ممکن است در شرایط خاص بیشتر از غلظت کلر باقی مانده هدف زیبایی شناختی ۰/۵ میلی گرم بر لیتر باشد.

در هر زمان، غلظت کلر در آب آشامیدنی عرضه شده به مصرف کنندگان باید کمتر از مقدار رهنمودی سازمان جهانی بهداشت (۵ میلی گرم بر لیتر) باشد.[۹]

بخش ۲. کلر زنی عملی

اصول کلیدی کلر زنی را که در عمل به کار گرفته می شود و روش های ایمن و موثر برای کلر زنی آب آشامیدنی را توصیف می کند.

همانطور که در بخش ۲,۱ بحث شد، کلر ماده خطرناکی است. گندزدایی با کلر مستلزم آن است که کارکنان تصفیه خانه آب در تماس و در مجاورت با فرم های قوی کلر کار کنند. سلامت و ایمنی کارکنان در هر زمان حیاتی است. تمام کارکنانی که با کلر در تماس هستند باید در مورد خطرات کلر، نحوه نگهداری و نگهداری ایمن آن، اقدامات اولیه و کمک های اولیه در صورت تماس تصادفی، آموزش های اولیه را ببینند (کادر K).

(K) جابجایی ایمن کلر

تماس با اشکال غلیظ کلر یا استنشاق آن ممکن است منجر به تحریک، سوختگی شیمیایی و حتی مرگ شود. جدول ۱ تجهیزات حفاظت فردی مورد نیاز (PPE) که باید برای محافظت از کارکنان هنگام کار با پودر و مایع کلر استفاده شود، همراه با اقدامات کمک های اولیه را توضیح می دهد.

جدول ۱. استفاده ایمن از کلر و اقدامات کمک های اولیه در صورت مواجهه تصادفی

نوع کلر	حداقل تجهیزات حفاظت فردی توصیه شده	کمک های اولیه در مواقع مواجهه
پودر کلر		- اگر کلر با لباس تماس پیدا کرد، لباس آسیب دیده را تعویض کنید. - اگر کلر: - با پوست، چشم، بینی یا دهان تماس پیدا کرد، فوراً ناحیه آسیب دیده را با آب جاری به مدت حداقل ۱۵ دقیقه شستشو دهید. - بلعیده یا استنشاق شود، آب بنوشید، وادار به استفراغ نکنید. - به دنبال کمک فوری پزشکی باشید.
مایع کلر		

نکته مهم: هر ساختمان سرپوشیده ای که برای ذخیره یا تهیه کلر استفاده می شود باید همیشه تهویه خوبی داشته باشد. اگر آئروسل های کلر، مه، بخارات یا گرد و غبار به اندازه کافی توسط تهویه کنترل نمی شوند، حفاظت تنفسی مناسب باید در نظر گرفته شود.

با گذشت زمان، در طول ذخیره سازی، به تدریج قدرت کلر کاهش می یابد. محلول های مایع کلر به طور کلی پایداری کمتری نسبت به پودر کلر دارند. در صورت نگهداری نامناسب، کاهش قدرت کلر تسریع می شود. این امر

ممکن است برای کیفیت آب مهم باشد، زیرا در صورت رخداد چنین امری ممکن است کلر ناکافی به آب اضافه شود (زیر دز مورد نیاز) و گندزدایی بی اثر باشد. به این ترتیب، کلر باید به طور مناسب با شیوه های خوب مدیریت انبار، مانند آنچه در کادر L توضیح داده شده است، ذخیره شود.

(L) شیوه های مدیریت انبار و ذخیره سازی مناسب برای کلر

با گذشت زمان، پودر و مایع کلر شروع به تجزیه می‌کنند و قدرت خود را از دست می‌دهند (جدول ۲). سرعت تخریب کلر ممکن است از طریق ذخیره سازی و شیوه های نامناسب مدیریت انبار تسریع شود.

جدول ۲. تخریب کلر در طول ذخیره سازی به صورت تقریبی (به روز رسانی شده [۱۲و۱۳])

نوع کلر (تقریبی، درصد غلظت کلر فعال)		افت غلظت کلر فعال اولیه (٪)[۱۴]
پودر کلر	پودر سفید کننده (۳۵٪)	۵ تا ۱۸٪ بعد از ۴۰ روز
	هیپوکلریت با درصد بالا* (۷۰٪)	
مایع کلر	هیپوکلریت سدیم (۱۵٪)	۵۰ ٪ بعد از ۱۰۰ روز
	هیپوکلریت سدیم (۱۰٪)	۵۰ ٪ بعد از ۲۲۰ روز
	هیپوکلریت سدیم (۵٪)	۵۰ ٪ بعد از ۷۹۰ روز

* به نام های پرکلرین، هیپوکلریت کلسیم و یا هیپوکلریت غلیظ نیز شناخته می‌شود.

برای به حداقل رساندن سرعت و میزان تخریب کلر، شرایط مناسب نگهداری در محل باید وجود داشته باشد، از جمله:

- همیشه در مکانی خنک، خشک و دارای تهویه مناسب نگهداری کنید.
- دور از نور مستقیم خورشید و رطوبت و دمای بیش از حد نگهداری شود.
- نگهداری در ظروف مقاوم در برابر خوردگی (به عنوان مثال، پلاستیک مقاوم در برابر نور (پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن با چگالی بالا)).
- تمام ظروف نگهداری را در صورت عدم استفاده کاملاً مهر و موم نگه دارید.
- تمام محصولات در انبار پس از دریافت، علامت گذاری شده و تاریخ آنها ثبت شود.
- از اصول چرخش انبار با توجه به تقدم محموله ورودی (FIFO) استفاده کنید (یعنی همیشه در ابتدا از قدیمی ترین های انبار استفاده کنید)

[12] World Health Organization. Calcium hypochlorite. Fact Sheet 2.19. http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/fs2_19.pdf?ua=1. Visited on 13 July, 2015.

[13] American Water Works Association (AWWA; 2006). Chlorination/chloramination practices and principles. AWWA Manual M20. 2nd Edn. Colorado, United States of America.

[۱۴] به عنوان مثال، اگر محلول مایع کلر ۱۵ درصد پس از ۱۰۰ روز ۵۰ درصد از قدرت خود را از دست بدهد، غلظت کلر فعال باقی مانده در محلول مایع کلر ۷٫۵ درصد خواهد بود.

نکته: تخریب کلر در محلول های مایع کلر ممکن است با تثبیت pH مدیریت شود (یعنی افزودن هیدروکسید سدیم برای تثبیت در pH > ۱۱/۹) [۱۵]

در جایی که تجهیزات آزمایشگاهی دقیق و پرسنل آموزش دیده در دسترس باشد، اندازه گیری غلظت کلر فعال در پودر کلر[۱۲] و مایع کلر[۱۶] امکان پذیر است. در مواردی که این امکان وجود ندارد، خطر کاهش دز کلر وجود دارد، زیرا غلظت کلر فعال ممکن است کمتر از حد انتظار باشد (به بخش های ۴,۳,۲ و ۵,۳,۲ مراجعه کنید). برای به حداقل رساندن این خطر، پایش دقیق غلظت کلر در آب آشامیدنی باید همیشه به طور معمول انجام شود تا تأیید شود که دز صحیح کلر اعمال می شود، به ویژه پس از تهیه محلول جدید از مایع کلر. (به بخش ۵,۲ مراجعه کنید).

۲,۲ سیستم تزریق مایع کلر

۱,۲,۲ سیستم های تزریق بدون پمپ

تعدادی از سیستم های تزریق کلر بدون پمپ در سرتاسر جهان موجود و در حال استفاده هستند. چنین سیستم هایی اساسی (اولیه)، ساده برای استفاده و ارزان هستند و در مقایسه با سیستم های مبتنی بر پمپ نیاز به تعمیر و نگهداری تخصصی نسبتا کمتری دارند. به این ترتیب، این سیستم ها ممکن است در مواقع با منابع محدودیا کم مناسب باشند. با این حال، سیستم‌های تزریق بدون پمپ دقت و کنترل عملیاتی کمتری دارند. به این دلایل، سیستم‌های بدون پمپ احتمالاً منجر به تزریق دز کمتر یا بیش از حد کلر می‌شوند. جدول ۲ برخی از انواع متداول سیستم های تزریق کلر بدون استفاده از پمپ را به طور خلاصه نشان می دهد (برای جزئیات بیشتر، به گزاره برگ WHO ۲۲,۲مراجعه کنید[۱۷]).

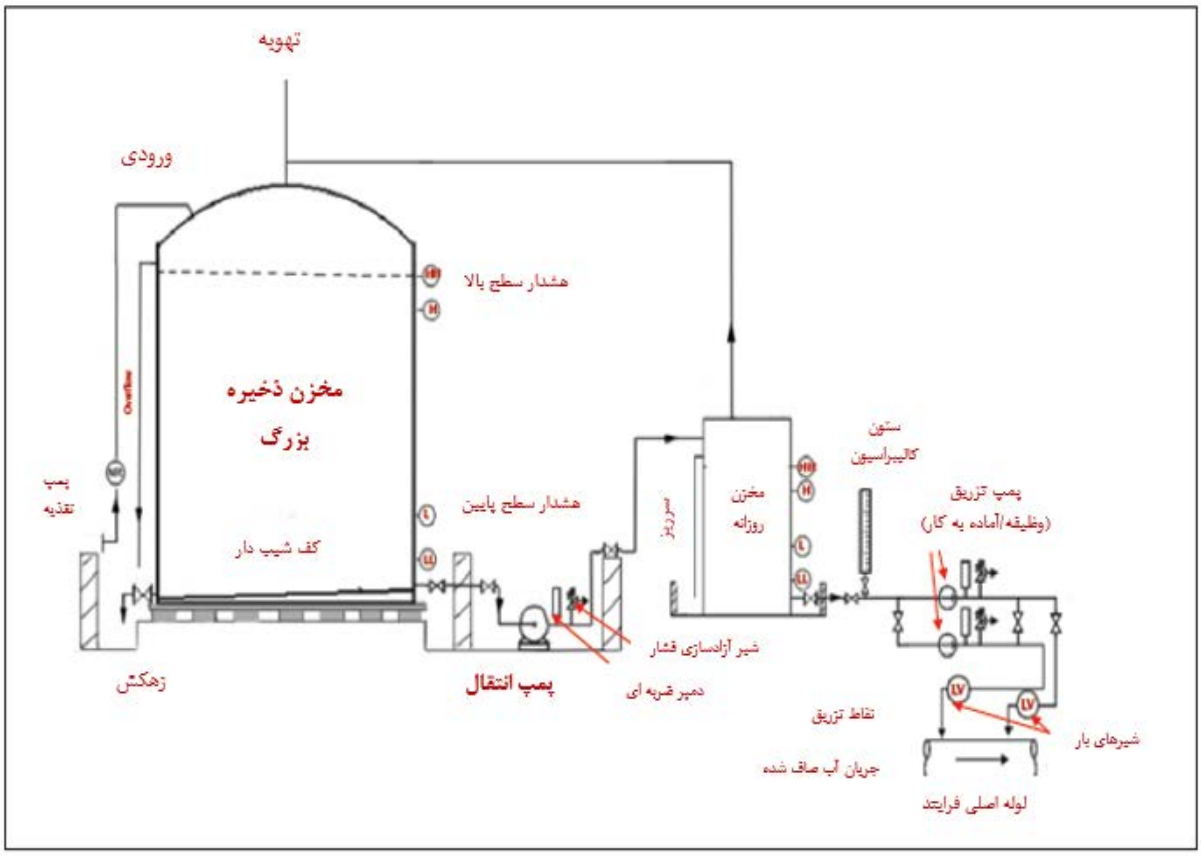
[15] Lantagne, D. et al. (2011). Hypochlorite Solution Expiration and Stability in Household Water Treatment in Developing Countries. Journal of Environmental Engineering, 137(2), 131-139.
[16] World Health Organization. Sodium hypochlorite. Fact Sheet 2.20. http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/fs2_20.pdf?ua=1. Visited on 13 July, 2015.
[17] World Health Organization. Dosing hypochlorite solutions. Fact Sheet 2.22. http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/fs2_22.pdf?ua=1. Visited on 12 August, 2015.

جدول ۲. مثال هایی از سیستم های رایج تزریق کلر بدون پمپ [۱۷]

سیستم	اساس	نظرات
کلر زن های قطره ای	با سرعت ثابتی محلول مایع کلر را با استفاده از یک دستگاه با فشار ثابت برای حفظ تغذیه قطره ای تزریق می کند.	سرعت جریان آب را ثابت فرض می کند (در صورت تغییر سرعت جریان، ممکن است تزریق نادرست رخ دهد) • مناسب برای منابع کوچک • خطر سیفون شدن باید مدیریت شود
آسپیراتور با فشار ثابت	مقدار ثابتی از محلول مایع کلر را با استفاده از آسپیراتور و لوله شیشه ای می ریزد. میزان چکه ممکن است با چرخاندن یک لوله موئینه بین موقعیت های عمودی-افقی کنترل شود	• دستگاه ساده و مستحکم • اگر تعمیر و نگهداری اولیه مناسب باشد، بادوام است • نصب آسان • کنترل میزان قطره درشت و ریز امکان پذیر است • سرعت جریان آب را ثابت فرض می‌کند (در صورت تغییر سرعت جریان، ممکن است تزریق نادرست رخ دهد)
تغذیه کننده ثقلی	برای کنترل جریان محلول مایع کلر به نیروی ثقل و یک روزنه/شیر اندازه گیری متکی است.	• به مخزن دوم و شیر توپی برای حفظ فشار هد ثابت نیاز دارد • سرعت جریان آب را ثابت فرض می کند (تزریق نادرست در صورت تغییر سرعت جریان)

۲,۲,۲ سیستم های تزریق مبتنی بر پمپ

یک شماتیک ساده از یک سیستم معمول تزریق مایع کلر در شکل ۱۳ ارائه شده است. (توجه داشته باشید که از آنجایی که پودر کلر به طور کلی ابتدا با آب مخلوط می شود تا محلول مایع کلر قبل از تزریق ایجاد شود، این نوع سیستم ممکن است برای کاربردهای پودر کلر و مایع کلر مناسب باشد).



شکل ۱۳. سیستم معمول تزریق مایع کلر [۱۸]

یک سیستم معمول تزریق مایع کلر ممکن است شامل یک مخزن ذخیره حجیم باشد که حجم زیادی از مایع کلر را ذخیره می کند (مثلاً توسط یک تانکر تحویل مواد شیمیایی یا تهیه شده از پودر کلر). جایی که از پودر کلر برای تهیه مایع کلر در محل استفاده می شود، و قرار است پودر کلر مستقیماً در خود مخزن ذخیره حجیم با آب مخلوط شود این مخزن ذخیره حجیم ممکن است حاوی یک همزن مکانیکی ثابت نیز باشد. مخازن ذخیره حجیم معمولاً برای نگهداری مایع کلر کافی برای تأمین نیازهای گندزدایی در تصفیه خانه آب برای مدت چند روز تا چند هفته طراحی می شوند. همچنین ممکن است از یک مخزن روزانه استفاده شود که ممکن است حجم کمتری از مایع کلر را در خود جای دهد (معمولاً، مخزن روزانه کلر کافی برای استفاده یک روزه را در خود نگه می دارد). مایع کلر توسط یک پمپ انتقال از مخزن ذخیره حجیم به مخزن روزانه منتقل می شود. در برخی موارد، مخازن ذخیره‌سازی حجیم و روزانه ممکن است دارای هشدارهای سطح بالا و پایین باشند - برای هشدار به کارکنان تصفیه خانه به ترتیب در صورت سرریز شدن یا تمام شدن مخزن در نظر گرفته شده است. از آنجایی که مایع کلر ممکن است در

[18] Adapted from: Environment Protection Agency (2011). Water treatment manual: Disinfection. Wexford, Ireland.

طول زمان گاز آزاد کند (که به آن گاز زدایی گفته می شود)، مخازن ذخیره کلر باید دارای یک لوله تهویه باشند تا گاز (عمدتاً اکسیژن بی ضرر) را به طور ایمن به اتمسفر خارج از ساختمان آزاد کند.

پمپ های تزریق کلر برای پمپاژ مواد شیمیایی از مخزن روزانه به لوله فرآیند آب آشامیدنی استفاده می شود. معمولاً از پمپ های اندازه گیری استفاده می شود که حجم های قابل تنظیم دقیق مایع کلر را در یک دوره زمانی مشخص پمپاژ می کنند (معمولاً از پمپ های اندازه گیری پریستالتیک یا دیافراگمی استفاده می شود). پمپ‌های تزریق ممکن است به صورت دستی کار کنند، یعنی در جایی که دبی تصفیه خانه ثابت فرض می‌شود، بنابراین پمپ‌های تزریق روی آن دبی خاص تنظیم می‌شوند. با این حال، در بسیاری از موارد، نرخ جریان تصفیه خانه ثابت نیست و در نوسان است. به این ترتیب، خطر تزریق دز کمتر یا بیش از حد کلر با پمپ های تنظیم شده به طور دستی بالا است. در حالت ایده‌آل، پمپ‌های اندازه‌گیری باید دارای سرعت متناسب با جریان ورودی باشند، یعنی به طور خودکار نرخ دز کلر را تنظیم کنند تا با جریان آب در تصفیه‌خانه مطابقت داشته باشد (به عنوان مثال، اگر سرعت جریان تصفیه خانه افزایش یابد، خروجی پمپ تزریق کلر برای حفظ غلظت کلر افزایش می یابد). این شرایط خطر تزریق دز کم یا بیش از حد کلر در نتیجه تغییرات میزان جریان ورودی تصفیه خانه را کاهش می دهد. سطح دیگری از پیچیدگی شامل اصلاح باقی مانده است، به طوری که یک ابزار به طور مداوم غلظت کلر را در آبی که کلر در آن تزریق شده را اندازه گیری می کند (یعنی آب کلرزنی شده) و میزان دز کلر را مطابق با آن تنظیم می کند.

در صورت وجود منابع، یک پمپ کار (یعنی پمپی که معمولاً در حال استفاده است) و یک پمپ آماده به کار (یعنی پمپ پشتیبان، در صورت خرابی پمپ کار) باید در محل قرار گیرند. این کار ممکن است خطر از دست دادن گندزدایی با کلر را در صورت خرابی پمپ به حداقل برساند. علاوه بر این، جایی که منابع اجازه می‌دهند، یک ژنراتور سوختی باید در دسترس باشد تا پمپ های تزریق کلر در صورت قطع برق نیز به کار خود ادامه دهند و گندزدایی به مشکل نخورد.

جایی که مایع کلر به آب آشامیدنی وارد می شود، لوله اصلی فرایند معمولاً به عنوان نقطه تزریق نامیده می شود. برای اطمینان از گندزدایی موثر، مهم است که اطمینان حاصل شود که در این نقطه، اختلاط خوبی بین مایع کلر و آب وجود دارد.

سیستم های تزریق مایع کلر همچنین ممکن است یک ستون کالیبراسیون داشته باشند تا به طور مستقل تأیید کند که چه مقدار مایع کلر توسط پمپ‌های تزریق تحویل داده شده است و اطمینان حاصل شود که دز کمتر یا بیش از حد کلر تزریق نشده است. مهم است که دقت پمپ ها به طور مرتب بررسی شود تا از بهینه سازی تزریق کلر اطمینان حاصل شود.

دمپرهای ضربانی معمولاً در سمت تخلیه پمپ های تزریق قرار می گیرند تا افزایش فشار ناشی از پالس های پمپ را به حداقل برسانند. شیرهای کاهش فشار باید در سمت تخلیه همه پمپ ها (بعد از دمپرهای ضربانی) قرار گیرند تا در صورت انسداد لوله، از آسیب ناشی از فشار بیش از حد به پمپ جلوگیری شود. دریچه های بار برای جلوگیری از کشیده شدن مایع کلر به منبع آب آشامیدنی در صورت وقوع یک رویداد فشار منفی بزرگ طراحی می شوند (به عنوان مثال، آبگیری [یا تخلیه] لوله اصلی فرآیند آب آشامیدنی، که ممکن است تفاوت قابل توجهی در فشار ایجاد کند، به طوری که مایع کلر به طور ناخواسته از مخزن ذخیره از طریق پمپ ها خارج شود). یک شیر بار نیز طراحی شده است تا اختلاف فشار قابل توجهی را تحمل کند تا این خطر به حداقل برسد.

۳,۲ محاسبات تزریق کلر

در بخش های بعدی، معادلات اساسی و پایه تزریق کلر در کادرهای متنی، همراه با مثال های کار شده برای موارد عملی ارائه شده است.

۱,۳,۲ نحوه محاسبه کلر مورد نیاز

همانطور که در بخش ۳,۳,۱ بحث شد، درک کلر مورد نیاز آب برای بهینه سازی گندزدایی مهم است. کادر Mمعادله مورد استفاده برای تخمین کلر مورد نیاز را توصیف می کند. در صورت وجود تجهیزات دقیق آزمایشگاهی و پرسنل آموزش دیده، اندازه گیری کلر مورد نیاز با استفاده از تکنیک های آزمایشگاهی امکان پذیر است[۱۹].

(M) نحوه محاسبه کلر مورد نیاز

معادله ۱ نحوه محاسبه کلر مورد نیاز یک نمونه آب را توصیف می کند.

(معادله ۱) کلر باقی مانده (mg/L) – دز واقعی کلر (mg/L) =کلر موردنیاز (mg/L)

که؛ دز واقعی کلر، غلظت نظری کلری است که به آب اضافه می شود (به بخش ۳,۳,۲ مراجعه کنید).

کلر باقی مانده، کل غلظت باقی مانده کلر در آب است. معمولاً در تصفیه خانه آب حداقل ۳۰ دقیقه پس از اضافه شدن کلر به آب اندازه گیری می شود.[۲۰]

به عنوان مثال، اگر دز واقعی کلر ۲ میلی گرم بر لیتر باشد (به بخش ۳,۳,۲ مراجعه کنید)، و کل کلر باقی مانده پس از ۳۰ دقیقه ۱ میلی گرم در لیتر باشد، در این صورت کلر مورد نیاز با استفاده از رابطه ۱ به شرح زیر تعیین می شود:

$$\text{کلر موردنیاز (mg/L)} = ۲\ (mg/L) - ۱\ (mg/L) = ۱ (mg/L)$$

هنگامی که کلر مورد نیاز مشخص شد، این مقدار ممکن است برای تخمین دز کلر مورد نیاز نیز استفاده شود (به کادر O مراجعه کنید).

[19] World Health Organization. Chlorine testing. Fact Sheet 2.31. http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/fs2_31.pdf?ua=1. Visited on 13 July, 2015.

[۲۰] کلر باقی مانده ممکن است توسط یک کیت ساده سنجش کلر اندازه گیری شود.(بخش ۲,۵,۱ را ببینید)

۲,۳,۲ نحوه محاسبه مقدار Ct برای گندزدایی

کادر متنی N یک رویکرد ساده برای محاسبه مقدار Ct برای گندزدایی را توصیف می کند.

نحوه محاسبه مقدار Ct (N)

مقدار Ct می تواند از طریق معادله ۲ به صورت زیر محاسبه شود:

Ct (min.mg/L) = (mg/L) کلر باقی مانده × (min) زمان تماس (معادله ۲)

که: کلر باقی مانده، غلظت باقی مانده کلر در آب است. این مقدار معمولاً در تصفیه خانه آب حداقل ۳۰ دقیقه پس از اضافه شدن کلر به آب (یعنی پس از برآورده شدن کلر مورد نیاز) اندازه گیری می شود.

زمان تماس مدت زمانی است که تماس بین کلر و آب وجود دارد، مانند زمان ماند در یک مخزن یا لوله[۲۴]. هنگام محاسبه مقدار Ct، مدت زمان ماند مدت زمانی است که آب با کلر در تماس است.

مثالی از محاسبه زمان تماس: اگر تانکی زمان ماند ۶۰ دقیقه داشته باشد و غلظت کلر باقی مانده ۰/۶ میلی گرم بر لیتر باشد، با استفاده از معادله ۲:

$$Ct\ (min.mg/L) = ۰/۶\ mg/L \times ۶۰\ min = ۳۶\ min.mg/L$$

جهت اطمینان از گندزدایی کافی، سازمان جهانی بهداشت حداقل مقدار Ct ۱۵ دقیقه میلی گرم بر لیتر را برای گندزدایی توصیه می کند، وقتی که pH آب زیر ۸ باشد.

بر اساس معادله ۲، این معادل ۳۰ دقیقه زمان تماس با غلظت کلر باقی مانده ۰/۵ mg/L است. یعنی:

$$(۳۰ min \times ۰/۵\ mg/L = ۱۵\ min.mg/L)$$

با این حال، حداقل زمان تماس کلر مورد نیاز باید به صورت موردی و با در نظر گرفتن تأثیرات ترکیبی موارد زیر تعیین شود:

- دمای آب؛
- کدورت آب؛
- pH آب؛
- غلظت کلر باقی مانده، و
- اتصال کوتاه در طول ذخیره (که پتانسیل جریان ترجیحی و کاهش زمان اختلاط/ماند است).

مثال دقیق تری برای تعیین دقیق حداقل مقدار Ct مورد نیاز با استفاده از جداول Ct در کادر متنی C ارائه شده است.

---

[21] زمان ماند برای ذخیره با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:
زمان ماند = حجم ذخیره (مترمکعب) تقسیم بر میزان جریان (مترمکعب در دقیقه)
برای مثال اگر تانکی حجمی برابر با ۶۰۰۰ مترمکعب داشته باشد و میزان جریان ۱۰۰ مترمکعب در دقیقه باشد
زمان ماند برابر است با ۶۰۰۰ تقسیم بر ۱۰۰ مساوی ۶۰ دقیقه
برای بحث دقیق تر در مورد تعیین دقیق زمان ماند یک سیستم، به کادر متنی C مراجعه کنید.

۲,۳,۳ نحوه محاسبه دز کلر مورد نیاز

کادر O معادله ای را برای محاسبه دز کلر مورد نیاز برای گندزدایی با کلر ارائه می دهد.

(O) نحوه محاسبه دز کلر

معادله ۳ نحوه محاسبه دز کلر مورد نیاز برای گندزدایی را شرح می دهد.

(معادله ۳) دز کلر مورد نیاز (mg/L) = کلر مورد نیاز (mg/L) + کلرباقی مانده مطلوب (mg/L)[۲۲]

که:

کلر مورد نیاز همانطور که در بخش ۲,۳,۱ بحث شد تعیین می شود.

باقی مانده کلر مورد نظر، غلظت کلر باقی مانده مورد نیاز پس از برآورده شدن کلر مورد نیاز و انجام گندزدایی است.

مثال: اگر کلر مورد نیاز ۲ میلی گرم بر لیتر تعیین شود (به بخش ۱,۳,۲ مراجعه کنید)، و کلر باقی مانده مورد نظر ۱ میلی گرم بر لیتر باشد، آنگاه می توان دز کلر مورد نیاز را با استفاده از معادله ۳ به شرح زیر تعیین کرد:

$$\text{دزکلر مورد نیاز } (mg/L) = ۲\ mg/L\ +\ ۱\ mg/L = ۳\ \ mg/L$$

همانطور که در بخش ۱,۳,۱ بحث شد، دز بهینه کلر برای هر سیستم تامین آب خاص در هر مورد متفاوت است و بسته به ویژگی های سیستم تامین آب به طور مداوم تغییر می کند. به این ترتیب، جهت اطمینان از گندزدایی مؤثر، غلظت کلر باید به دقت کنترل شود (از طریق پایش عملیاتی) و به طور مداوم بهینه سازی شود (به بخش ۲,۵ مراجعه کنید).

۴,۳,۲ نحوه محاسبه مقدار پودر کلر مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر

توجه: این بخش فقط در شرایطی کاربرد دارد که از پودر کلر برای تهیه مایع کلر استفاده می شود.

پودر کلر باید ابتدا در آب حل شود تا بتوان آن را به عنوان محلول مایع کلر تزریق کرد. مقدار پودر کلر مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله:

- نوع پودر کلر مورد استفاده و قدرت آن (مثلا پودر سفید کننده [تقریباً ۳۵٪ کلر فعال] در مقابل هیپوکلریت با درصدبالا [تقریبا ۷۰٪ کلر فعال]). و
- غلظت کلر مورد نظر در محلول مایع کلر.

[۲۲] غلظت باقی مانده کلر مورد نظر به میزان تجزیه کلر در سیستم تامین آب بستگی دارد (به بخش ۴,۳,۱ مراجعه کنید) و باید به صورت موردی تعیین شود. به عنوان یک راهنمای کلی، برای گندزدایی مؤثر، حداقل غلظت کلر باقی مانده مورد نظر پس از گندزدایی باید ۰/۵ میلی گرم در لیتر پس از ۳۰ دقیقه زمان تماس باشد که در آن pH < ۸ باشد (بخش ۵,۵,۳,۱). با این حال، برای حفظ حداقل غلظت کلر باقی مانده ۰/۲ میلی گرم در لیتر در تمام نقاط سیستم توزیع، ممکن است غلظت کلر باقی مانده بالاتر پس از گندزدایی مورد نیاز باشد (به بخش ۷,۳,۱ مراجعه کنید).

به طور کلی:

- اگر محلول مایع کلر دارای قدرت بالاتری باشد (مثلاً ۵٪ کلر فعال)، برای دستیابی به دز کلر مورد نیاز، باید محلول مایع کلر کمتری مصرف کنید، یا
- اگر محلول مایع کلر دارای قدرت کمتری باشد (مثلاً ۱٪ کلر فعال)، باید محلول مایع کلر بیشتری را برای دستیابی به دز کلر مورد نیاز مصرف کنید (در این مثال، ۵ برابر مایع کلر بیشتر مورد نیاز است زیرا محلول ۱٪ پنج برابر ضعیف تر از محلول ۵٪ است).

قدرت محلول مایع کلر ممکن است بر اساس شرایط خاص از کارخانه ای به کارخانه دیگر متفاوت باشد. به طور معمول، محلول های مایع کلر از پودر کلر با غلظت کلر فعال بین ۱-۵٪ تهیه می شود. غلظت مناسب محلول مایع کلر مورد نیاز باید به صورت موردی و بر اساس وضعیت خاص تصفیه خانه آب تعیین شود.

از آنجایی که پودر کلر حاوی مواد بی اثری است که در آب حل نمی شود، ممکن است رسوب حل نشده (یا لجن) باقی بماند. این لجن در طول زمان جمع می شود و ممکن است باعث مشکلات عملیاتی مانند انسداد پمپ شود. پس از تهیه محلولی از مایع کلر از پودر آن، قبل از اینکه محلول زلال شده به یک ظرف جداگانه ریخته شود باید زمان کافی برای ته نشین شدن لجن در ته ظرف اختلاط در نظر گرفته شود (مثلاً تا ۲۴ ساعت).

اگر یک تصفیه خانه آب دارای (الف) دبی زیاد، (ب) ظرفیت محدود ذخیره مایع کلر و/یا (ج) ظرفیت محدود پمپ تزریق باشد، ممکن است محلول کلر با قدرت بالاتر مورد نیاز باشد. با این حال، قدرت محلول مایع کلر به میزان انحلال پودر کلر در آب محدود می شود. تلاش برای حل کردن مقادیر زیادی پودر کلر در آب ممکن است منجر به مقادیر بیش از حد لجن حل نشده شود. به همین دلیل، محلول های مایع کلر تهیه شده از پودر کلر معمولاً با غلظت کلر فعال کمتر از ۵٪ تهیه می شوند (معمولاً از محلول های کلر فعال ۱-۲٪ استفاده می شود).

اگر غلظت کلر فعال بیشتر از ۵٪ مورد نیاز باشد (مثلاً به دلیل محدودیت‌های ظرفیت ذخیره‌سازی حجیم یا پمپ)، در طول آماده‌سازی محلول، ممکن است لجن بیش از حد در مخزن اختلاط ایجاد شود. در این شرایط، باید اجازه داد تا محلول پس از اختلاط ته نشین شود (مثلاً تا ۲۴ ساعت زمان ته نشینی)، و مایع کلر باید همیشه قبل از استفاده به یک مخزن ذخیره حجیم جداگانه منتقل شود (با پیروی از اقدامات احتیاطی مربوط به حمل و نقل ایمن ذکر شده در بخش ۲,۱). ترتیب مخزن اختلاط کلر برای تهیه محلول مایع کلر از پودر کلر در جای دیگری ارائه شده است[۱۲].

کادر P راهنمایی در مورد نحوه محاسبه وزن پودر کلر مورد نیاز در تهیه محلول مایع کلر ارائه می دهد.

(P) نحوه محاسبه وزن پودر کلر مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر

معادله ۴ نحوه محاسبه وزن مورد نیاز پودر کلر برای تهیه محلول مایع کلر را شرح می دهد.

معادله ۴

$$\text{وزن مورد نیاز (g)} = \frac{\text{غلظت کلر مایع مورد نظر (\%)} \times \text{حجم کلر مایع مورد نیاز (L)} \times ۱۰۰۰}{\text{غلظت کلر فعال در پودر کلر (\%)}}$$

حجم محلول مایع کلر مورد نیاز بر حسب لیتر (L) ممکن است برای هر موقعیت متفاوت باشد و به موارد زیر بستگی داشته باشد (۱) چه مقدار کلر در روز مصرف می شود و (ب) چند روز برای ذخیره سازی مورد نیاز است (به عنوان مثال، اگر تصفیه خانه آب ۱۰۰ لیتر محلول مایع کلر در روز استفاده می کند و مایع کلر کافی برای تامین ۵ روز مورد نیاز است، پس این مقدار ۵ روز × صد لیتر = ۵۰۰ لیتر خواهد بود)

غلظت مورد نیاز مایع کلر نیز ممکن است برای هر کاربرد متفاوت باشد، اما معمولاً بین ۱٪ تا ۵٪ کلر فعال خواهد بود (به بخش قبلی مراجعه کنید).

غلظت کلر فعال در پودر کلر نیز بسته به نوع پودر کلر مورد استفاده و سن و شرایط نگهداری آن متفاوت خواهد بود (به بخش ۲,۱ مراجعه کنید). به عنوان مثال، پودر سفید کننده تازه ممکن است تقریباً ۳۵٪ کلر فعال داشته باشد، در حالی که پودر هیپوکلریت با درصد بالا ممکن است تقریباً حاوی ۷۰٪ کلر فعال باشد. اگر پودر کلر قدیمی است و به طور مناسب ذخیره نشده است، ممکن است غلظت کمتری برای محاسبه بر اساس اطلاعات ارائه شده در کادر L (جدول ۲) تخمین زده شود.

*ضرب در ۱۰۰۰ یک ضریب تبدیل واحد استاندارد است.

مثال

یک تصفیه خانه آب به ۵۰۰ لیتر محلول مایع کلر ۲ درصد با استفاده از پودر سفید کننده با غلظت کلر فعال ۳۵ درصد نیاز دارد. برای تعیین وزن پودر کلر مورد نیاز از معادله ۴ به صورت زیر استفاده کنید:

$$\text{وزن موردنیاز (g)} = \frac{1000 \times 500\ (\text{L}) \times 2\ (\%)}{35\ (\%)}$$

وزن مورد نیاز (گرم) =۲۸۵۷۱ گرم (۲۸/۶ کیلوگرم) به ازای ۵۰۰ لیتر آب

۵،۳،۲ نحوه محاسبه میزان دز کلر

نرخ دز کلر به مقدار محلول مایع کلر اشاره دارد که باید در مدت زمان معینی به آب آشامیدنی اضافه شود تا به غلظت کلر مورد نیاز دست یابد. کادر Q معادله مورد استفاده برای محاسبه میزان دز کلر برای محلول مایع کلر را توصیف می کند.

(Q) نحوه محاسبه میزان دز کلر

معادله ۵ معادله نحوه محاسبه میزان دز کلر مورد نیاز برای محلول مایع کلر را توصیف می کند.

$$\text{میزان دز کلر } (\text{mL/h}) = \frac{\text{نرخ جریان } (\text{m}^3/\text{h}) \times \text{دز کلر مورد نیاز } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{غلظت مایع کلر } (\%)/۱۰۰} \quad \text{معادله ۵}$$

که:

دز کلر مورد نیاز ممکن است همانطور که در بخش ۲،۳،۳ توضیح داده شده است تعیین شود.

دبی به جریان آب در تصفیه خانه آب (بر حسب متر مکعب در ساعت) اشاره دارد. دانستن دبی تصفیه خانه آب، و پتانسیل تغییرات جریان، با توجه به بهینه سازی دز کلر بسیار مهم است. با تغییر سرعت جریان، میزان دز کلر نیز باید تغییر کند. در غیر این صورت، احتمال تزریق دز کمتر یا بیش از حد وجود دارد که ممکن است ایمنی آب را به خطر بیندازد و بر سلامت عمومی تأثیر بگذارد.

همانطور که در بخش ۲،۳،۴ بحث شد، غلظت مایع کلر، درصد کلر فعال موجود در محلول مایع کلر است. غلظت ممکن است بسته به نوع خاص پودر کلر یا مایع کلر تجاری مورد استفاده و سن و شرایط نگهداری آن متفاوت باشد (بخش ۲،۱). به عنوان مثال، در جایی که مایع کلر از پودر کلر تهیه شده است، معمولاً بین ۱-۵ درصد کلر فعال خواهد بود (بخش ۲،۳،۴). وقتی هیپوکلریت سدیم تهیه شده به صورت تجاری استفاده می شود، ممکن است بین ۱۰-۱۵ درصد کلر فعال باشد.

*تقسیم بر ۱۰۰ یک ضریب تبدیل واحد استاندارد است.

مثال: یک تصفیه خانه دارای دز کلر مورد نیاز ۳ میلی گرم در لیتر و دبی تصفیه خانه آب ۱۰۰ متر مکعب در ساعت است. محلول مایع کلر از پودر کلر با غلظت کلر فعال ۱٪ تهیه شده است. برای تعیین میزان دز کلر مورد نیاز، از رابطه ۵ به صورت زیر استفاده کنید:

$$\text{میزان دز کلر } (\text{mL/h}) = \frac{۳ \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times ۱۰۰ (\text{m}^3/\text{h})}{۱ (\%)/۱۰۰} = ۳۰۰۰۰ \text{ mL/h یا } ۵۰۰ \text{mL/min}$$

شکل جایگزینی از معادله ۵ ممکن است برای تخمین دز واقعی کلر استفاده شود، برای مثال، اگر دز فعلی کلر ناشناخته بود و نیاز به تعیین دز داشت (کادر R). همانطور که در بخش ۲,۳,۱ توضیح داده شده است، می توان از این معادله برای تخمین کلر مورد نیاز نیز استفاده کرد.

(R) نحوه محاسبه دز واقعی کلر

برای تعیین میزان دز واقعی کلر در تصفیه خانه آب زمانی که دز آن معلوم نیست، یا برای کمک به محاسبه کلرمورد نیاز (بخش ۱,۳,۲)، ممکن است تخمین دز واقعی کلر، همانطور که در رابطه ۶ توضیح داده شده است، مفید باشد.

$$\text{دز واقعی کلر}(\text{mg/L}) = \frac{\left[\text{نرخ دز کلر}\ (\text{mL/h}) \times \text{غلظت کلر مایع}\ (\%)\right] \div ۱۰۰}{\text{میزان جریان}\ (\text{m}^3/\text{h})} \quad \text{معادله (۶)}$$

که

نرخ دز کلر، دز واقعی کلر است که توسط پمپ دز کلر تحویل داده می‌شود.

غلظت مایع کلر، درصد کلر فعال موجود در محلول مایع کلر است، همانطور که در بخش ۴,۳,۲ بحث شد.

نرخ جریان، به جریان آب در تصفیه خانه آب اشاره دارد.

تقسیم بر ۱۰۰ یک ضریب تبدیل واحد استاندارد است.

مثال

یک تصفیه خانه آب از محلول مایع کلر ۲٪ با دز کلر ۶۰۰۰ میلی لیتر در ساعت استفاده می‌کند. سرعت جریان در تصفیه خانه ۱۰۰ متر مکعب در ساعت است. برای تعیین دز واقعی کلر، از رابطه ۶ به صورت زیر استفاده کنید:

$$\text{دز واقعی کلر}(\text{mg/L}) = \frac{\left[۶۰۰۰\ (\text{mL/h}) \times ۲\ (\%)\right] \div ۱۰۰}{۱۰۰\ (\text{m}^3/\text{h})} = ۱/۲\text{mg/L} \quad \text{معادله (۶)}$$

توجه - این رقم دز نظری کلر است و کلر مورد نیاز را در نظر نمی گیرد.

۱,۵,۳,۲ تنظیم دز کلر

هنگامی که تنظیم دز کلر مورد نیاز است (به عنوان مثال، اگر سرعت جریان تصفیه خانه تغییر کند یا اگر غلظت کلر باقی مانده، در سیستم توزیع پایین تشخیص داده شده باشد)، باید مراقب بود که از تنظیم بیش از حد یا کمتر از حد مجاز دز پمپ جلوگیری شود.

برای به حداقل رساندن این خطر، هنگام تنظیم دز کلر باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- دز را به تدریج تنظیم کنید (یعنی کم کم).
- قبل از تنظیم بیشتر دز، همیشه زمان صرف شده برای رسیدن آب تازه کلر زنی شده به نقطه پایش خاصی در سیستم های توزیع را تعیین کنید. (به عنوان مثال، اگر کلر باقی مانده در انتهای شبکه کم تشخیص داده شود، ممکن است برای مثال سه روز طول بکشد تا آب تازه کلر زنی شده از تصفیه خانه به این نقطه برسد).
- همیشه پس از تنظیم دز برای بررسی بهینه بودن غلظت کلر جدید، غلظت کلر در آب و شبکه توزیع را به دقت پایش کنید (به بخش ۵,۲ مراجعه کنید).

۴,۲ تدوین روش‌های عملیاتی استاندارد برای کلرزنی

روش‌های عملیاتی استاندارد (SOP) دستورالعمل‌های روشنی را در مورد نحوه انجام یک کار عملیاتی خاص مستند می‌کنند. SOPها باید برای هر کاری که به طور معمول در یک سیستم تامین آب انجام می‌شود، از جمله وظایف مرتبط با کلرزنی، آماده شوند. تدوین SOP برای کلرزنی به کارکنان کمک می‌کند تا کار را به طور ایمن و مداوم انجام دهند.

SOP ها باید به وضوح نوشته شوند، به طوری که هر کارمندی که آموزش مناسبی در آن SOP دارد، بتواند هر بار به راحتی و به درستی این روش را دنبال کند. SOP ها باید هدفمند و مختصر باشند و اطلاعات را فقط به مواردی محدود کنند که برای انجام صحیح و ایمن کار ضروری است. در صورت لزوم، استفاده از تصاویر ممکن است مناسب باشد، به طوری که کارکنان با تمام سطوح سواد بتوانند این روش را دنبال کنند.

اطلاعات ایمنی مهم نیز باید در SOP گنجانده شود، به عنوان مثال، توصیف اینکه کدام آموزش و تجهیزات حفاظتی برای انجام ایمن کار مورد نیاز است.

کادر متنی S برخی از وظایف کلیدی کلرزنی را که باید SOP ها را تدوین کنند، به همراه راهنمایی در مورد نوع اطلاعاتی که باید گنجانده شود، مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که این فهرست جامع نیست و بسته به موقعیت خاص ممکن است به SOP های کلرزنی اضافی نیاز باشد.

(S) تدوین روش‌های عملیاتی استاندارد برای وظایف کلرزنی

در زیر فهرستی از SOP های کلیدی که معمولاً برای پشتیبانی از فعالیت‌های کلرزنی در تأسیسات تصفیه آب مورد نیاز هستند، به همراه نمونه‌هایی از نوع اطلاعاتی است که در نظر گرفتن آن‌ها مفید است.

SOP برای محاسبه وزن پودر کلر مورد نیاز برای تهیه یک حجم از مایع کلر (به SOP های عمومی ۱ و ۲ در کادر متنی A مراجعه کنید)

- PPE مورد نیاز برای اتمام ایمن کار؛
- نوع پودر کلر مورد استفاده (به عنوان مثال، پودر سفید کننده یا هیپوکلریت درصد بالا)؛
- قدرت محلول مایع کلر مورد نظر در حال تهیه (به عنوان مثال، محلول ۱٪).
- حجم محلول مایع کلر که باید تهیه شود؛ و
- محاسبات استفاده شده برای تعیین وزن پودر کلر مورد نیاز

SOP برای تهیه یک حجم مایع کلر از پودر کلر (به SOP عمومی ۳ در کادر متنی A مراجعه کنید)

- PPE مورد نیاز برای اتمام ایمن کار؛
- وزن واحد پودر کلر مورد نیاز برای تهیه یک بار مایع کلر (به عنوان مثال، ۳۵ گرم پودر سفید کننده در هر لیتر آب)؛
- ظرفی که محلول در آن مخلوط می‌شود (مثلاً مخزن بتنی اختصاصی یا ظرف پلاستیکی)؛
- وسیله ای که به وسیله آن پودر با آب مخلوط می شود (به عنوان مثال، یک دستگاه اختلاط اختصاصی)؛
- مقدار زمان ته نشینی مورد نیاز پس از اختلاط و قبل از استفاده؛ و
- شرایط مناسب نگهداری کلر.

SOP برای محاسبه دز کلر (به SOP عمومی۴ در کادر متنی A مراجعه کنید)

- PPE مورد نیاز برای اتمام ایمن کار؛
- محاسبات مورد استفاده برای تعیین میزان دز کلر بر اساس قدرت محلول مایع کلر و سرعت جریان تصفیه خانه و
- اقدامات احتیاطی در هنگام تنظیم میزان دز (از جمله افزایش پایش غلظت کلر در آب آشامیدنی پس از تنظیم).

SOP برای مدیریت ذخیره کلر

- PPE مورد نیاز برای جابجایی ایمن ذخیره کلر و
- فرآیند گام به گام برای دریافت ذخایر کلر و اعمال اصول مدیریت انبار FIFO

SOP برای بهره برداری و نگهداری پمپ‌های دز کلر

- PPE مورد نیاز برای جابجایی ایمن کلر؛
- راهنمایی گام به گام در مورد تنظیم پمپ تزریق؛
- راهنمایی گام به گام در مورد نگهداری و کالیبراسیون پمپ تزریق؛ و
- راهنمای عیب یابی برای رفع عیب/ خرابی پمپ تزریق رایج.

SOP برای روش‌های اضطراری کلر

- PPE مورد نیاز برای جابجایی ایمن کلر؛
- کمک های اولیه اساسی مورد نیاز در صورت مواجهه با کلر تغلیظ شده؛
- جزئیات تماس برای خدمات اضطراری مربوطه. و
- الزامات کنترلی برای به حداقل رساندن مواجهه انسان و آسیب محیطی در صورت انتشار تصادفی کلر

کادر مربوط به این راهنما چند نمونه از SOPهای عمومی برای کلرزنی آب آشامیدنی (کادر متنی A) را ارائه می دهد. لازم به ذکر است که این SOP ها فقط نمونه‌های عمومی هستند و هر SOP باید بر اساس محل اختصاصی بررسی و تطبیق داده شود.

پس از ایجاد، آموزش و ارزیابی صلاحیت، این SOPها باید جزء اصلی برنامه های توسعه کارکنان باشد.

۵,۲ پایش کلر زنی

همانطور که در بخش ۷,۳,۱ بحث شد، پایش دقیق و بهینه سازی غلظت کلر از طریق سیستم تامین آب برای اطمینان از اضافه شدن کلر کافی به آب برای گندزدایی موثر و در عین حال به حداقل رساندن مسائل مقبولیت مصرف کننده (مانند طعم، بو) ضروری است.

۱,۵,۲ تجهیزات آزمایش کلر

غلظت کلر در آب آشامیدنی را می‌توان با استفاده از کیت‌های آزمایشی مختلف تجاری در دسترس (جدول ۳) اندازه گیری کرد. متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده بر اساس واکنش شیمیایی بین کلر موجود در آب و یک معرف شیمیایی (به نام معرف DPD[۲۳]) است. اگر کلر وجود داشته باشد، تغییر رنگ قابل اندازه‌گیری در نمونه آب رخ می‌دهد (یعنی نمونه آب از شفاف به صورتی تغییر پیدا می‌کند). سپس شدت تغییر رنگ ممکن است به صورت بصری (با استفاده از نمودار رنگی اصلی که توسط کاربر خوانده می‌شود) یا با استفاده از تجهیزاتی که شدت نور را هنگام عبور از نمونه اندازه گیری می‌کند (که رنگ سنج یا آنالایزر کلر نامیده می‌شود) اندازه‌گیری شود. این کیت‌های آزمایش معمولاً کل کلر و غلظت کلر باقی مانده را در سطوح پایین‌تر (مثلاً بین ۰ تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) اندازه‌گیری می‌کنند و برای پایش معمول کلر باقی مانده در آب کلرزنی شده و در سراسر شبکه توزیع مناسب هستند.

برای آزمایش غلظت‌های بالاتر کلر، مانند آنچه که در پودر کلر و محلول‌های مایع کلر یافت می‌شود، به کیت‌ها و تجهیزات تخصصی‌ای نیاز است که به تیتراسیون‌های شیمیایی پیچیده‌تری نیاز دارند[۱۲و۱۳] (مانند کیت‌های تیتراسیون یدومتری قابل حمل).

[23] N,N-diethyl-*p*-phenylenediamine.

در جایی که منابع اجازه می‌دهند، پایش مستمر (برخط) غلظت کلر در آب آشامیدنی توصیه می‌شود. واحدهای پایش آنلاین از یک آنالایزر کلر تشکیل شده است که به طور مداوم غلظت کلر در آب کلرزنی شده را آزمایش می-کند. ممکن است این واحدها هشدار دهند تا به کارکنان اطلاع دهند که دز کلر خیلی زیاد یا خیلی کم است. این واحدها همچنین ممکن است اصلاح باقی‌مانده دز کلر پمپ شونده را تسهیل کنند تا اطمینان حاصل شود که دز کلر بهینه است (به بخش ۲,۲ مراجعه کنید).

هنگام انتخاب تجهیزات آزمایش کلر مناسب، مهم است که موارد زیر را در نظر بگیرید:

- هزینه سرمایه (یعنی هزینه اولیه ابزار) و هزینه‌های عملیاتی (هزینه جاری معرف‌های جایگزین، قطعات و سرویس).
- در دسترس بودن معرف‌های جایگزین، قطعات و خدمات؛
- سطح آموزش اپراتور مورد نیاز برای استفاده و نگهداری از ابزار؛
- در دسترس بودن دانش تخصصی برای پشتیبانی فنی و نگهداری تجهیزات؛
- دوام ابزار در شرایط احتمالی میدانی (یعنی توانایی مقاومت در برابر ضربه، گرد و غبار، آب)؛ و
- متعادل بودن سطح دقت و حساسیت مورد نیاز برای تجهیزات متناسب با منابع موجود

جدول ۳. مقایسه نسبی تجهیزات آزمایشی که معمولاً برای پایش کلر استفاده می شود

تجهیزات آزمایش	هزینه	دقت	وضوح	مزایا	معایب
نوار آزمایش کلر	متوسط	پایین	پایین	• استفاده آسان، یکبار مصرف • نیازی به کالیبراسیون/ سرویس نیست	• درجه تفکیک ضعیف (مثلاً ممکن است فقط در افزایش ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شود • اندازه گیری بصری (تغییر رنگ)؛ برای تفسیر کاربر باز است • برای نوارهای جایگزین به زنجیره تامین نیاز دارد
کیت آزمایش مقایسه کننده کلر	متوسط	متوسط	متوسط	• استفاده آسان • بادوام برای استفاده میدانی • نیازی به کالیبراسیون/ سرویس نیست	• اندازه‌گیری بصری (تغییر رنگ)؛ برای تفسیر کاربر باز است • نیاز به معرف (پودرDPD) ، زنجیره تامین
کلر سنج	بالا	بالا	بالا	• درجه تفکیک پذیری بالا در یک محدوده وسیع (۰/۰۵ تا ۱۰ mg/L در افزایش ۰/۰۱ mg/L) • استفاده آسان	• برای استفاده میدانی دوام کمتری دارد • کالیبراسیون/سرویس مورد نیاز است • به معرف، قطعات جایگزین (لامپ)، زنجیره تامین نیاز دارد

استفاده از یک ماتریس تصمیم گیری ساده می‌تواند به انتخاب تجهیزات مناسب آزمایش کلر زمینه کمک کند[۲۴]

[24] Murry, A. and Lantagne, D. (2015). Accuracy, precision, usability, and cost of free chlorine residual testing methods. Journal of Water and Health, 13(1), 79-90.

۲,۵,۲ ملاحظات نمونه برداری کلر

کلر فرار است. پس از قرار گرفتن در معرض هوا، کلر از فاز مایع (یعنی آب) خارج می‌شود و به فاز گاز (یعنی هوا) فرار می‌کند. این یک نکته مهم برای زمان نگهداری نمونه هنگام آزمایش غلظت کلر در نمونه های آب است - اگر نمونه ها بلافاصله پس از جمع آوری از نظر کلر مورد تجزیه و تحلیل قرار نگیرند، کلر شروع به فرار (یا تبخیر) از نمونه می‌کند و این ممکن است به قرائت کمتر کلر باقیمانده منجر شود که نادرست است. جهت حصول اطمینان از قرائت صحیح کلر برای تصمیم گیری عملیاتی، پردازش هر نمونه بلافاصله پس از جمع آوری ضروری است.

۳,۵,۲ پایش عملیاتی برای کلرزنی بهینه

پایش عملیاتی[۲۵] جزء کلیدی یک برنامه ایمنی آب (WSP) است تا اطمینان حاصل شود که اقدامات کنترلی موجود برای به حداقل رساندن خطرات کیفیت آب به طور موثر عمل می‌کنند[۳و۴]. (اقدامات کنترلی اقداماتی هستند که در یک سیستم تامین آب برای جلوگیری یا حذف خطر ایمنی آب یا کاهش آن تا حد قابل قبولی انجام می شود). برنامه های پایش عملیاتی باید به طور واضح نوع پایشی که باید انجام شود، نحوه انجام آن، جایی که باید انجام شود، چه کسی و چند وقت یکبار آن را انجام می‌دهد، مستندسازی کنند. علاوه بر این، برنامه‌های پایش عملیاتی باید مشخص کنند که در چه نقطه‌ای اقدامات کنترلی دیگر به طور مؤثر کار نمی‌کند (یعنی حد بحرانی) و مهمتر از همه، برای بازگرداندن اقدامات کنترلی به عملیات با محدوده قابل قبول چه کاری باید انجام شود (یعنی اقدام اصلاحی).

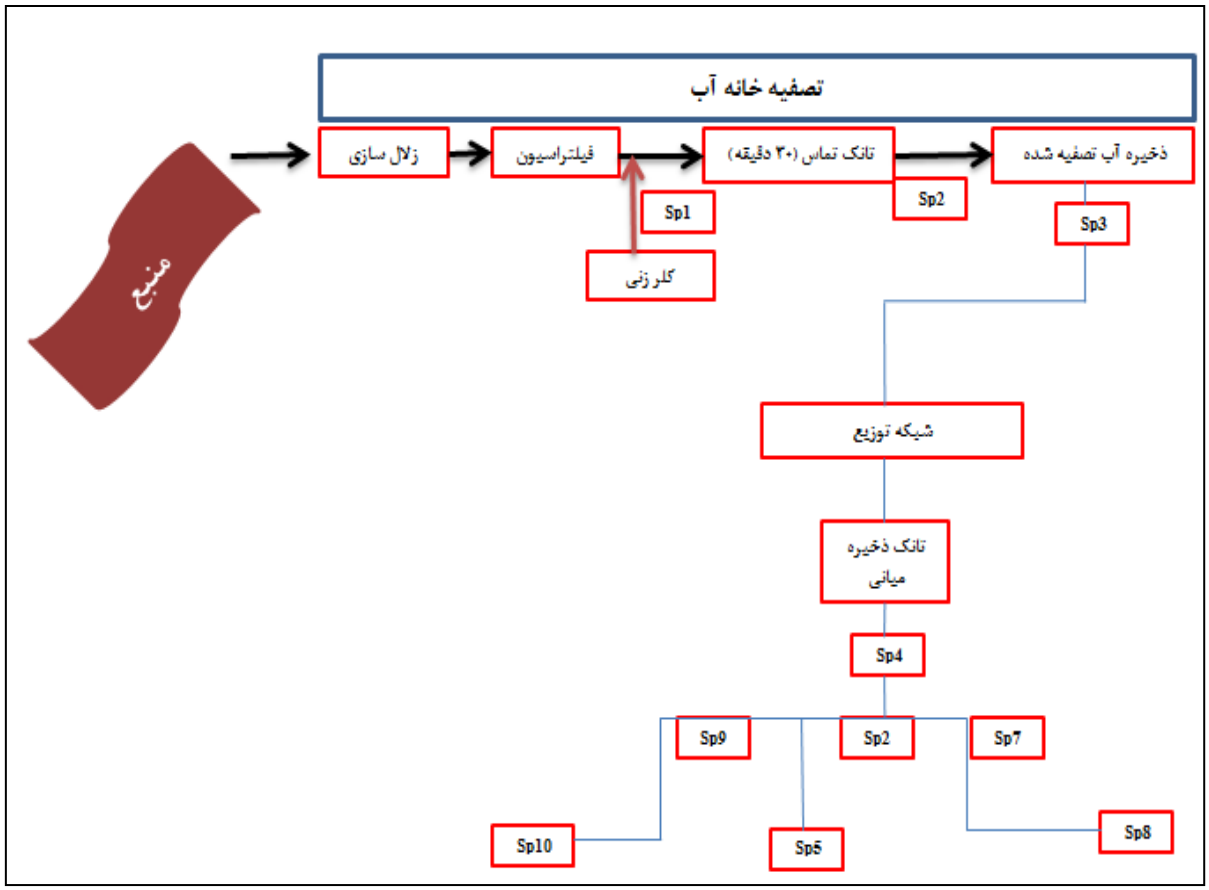
کلرزنی منابع آب آشامیدنی برای مدیریت خطرات میکروبی یک اقدام کنترلی کلیدی است که عملکرد آن باید به طور معمول پایش شود تا اطمینان حاصل شود که گندزدایی کلر در محدوده‌های عملیاتی قابل قبول انجام می-شود[۲۵]. هنگام تهیه یک برنامه پایش عملیاتی خاص برای کلرزنی، مکان‌های پایش عمومی که در جدول ۴ و شکل ۱۴ مشخص شده اند باید در نظر گرفته شوند.

[25] توجه: پایش عملیاتی جدا از پایش انطباق است که شامل آزمایش آب آشامیدنی برای اطمینان از مطابقت با استانداردهای کیفیت آب است. پایش انطباق بخشی از راستی‌آزمایی برنامه ایمنی آب (WSP) است تا اطمینان حاصل شود که طرح به طور مؤثر عمل می‌کند ؛ ۳و۴. پایش کلر نیز ممکن است به عنوان بخشی از پایش انطباق انجام شود.

جدول ۴. نمونه ای از نقاط نمونه برداری عمومی برای پایش عملیاتی کلرزنی (به شکل ۱۴ برای مکان های نمونه مراجعه کنید)

محل	نقطه نمونه (sp)	توصیف	دلیل
آب کلر زنی شده	SP1	بلافاصله پس از اضافه شدن کلر به آب	• پایش دز کلر اعمال شده
بعد از زمان تماس	SP2	آب کلر زنی شده پس از سپری شدن حداقل زمان تماس کلر مورد نیاز (مثلاً پس از ۳۰ دقیقه)؛ اغلب این ممکن است خروجی یک ذخیره سازی آب تصفیه شده (مانند تانک، مخزن) باشد	• پایش غلظت کلر باقی مانده پس از گندزدایی (و کلر مورد نیاز برآورده شده است) • اطمینان حاصل شود که گندزدایی موثر رخ داده است (یعنی حداقل مقدار Ct مورد نیاز به دست آمده است)
نقطه ورود به سیستم توزیع	SP3	بعد از تصفیه خانه آب و قبل از اولین مصرف کننده (توجه: در برخی از سیستم های تامین آب، SP2 و SP3 ممکن است یک مکان باشند)	• پایش غلظت کلر باقی مانده در ابتدای سیستم توزیع • نشان می‌دهد که آیا دز کلر در ابتدای سیستم برای محافظت از آب مستقیماً از مسیر سیستم تا نقطه تحویل مصرف کننده بهینه است، و در عین حال اثرات زیبایی شناختی را به حداقل می رساند
شبکه توزیع	SP4-10	مکان‌های مختلف در سیستم توزیع (از جمله انبارهای میانی آب) و در مکان‌های نمایانگر کل شبکه توزیع (به عنوان مثال شروع، وسط، پایان)، تا نقطه تحویل به مصرف‌کننده توجه: تعداد واقعی نقاط نمونه در شبکه توزیع بسته به شرایط مخصوص سیستم تامین یک نوع آب متفاوت خواهد بود	• پایش غلظت کلر باقی‌مانده در کل سیستم توزیع برای تأیید اینکه آب تا نقطه تحویل مصرف کننده محافظت می شود، و در عین حال اثرات زیبایی شناختی را به حداقل می رساند

شکل ۱۴. نمونه ای از نقاط نمونه برداری پایش عملیاتی عمومی در یک سیستم تامین آب. SP - نقاط نمونه برداری (برای ارجاعات شماره نقطه نمونه به جدول ۴ مراجعه کنید)



در جایی که منابع اجازه می‌دهند، پایش مداوم برخط غلظت کلر در تاسیسات تصفیه آب در حالت ایده آل وجود خواهد داشت. متناوبا، نمونه برداری منفرد (یا لحظه‌ای) باید با تناوبی که مناسب با شرایط خاص است، برای مدیریت خطر دز کلر کمتر از حد مطلوب انجام شود. به عنوان مثال، در جایی که کیفیت آب خام دائماً در حال تغییر است، پایش غلظت کلر در تصفیه خانه آب باید بیشتر باشد (به عنوان مثال ساعتی). در حالی که، اگر کیفیت آب خام سازگارتر باشد، پایش با توالی کمتری ممکن است مناسب باشد (به عنوان مثال سه بار در روز).

پایش عملیاتی کلرزنی باید شامل نمونه‌های لحظه‌ای برداشت شده از نقاط نمونه برداری تعریف شده در شبکه توزیع باشد تا اطمینان حاصل شود که دز کلر در کل سیستم تامین آب بهینه شده است. مکان‌های نقطه نمونه باید نماینده کل شبکه توزیع باشد و باید نشان دهنده موارد زیر باشد:

- شروع، میانه و پایان شبکه توزیع؛ و
- نقاط شناخته شده با کیفیت پایین آب (یعنی جایی که معمولا کیفیت آب پایین اندازه گیری شده است، مانند نقاط با جریان کم و/یا نقاط انتهایی شبکه توزیع).

مشابه تصفیه خانه آب، پایش عملیاتی سطوح کلر در شبکه توزیع باید در تناوب مناسب برای مدیریت خطر غلظت کلر بهینه در آن سیستم آبرسانی انجام شود.

اگر پایش تشخیص داد که غلظت کلر خارج از حد بحرانی است، باید فوراً علت بررسی شود و اقدامات اصلاحی مناسب انجام شود. با فرض اینکه قرائت دقیق کلر انجام می‌شود، کلر بالا احتمالاً در نتیجه تزریق بیش از حد کلر در نقطه استفاده از کلر خواهد بود. با این حال، هنگام تفسیر نتیجه کم کلر باید مراقب بود. کلر پایین ممکن است به دلیل تزریق کم کلر در نقطه مصرف رخ دهد، اما ممکن است در نتیجه مشکلات کیفیت آب در پایین دست شبکه توزیع نیز رخ دهد (به عنوان مثال، جریان کم، سن آب، تجمع مواد واکنش دهنده با کلر در طول زمان)، یا ورود مواد واکنش دهنده با کلر از طریق نشت/آسیب، جریان برگشتی[۲۶]، اتصالات متقاطع [۲۷]یا اتصالات غیرقانونی[۲۸]). به این ترتیب، دلیل غلظت کم کلر باید به دقت و به طور کامل بررسی شود، زیرا افزایش دز کلر در تصفیه خانه ممکن است همیشه تنها راه مناسب برای اقدام اصلاحی نباشد. برای راهنمایی دقیق تر در مورد پایش عملیاتی، به توسعه طرح پایش عملیاتی مراجعه کنید: راهنمای تقویت شیوه‌های پایش عملیاتی در سیستم‌های تامین آب کوچک تا متوسط[۲۹].

[۲۶] جریان ناخواسته آب آلوده در جهت معکوس جریان عادی آب آشامیدنی

[۲۷] اتصال بین لوله های آب آشامیدنی و لوله های آب غیر شرب (مانند لوله های فاضلاب یا آب بازچرخش شده).

[۲۸] اتصالات غیر مجاز به لوله های تامین آب آشامیدنی؛ اتصالات غیر مجاز اغلب منبع نشتی هستند و ممکن است به دلیل کیفیت پایین کار یا عدم درک خطرات لوله کشی باعث ایجاد جریان برگشتی یا اتصالات متقابل شوند.

[29] World Health Organization Regional Office for South-East Asia, 2017. Operational monitoring plan development: A guide to strengthening operational monitoring practices in small- to medium-sized water supply systems

شکل ۱۵. مراحل کلیدی برای گندزدایی موثر آب آشامیدنی با کلر با استفاده از پودر کلر[۳۰] (مرجع بخش در پرانتز ارائه شده است)

[۳۰] در صورت استفاده از مایع کلر آماده تجاری، مراحل ۲ و ۳ ممکن است حذف شوند و اطمینان حاصل شود که اقدامات احتیاطی ایمن برای جابجایی و نگهداری مایع کلر مطابق با بخش ۱،۲ رعایت شده است.

ابزار

حاوی ابزارهای عمومی برای پشتیبانی از تدوین روش های اختصاصی کلرزنی

A) روش‌های عملیاتی عمومی استاندارد برای کلرزنی آب آشامیدنی

بخش زیر حاوی SOPهای عمومی برای کلرزنی آب آشامیدنی است که به گونه‌ای طراحی شده‌اند که برای تدوین دستورالعمل‌های اختصاصی برای شرایط خاص به کارگرفته می شوند.

به طور مشخص، اطلاعات زیر باید بر اساس شرایط خاص باشد:

۱) نوع پودر کلر مورد استفاده (به عنوان مثال پودر سفید کننده در مقابل هیپوکلریت با درصد کلر بالا)؛
۲) غلظت کلر فعال در پودر (با آزمایش تعیین می شود [بخش ۴,۳,۲] یا بر اساس دستورالعمل سازنده/تامین کننده تخمین زده می‌شود.
۳) حجم محلول مایع کلر مورد نیاز؛
۴) نرخ جریان تصفیه خانه آب؛ و
۵) دز کلر مورد نیاز برای سیستم تامین آب برای اطمینان از گندزدایی موثر
۶) و حفاظت کلر باقی مانده تا انتهای شبکه توزیع.

SOP1 عمومی: نحوه تعیین وزن پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر

نحوه تعیین وزن پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر

هدف: ارائه روشی ایمن برای تعیین وزن پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا (تقریباً ۷۰٪ کلر فعال) مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر ۱٪.

نسخه: ۱ تاریخ: ../ ../ .... تایید کننده: مدیر عملیاتی

آموزش مورد نیاز: • آگاهی از حمل و نقل ایمن کلر. • آموزش در این SOP.	نکات ایمنی مهم: •هنگام استفاده از پودر کلر از دستکش، لباس، عینک ایمنی و ماسک گرد و غبار استفاده کنید. • از تهویه مناسب منطقه برای جلوگیری از ایجاد دود اطمینان حاصل کنید.

محاسبه برای تعیین وزن پودر مورد نیاز

محاسبات زیر نحوه تهیه ۱ لیتر (L) محلول مایع کلر ۱٪ از پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا که حاوی ۷۰٪ کلر فعال است را شرح می دهد:

$$\text{پودر مورد نیاز}(g) = \frac{\text{غلظت کلر مایع مورد نظر (\%)} \times \text{حجم کلر مایع مورد نیاز (L)} \times ۱۰۰۰}{\text{غلظت کلر فعال در پودر (\%)}}$$

حجم مایع کلر مورد نیاز: ۱ لیتر

غلظت مایع کلر مورد نظر: ۱٪

غلظت کلر فعال در پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا: ۷۰٪

$$= \frac{۱۰۰۰ \times ۱\,(L) \times ۱\,(\%)}{۷۰(\%)} = ۱۴$$

۱۴ گرم پودر هیپوکلریت غلیظ در هر ۱ لیتر آب مورد نیاز است

بنابراین، به عنوان مثال، اگر می‌خواهید یک حجم ۱۰ لیتری از محلول مایع کلر ۱٪ تهیه کنید، به ۱۴۰ گرم پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا (یعنی ۱۰L×۱۴g) نیاز دارید.

اکنون می‌توان از این محلول مایع کلر ۱ درصد برای تعیین میزان دز کلر استفاده کرد (روش عمومی SOP4 نحوه محاسبه میزان دز کلر را ببینید).

SOP2 عمومی: نحوه تعیین وزن پودر سفید کننده مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر

نحوه تعیین وزن پودر سفید کننده مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر

هدف: ارائه روشی ایمن برای تعیین وزن پودر سفید کننده (تقریباً ۳۵٪ کلر فعال) مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر 1٪.

نسخه: ۱ تاریخ : ../../.... تایید کننده: مدیر عملیاتی

آموزش مورد نیاز :	نکات ایمنی مهم:
•آگاهی از حمل و نقل ایمن کلر. • آموزش در این SOP	•هنگام استفاده از پودر کلر از دستکش، لباس، عینک ایمنی و ماسک گرد و غبار استفاده کنید. •هنگام کار با مایع کلر ، از پوشیدن دستکش، روپوش و محافظ صورت اطمینان حاصل کنید. • از تهویه مناسب منطقه برای جلوگیری از ایجاد دود اطمینان حاصل کنید

محاسبه برای تعیین وزن پودر مورد نیاز ۱۰۰۰

محاسبه زیر نحوه تهیه ۱ لیتر (L) محلول مایع کلر ۱٪ از پودر سفید کننده حاوی ۳۵٪کلر فعال را شرح می دهد:

$$\text{پودر مورد نیاز}(g) = \frac{\text{غلظت مایع کلر مورد نظر}\,(\%) \times \text{حجم مایع کلر مورد نیاز}\,(L) \times ۱۰۰۰}{\text{غلظت کلر فعال در پودر کلر}\,(\%)}$$

حجم مایع کلر مورد نیاز: ۱ لیتر

غلظت مایع کلر مورد نظر: ۱٪

غلظت کلر فعال در پودر سفید کننده: ۳۵٪

$$= \frac{1000 \times 1(L) \times 1\,(\%)}{35(\%)} = 29$$

۲۹ گرم پودر هیپوکلریت با درصد کلر بالا در هر ۱ لیتر آب مورد نیاز است

بنابراین، به عنوان مثال، اگر می‌خواهید یک حجم ۱۰ لیتری از محلول مایع کلر ۱٪ تهیه کنید، به ۲۹۰ گرم پودر سفید کننده (یعنی ۱۰L×۲۹g) نیاز دارید.

اکنون می‌توان از این محلول مایع کلر ۱ درصد برای تعیین میزان دز کلر استفاده کرد (روش عمومی SOP4 نحوه محاسبه میزان دز کلر را ببینید).

SOP3 عمومی: طرز تهیه حجمی از مایع کلر از پودر کلر

طرز تهیه حجمی از مایع کلر از پودر کلر

هدف: ارائه روشی ایمن برای تهیه حجمی از مایع کلر از پودر کلر

نسخه: ۱ تاریخ: ../../.... تایید کننده: مدیر عملیاتی

آموزش مورد نیاز :	نکات ایمنی مهم:
•آگاهی از حمل و نقل ایمن کلر. • آموزش در این SOP	•هنگام استفاده از پودر کلر از دستکش، لباس، عینک ایمنی و ماسک گرد و غبار استفاده کنید. •هنگام کار با مایع کلر ، از پوشیدن دستکش، روپوش و محافظ صورت اطمینان حاصل کنید. • از تهویه مناسب منطقه برای جلوگیری از ایجاد دود اطمینان حاصل کنید

۱) بسته به نوع پودر کلر که استفاده می‌کنید، از SOP1 عمومی (هیپوکلریت با درصد کلر بالا) یا SOP2 عمومی (پودر سفید کننده) برای تعیین وزن پودر کلر مورد نیاز در هر لیتر آب استفاده کنید.

۲) حجم مورد نظر آب تمیز را اندازه بگیرید و به یک ظرف مخلوط کننده مقاوم در برابر کلر با اندازه مناسب اضافه کنید (برای نمونه هایی از ظروف مناسب مقاوم در برابر کلر به قسمت زیر مراجعه کنید).

۳) وزن مورد نیاز پودر کلر را اندازه گیری کنید.

۴) پودر کلر را به آرامی به آب اضافه کنید.

- همیشه پودر کلر را به آب اضافه کنید (هرگز به پودر کلر آب اضافه نکنید).

۵) از یک ابزار اختلاط مناسب استفاده کنید (مثلاً ممکن است از یک همزن مکانیکی قابل حمل استفاده شود، مانند یک مته برقی با سر همزن) تا محلول را به آرامی مخلوط کنید تا زمانی که بیشتر پودر حل شود (حداقل زمان اختلاط ۵ دقیقه)

- مقداری از پودر به طور کامل حل نمی شود - این طبیعی است.

۶) پس از مخلوط شدن، محلول باید تا ۲۴ ساعت قبل از استفاده ته نشین شود.

- این اجازه می دهد تا مواد حل نشده در ته ظرف ته نشین شوند (این ماده ممکن است پمپ تزریق کلر را مسدود کند، اگر خارج نشود)
- پس از ته نشین شدن، محلول مایع کلر را با دقت به یک ظرف تمیز مقاوم در برابر کلر منتقل کنید و مراقب باشید که رسوب ته نشین شده را بهم نزنید.

۷) محلول مایع کلر اکنون آماده استفاده است.

اطلاعات مهم ذخیره سازی

برای به حداقل رساندن سرعت و میزان تجزیه کلر در پودر کلر و مایع، همیشه:

- در جای خنک، خشک و دارای تهویه مناسب نگهداری کنید.
- دور از نور مستقیم خورشید و رطوبت و دمای بیش از حد نگهداری شود.
- در ظروف مقاوم در برابر کلر (به عنوان مثال، پلاستیک مقاوم به نور [پلی وینیل کلراید، پلی اتیلن با چگالی بالا]، شیشه، سیمان) نگهداری شود. و
- تمام ظروف نگهداری را در صورت عدم استفاده کاملاً بسته نگه دارید.

SOP4 عمومی: نحوه محاسبه دز کلر

نحوه محاسبه دز کلر

هدف: ارائه یک روش پایدار برای محاسبه دز کلر برای گندزدایی موثر

نسخه: ۱ تاریخ: ../../.... تایید کننده: مدیر عملیاتی

آموزش مورد نیاز :	نکات ایمنی مهم:
•آگاهی از حمل و نقل ایمن کلر. • آموزش در این SOP	•هنگام کار با مایع کلر ، از پوشیدن دستکش، روپوش و محافظ صورت اطمینان حاصل کنید. • از تهویه مناسب منطقه برای جلوگیری از ایجاد دود اطمینان حاصل کنید

برای تعیین میزان دز کلر مورد نیاز بر حسب میلی لیتر در ساعت (mL/h)، از معادله زیر استفاده کنید:

$$\text{نرخ دز کلر } (\text{mL/h}) = \frac{\text{دز کلر مورد نیاز } (\text{mg/L}) \times \text{جریان } (\text{m}^3/\text{h})}{\text{غلظت کلر مایع } (\%) \div ۱۰۰}$$

به عنوان مثال، اگر دز کلر مورد نیاز ما ۲ میلی گرم در لیتر باشد، سرعت جریان تصفیه خانه در این مثال ۱۰۰ متر مکعب در ساعت و غلظت کلر فعال در محلول مایع کلر ۱ درصد باشد، سپس:

$$\text{نرخ دز کلر } (\text{mL/h}) = \frac{۲ \text{ (mg/L)} \times ۱۰۰ \text{ (m}^3/\text{h)}}{۱ \text{ (\%)} \div ۱۰۰} = ۲۰۰۰۰\text{ml/h یا (۳۳۳ml/min تقریبا)}$$

نکات مهم هنگام تنظیم دز کلر

- همیشه دز را به صورت مرحله ای تنظیم کنید، یعنی تنظیم تدریجی (کم کم)
  - تنظیمات بزرگ را به یکباره انجام ندهید وگرنه در خطر دز بیش از حد/کمتر از حد هستید.
- همیشه قبل از انجام تنظیمات اضافی، زمان لازم برای عبور آب (یا برگشتن) در مخزن یا لوله را در نظر بگیرید.
  - برای مثال، ممکن است دو روز طول بکشد تا آب دارای کلر بالا به نقطه آزمایش خاصی در سیستم توزیع برسد.
- همیشه پایش کلر را به دنبال تغییرات در دز کلر افزایش دهید تا مطمئن شوید که دز بهینه شده است و دز کمتر یا بیش از حد اتفاق نمی افتد.

ممکن است پس از استفاده از یک محموله کلر تازه، تنظیمات مجدد دز کلر لازم باشد. به دلیل اینکه قدرت محلول مایع کلر جدید ممکن است بیشتر باشد.

B) خلاصه دستورات دز کلر

برگه خلاصه دستورات دز کلر، یک همراه الکترونیکی برای این راهنما است که برای دانلود از وب سایت WHO SEARO (http://www.searo.who.int/en/) در دسترس است.

برگه خلاصه دستورات برای کارکنان عملیاتی طراحی شده است تا امکان انجام محاسبات ساده، سریع و پایدار دز کلر را فراهم کند. برنامه صفحه گسترده اطلاعات ورودی لازم را از کاربر می خواهد و سپس به طور خودکار محاسبه را انجام می دهد.

TAB 1. نحوه تعیین وزن پودر کلر مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر.

اطلاعاتی که نیاز خواهید داشت:

(۱) حجم کل محلول مایع کلر مورد نیاز بر حسب لیتر(L)

(۲)غلظت مطلوب محلول مایع کلر نهایی به درصد (٪)

(۳) غلظت کلر فعال در پودر کلر به درصد (٪)

اطلاعات را مطابق اعلان روی صفحه وارد کنید (شکل TB1). وزن پودر کلر مورد نیاز به صورت خودکار بر حسب گرم و کیلوگرم محاسبه می شود.

شکل TB 1. تصویر کلی از برگه ۱ خلاصه دستورات دز کلر

نحوه تعیین وزن پودر کلر مورد نیاز برای تهیه محلول مایع کلر			
۱) حجم محلول مایع کلرمورد نیاز را بر حسب لیتر وارد کنید			
۲)غلظت کلر فعال مورد نظر را در محلول نهایی مایع کلر به درصد وارد کنید			
۳)غلظت کلر فعال در پودر کلر را بر حسب درصد وارد کنید			
در صورت امکان، قدرت پودر کلر را قبل از استفاده آزمایش کنید-			
_اگر امکان انجام این کار وجود ندارد، غلظت تخمینی را با سازنده/تامین کننده بررسی کنید			
به طور کلی، در صورت استفاده از پودر سفید کننده - از ۳۵٪ استفاده کنید، در صورت استفاده از هیپوکلریت با درصد کلر بالا - از ۷۰٪ استفاده کنید.			
حجم کل محلول مایع کلر مورد نیاز	۱	لیتر	
غلظت مورد نظر محلول مایع کلر نهایی	۱	٪	
غلظت کلر فعال در پودر کلر	۳۰	٪	
وزن پودر کلر مورد نیاز	۳۳	گرم	
	یا		
	۰.۰۳۳	کیلو گرم	

TAB 2. نحوه محاسبه میزان دز کلر

اطلاعاتی که نیاز خواهید داشت:

۱) نرخ جریان تصفیه خانه آب بر حسب لیتر در ساعت (L/h)

۲) غلظت کلر فعال در محلول مایع کلر به درصد (٪)

۳) دز کلر مورد نیاز (یعنی کلر مورد نیاز + کلر باقی مانده مورد نظر؛ به بخش ۲,۳,۳ مراجعه کنید) به میلی گرم در لیتر (میلی گرم در لیتر).

اطلاعات را مطابق اعلان روی صفحه وارد کنید (شکل TB 2). میزان دز کلر به صورت خودکار بر حسب میلی لیتر در ساعت (mL/h) و میلی لیتر در دقیقه (mL/min) محاسبه می شود.

شکل TB 2. تصویر کلی از برگه ۲ خلاصه اطلاعات دز کلر

نحوه محاسبه میزان دز کلر					
۱) نرخ جریان تصفیه خانه آب را بر حسب لیتر در ساعت(L/h) وارد کنید					
۲)غلظت کلر فعال مورد نظر را در محلول مایع کلر به درصد وارد کنید					
۳)دز مورد نیاز کلر (یعنی، کلر مورد نیاز + کلر باقیمانده مورد نظر) را بر حسب میلی گرم در لیتر(mg/L) وارد کنید					
میزان دز کلر بر حسب میلی لیتر در ساعت (mL/h) محاسبه می شود.					
نرخ جریان تصفیه خانه	**۱۰۰۰۰۰**	**لیتر / ساعت**			
غلظت کلر فعال در محلول مایع کلر	**۱**	**٪**			
دز کلر مورد نیاز	**۳**	**میلی گرم/ لیتر**			
نرخ دز کلر مورد نیاز	**۳۰۰۰۰**	**میلی لیتر / ساعت**			
	یا				
	۵۰۰	**میلی لیتر / دقیقه**			

TAB 3. نحوه محاسبه دز واقعی کلر

اطلاعات مورد نیاز:

۱) نرخ جریان تصفیه خانه آب بر حسب لیتر در ساعت(L/h)

۲) غلظت کلر فعال در محلول مایع کلر به درصد (٪)

۳) نرخ دز فعلی کلر بر حسب میلی لیتر در ساعت (mL/h).

اطلاعات را طبق دستور روی صفحه وارد کنید (شکل TB 3). دز کلر به طور خودکار بر حسب میلی گرم در لیتر (mg/L) محاسبه می شود.

توجه: این دز نظری کلر است و کلر مورد نیاز را در نظر نمی‌گیرد.

شکل TB 3: تصویر کلی از برگه ۳ خلاصه اطلاعات دز کلر

نحوه محاسبه دوز واقعی کلر					
۱) نرخ جریان تصفیه خانه آب را بر حسب لیتر در ساعت (L/h) وارد کنید					
۲) غلظت کلر فعال در محلول کلر مایع را به درصد (٪) وارد کنید					

ج) محاسبه مقدار Ct برای گندزدایی

بخش زیر یک روش دقیق برای تعیین مقدار Ct مورد نیاز برای یک موقعیت خاص را توضیح می‌دهد. یک نمونه کار ارائه شده است که باید با شرایط خاص تطبیق داده شود.

به یاد داشته باشید، همانطور که در بخش ۲,۳,۲ توضیح داده شد، مقدار Ct به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{نرخ دز کلر } (\text{mL/h}) = \text{کلر باقی مانده } (\text{mg/L}) \times \text{زمان تماس } (\text{min}) \quad \text{معادله ۲}$$

که

کلر باقی‌مانده: عبارت است از غلظت کلر باقی‌مانده در آب که پس از رفع کلر مورد نیاز و انجام عملیات گندزدایی در آب باقی می ماند.

زمان تماس: مدت زمان تماس بین کلر و آب است، مانند زمان نگهداری در مخزن یا لوله.

مراحل اساسی مربوط به محاسبه زمان تماس در شکل TB 4 ارائه شده است

شکل TB 4: مراحل مربوط به محاسبه مقدار Ct

مرحله ۱) مقدار Ct مورد نیاز را تعیین کنید

همانطور که در بخش ۲،۳،۲ بحث شد، حداقل مقدار Ct توصیه شده ۱۵ min.mg/L است (که در آن pH آب کمتر از ۸ است). با این حال، این فقط حداقل مقدار Ct توصیه شده است و مقدار واقعی Ct مورد نیاز برای موقعیت خاص ممکن است متفاوت باشد.

برای تعیین مقدار Ct مورد نیاز برای یک موقعیت خاص، باید موارد زیر تعیین شود:

۱) pH آب؛

۲) دمای آب؛ و

۳) غلظت کلر باقی مانده (یا کلر آزاد) آب

هنگامی که این اطلاعات در دسترس است، جداول Ct مورد نیاز است[۳۱] (شکل TB 5). برای استفاده از جداول Ct:

[31] American Water Works Association (1991). Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements. A reprinted version of these original tables is available to download from http://www.wqts.com/pdf/1999-03_DisinfectionProfiling.pdf (Appendix C)

۱) جدول Ct [31] صحیح را بر اساس دمای آب انتخاب کنید. این باید شامل عنوان غیرفعال سازی ژیاردیا برای کلر آزاد و حداقل دمایی باشد که برای آب ثبت کرده‌اید.

توجه: از آنجایی که جداول فقط با افزایش ۵ درجه سانتیگراد ارائه می‌شوند، اگر دمای آب بین دو دما در جدول (مثلاً ۱۷ درجه سانتیگراد بین جداول ۱۵ و ۲۰ درجه سانتیگراد قرار می گیرد) باشد، جهت ایجاد یک حاشیه ایمن، جدول دمای پایین تر را برای محاسبات انتخاب کنید (به عنوان مثال ۱۵ درجه سانتیگراد).

۲) ستون pH را برای حداکثر مقدار pH ثبت شده برای آب انتخاب کنید.

توجه: از آنجایی که مقادیر pH در جداول با ۰/۵ pH افزایشی است، اگر PH آب بین دو مقدار pH قرار می‌گیرد (به عنوان مثال۷/۲ PH بین۷/۰ pH و ۷/۵در جداول قرار می‌گیرد)، جهت ایجاد یک حاشیه ایمن، مقدار pH بالاتر را در محاسبات انتخاب کنید (به عنوان مثال ۷/۵ pH).

۳) در ستونpH ، مقدار مناسب غیرفعال‌سازی لگاریتمی را انتخاب کنید. این مقدار میزان حذف ارگانیسم‌های ژیاردیا در طول گندزایی کلر در شرایط خاص است (به عنوان مثال، کاهش ۲ -log نشان می‌دهد که ٪۹۹ از ژیاردیا حذف می‌شود.در حالی که کاهش ۳ -log نشان می‌دهد که ٪۹۹/۹ ژیاردیا حذف شده است). مقادیر کاهش لگاریتمی لازم، معمولاً بر اساس غلظت ژیاردیا در آب خام و همچنین فرآیندهای تصفیه موجود است. اگر این اطلاعات ناشناخته باشد، ممکن است سخت‌گیرانه‌ترین مقدار (یعنی غیرفعال‌سازی ۳-log) برای درج حاشیه ایمن اتخاذ شود.

۴) ردیف صحیح را بر اساس حداقل غلظت کلر باقی‌مانده ثبت شده انتخاب کنید.

توجه: از آنجایی که مقادیر کلر باقی‌مانده به میزان ۰/۲ میلی گرم در لیتر است، اگر غلظت کلر باقی‌مانده آب بین دو مقدار باشد (مثلاً ۰/۹ میلی گرم در لیتر بین ۰/۸ و ۱/۰ میلی گرم در لیتر در جداول قرار دارد)، مقدار پایین تر را انتخاب کنید. غلظت کلر باقی‌مانده برای محاسبات که شامل حاشیه ایمن باشد (به عنوان مثال ۰/۸ میلی گرم در لیتر).

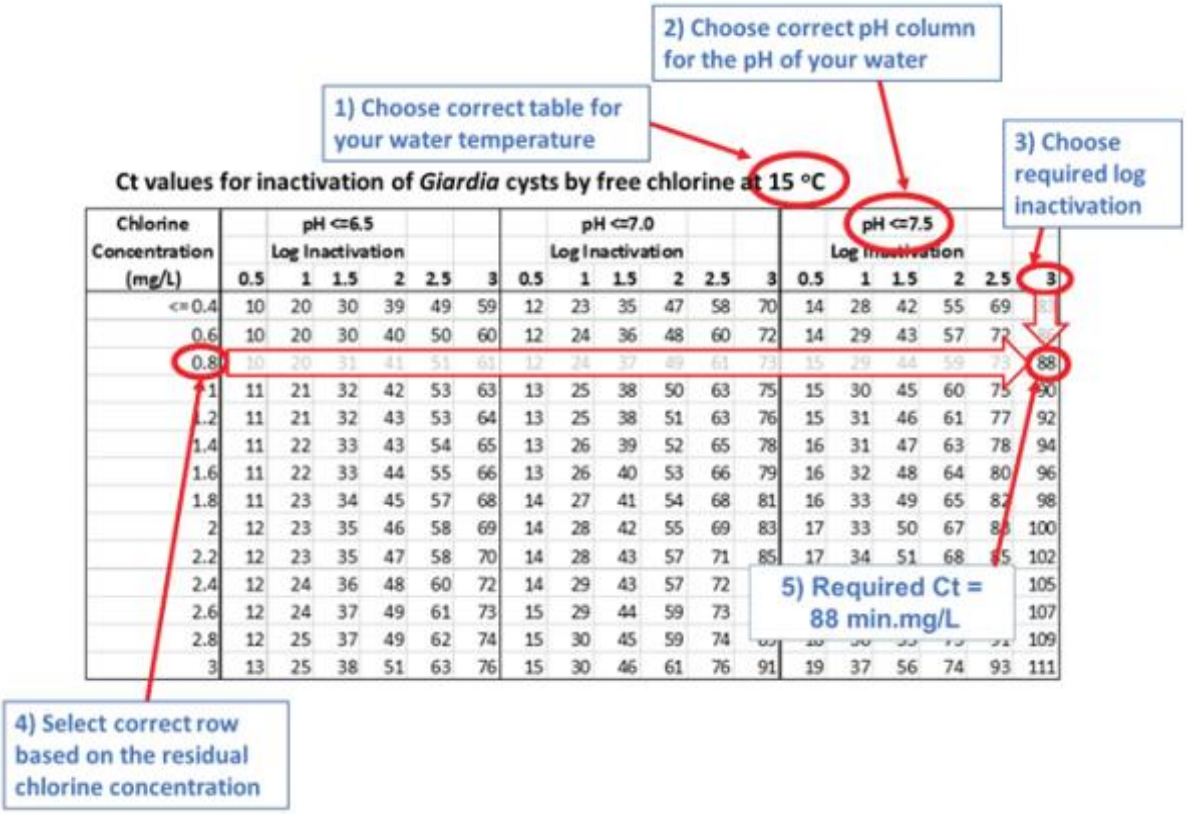
۵) حرکت در این ردیف، و حرکت به سمت پایین ردیف غیرفعال سازی pH/log، امکان تعیین مقدار Ct مورد نیاز را فراهم می‌کند (در min.mg/L؛ شکل TB 5).

به عنوان مثال، فرض کنید که پایش کیفیت آب اطلاعات زیر را مشخص کرده است:

- حداقل دمای آب ۱۸ درجه سانتیگراد است.
- حداکثر pH آب ۷/۲ است. و
- غلظت کلر باقیمانده ۰/۹ میلی گرم در لیتر است.

با استفاده از راهنمای بالا، شکل TB 5 نحوه تعیین مقدار Ct مورد نیاز را با استفاده از جداول Ct برای غیرفعال کردن ۳-log نشان می دهد.

شکل TB 5. راهنمایی گام به گام در مورد چگونگی تعیین مقدار Ct مورد نیاز با استفاده از جداول Ct (اقتباس شده[۳۱])



Chlorine Concentration (mg/L)	pH <=6.5 Log Inactivation						pH <=7.0 Log Inactivation						pH <=7.5 Log Inactivation					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3
<=0.4	10	20	30	39	49	59	12	23	35	47	58	70	14	28	42	55	69	83
0.6	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86
0.8	10	20	31	41	51	61	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88
1	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90
1.2	11	21	32	43	53	64	13	25	38	51	63	76	15	31	46	61	77	92
1.4	11	22	33	43	54	65	13	26	39	52	65	78	16	31	47	63	78	94
1.6	11	22	33	44	55	66	13	26	40	53	66	79	16	32	48	64	80	96
1.8	11	23	34	45	57	68	14	27	41	54	68	81	16	33	49	65	82	98
2	12	23	35	46	58	69	14	28	42	55	69	83	17	33	50	67	84	100
2.2	12	23	35	47	58	70	14	28	43	57	71	85	17	34	51	68	85	102
2.4	12	24	36	48	60	72	14	29	43	57	72	86	17	35	52	69	87	105
2.6	12	24	37	49	61	73	15	29	44	59	73	88	18	35	53	71	88	107
2.8	12	25	37	49	62	74	15	30	45	59	74	89	18	36	54	72	90	109
3	13	25	38	51	63	76	15	30	46	61	76	91	19	37	56	74	93	111

استفاده از جداول Ct در شکل TB 5 نشان می‌دهد که چگونه pH، دما و غلظت کلر ممکن است بر میزان زمان تماس مورد نیاز تأثیر بگذارد (برای بحث بیشتر به بخش ۱،۳،۵،۱ تا ۱،۳،۵،۳ مراجعه کنید).

مرحله ۲) مقدار واقعی Ct را تعیین کنید

برای تعیین مقدار واقعی Ct، ابتدا باید زمان تماس برای ذخیره سازی خاص (به عنوان مثال مخزن، نگهدارنده) تعیین شود. برای انجام این کار، مدت زمان نگهداری در انبار باید محاسبه شود.

همانطور که در بخش ۲،۳،۲ توضیح داده شد، زمان ماند بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{زمان ماند } (\text{min}) = \text{حجم ذخیره}(\text{m}^3) \div \text{نرخ جریان}(\text{m}^3/\text{min})$$

برای اطمینان از اینکه زمان واقعی تماس (و بنابراین، مقدار Ct) بیش از حد برآورد نشده است، استفاده از موارد زیر مهم است:

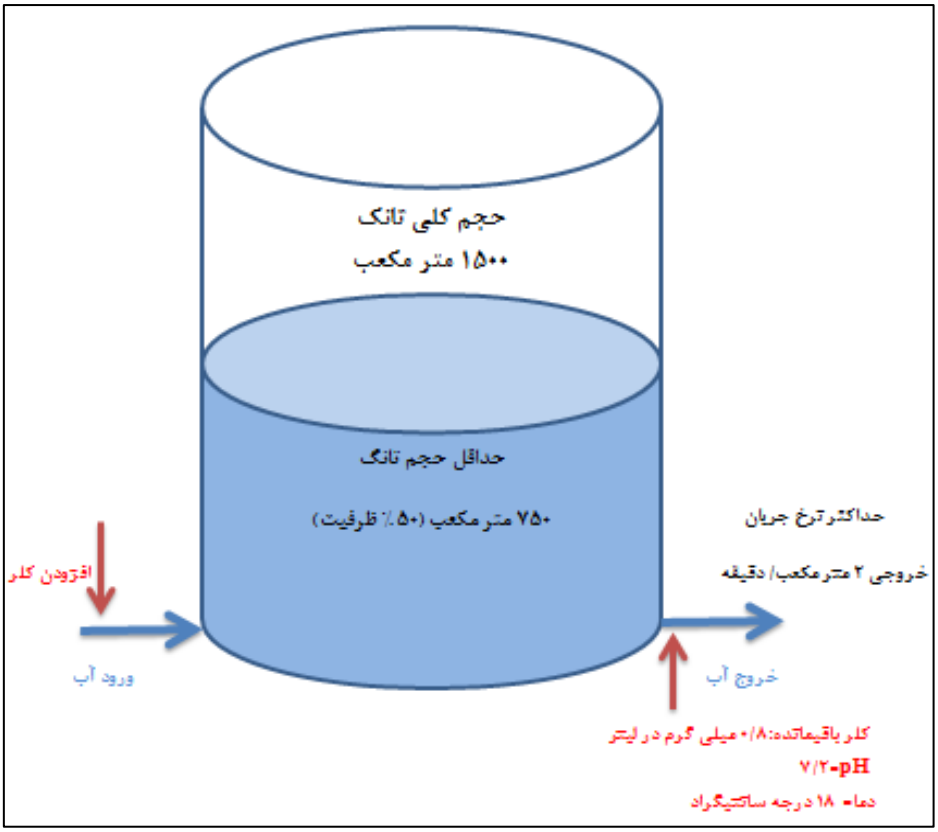
- حداقل حجم مخزن.

- حداکثر نرخ جریان خارج از مخزن.

به عنوان مثال، یک مخزن حداکثر ۱۵۰۰ متر مکعب ظرفیت دارد، اما حداقل سطح عملیاتی آن ۵۰ درصد ظرفیت است (یعنی ۷۵۰ متر مکعب). اگر حداکثر نرخ خروجی ۲ متر مکعب در دقیقه باشد (شکل TB6)، بنابراین با استفاده از معادله ۲، مدت زمان ماند ممکن است به شرح زیر محاسبه شود:

$$\text{زمان ماند}\,(\text{min}) = \text{حجم ذخیره}(\text{m}^3) \div \text{نرخ جریان}(\text{m}^3/\text{min})$$
$$= ۷۵۰\ (\text{m}^3) \div ۲(\text{m}^3/\text{min}) = ۳۷۵\text{min}$$

شکل TB 6. پارامترهای مخزن نمونه برای محاسبه زمان تماس



هنگام اندازه‌گیری غلظت کلر باقی‌مانده برای محاسبه مقدار Ct، اندازه‌گیری آن پس از دوره نگهداری (به عنوان مثال در خروجی انبار؛ شکل TB 6) مهم است، زیرا این حداقل غلظت کلر باقی‌مانده پس از برآورده شدن کلر مورد نیاز است و گندزدایی انجام شده است.

برای تعیین دقیق مقدار Ct، همچنین در نظر گرفتن پتانسیل اتصال کوتاه در انبار با اهمیت است، یعنی جریان آب ترجیحی در داخل انبار در نتیجه اختلاط ناقص. وجود اتصال کوتاه در یک انبار ممکن است به این معنی باشد که تمام آب زمان نگهداری یکسانی ندارد (یعنی مقداری از آب با سرعت بیشتری از مخزن عبور می‌کند، در حالی که مقداری از آب به آرامی از مخزن عبور می‌کند). برای بهبود اختلاط در انبار، و کاهش پتانسیل اتصال کوتاه، معمولاً مانع های مخصوصی در طراحی ذخیره‌سازی در نظر گرفته می‌شوند. برای محاسبه اتصال کوتاه در یک انباره، یک عدد پراکندگی باید در محاسبات زمان تماس در نظر گرفته شود (جدول TB 1). عدد پراکندگی از ۰ (یعنی بدون مانع) تا ۱ (یعنی کامل) متغیر است[۳۲].

جدول TB 1. عدد پراکندگی برای محاسبه زمان ماند. برای توضیح بیشتر در مورد اصطلاحات استفاده شده در این جدول، در کنار نمایش‌های گرافیکی شرایط مختلف مانع، لطفاً به انتشار پروفایل و معیار گندزدایی (اقتباس شده [۲۸]) مراجعه کنید.

[32] United States Environmental Protection Agency (2003). Disinfection profiling and benchmarking (Appendix G)

شرایط مانع	توصیف	عدد پراکندگی
بدون مانع (جریان مختلط)	هیچ، حوضچه اختلاط، نسبت طول به عرض بسیار کم، سرعت جریان ورودی و خروجی بالا	۰/۱
ضعیف	ورودی و خروجی بدون مانع تک یا چندگانه، بدون مانع بین حوضچه ای	۰/۳
متوسط	ورودی یا خروجی مانع دار با تعدادی مانع داخل حوضچه	۰/۵
خوب	مانع ورودی منفذ دار، مانع‌های منفذ دار داخل حوضچه‌ای، سرریز خروجی منفذ دار	۰/۷
عالی	نسبت طول به عرض بسیار بالا (جریان خط لوله)، ورودی، خروجی و مانع های داخل حوضچه ای منفذ دار	۱/۰

برای این مثال، مخزن با عدد پراکندگی ۰/۳ (به عنوان مثال وضعیت مانع ضعیف) رتبه بندی شده است. برای در نظر گرفتن این موضوع در محاسبه زمان ماند، از فرمول زیر استفاده کنید:

$$\text{زمان ماند } (\text{min}) = \text{حجم ذخیره } (\text{m}^3) \div \text{حداکثر نرخ جریان } (\text{m}^3/\text{min}) \times \text{عدد پراکندگی}$$

$$= [۷۵۰(\text{m}^3) \div ۲\ (\text{m}^3/\text{min})] \times ۰/۳ = ۱۱۳\ \text{min}$$

با استفاده از اطلاعات فوق، مقدار واقعی Ct ممکن است به صورت زیر محاسبه شود:

$$\text{Ct } (\text{min.mg/L}) = \text{کلر مانده باقی } (\text{mg/l}) \times \text{یا تماس } \left(\text{ماند}\right) \text{ زمان } (\text{min})$$

$$= \left[۰/۸ \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times \left(۱۱۳\ \text{min}\right)\right] = ۹۰\ \text{min.mg/l}$$

مرحله ۳) مقدار واقعی Ct را با مقدار Ct مورد نیاز مقایسه کنید

از بالا، موارد زیر مشخص است:

مقدار Ct مورد نیاز (مرحله ۱) = ۸۸ min.mg/L

مقدار واقعی Ct (مرحله ۲) = ۹۰ min.mg/L

بنابراین، در این مثال، مقدار Ct مورد نیاز برای این شرایط خاص در عمل به دست می‌آید.

برای شرایطی که حداقل مقدار Ct مورد نیاز در مخزن تصفیه خانه آب به دست نمی‌آید، در نظر گرفتن زمان نگهداری و غلظت کلر باقی مانده در خط لوله اصلی تامین آب نیز ممکن است در محاسبه در نظر گرفته شود (یعنی زمان نگهداری در لوله بین تصفیه خانه و قبل از اولین مصرف کننده)[۳۳].

[33] برای محاسبه زمان ماندن در لوله قبل از اولین مصرف کننده، ابتدا باید حجم لوله را با استفاده ازفرمول زیر محاسبه کرد
حجم لوله=شعاع(متر) ×طول لوله تا اولین مصرف کننده(متر)×۳/۱۴

اگر مقدار Ct مورد نیاز هنوز به دست نیامده است، اقدامات اصلاحی لازم است تا اطمینان حاصل شود که گندزدایی موثر اتفاق می‌افتد. اقدام مورد نیاز به موقعیت خاص بستگی دارد، اما ممکن است شامل موارد زیر باشد:

اقدامات کوتاه مدت

بهینه سازی (یعنی افزایش) دز کلر برای افزایش مقدار واقعی Ct (حصول اطمینان از اینکه حداکثر مقادیر رهنمودی و ملاحظات زیبایی شناختی برای کلر در نظر گرفته می شود).

کاهش نرخ جریان تصفیه خانه برای افزایش زمان ماند (و در نتیجه، مقدار Ct)؛

بهینه سازی (یعنی کاهش) pH آب برای کاهش مقدار Ct مورد نیاز (اطمینان از حفظ pH آب < 6/5 و توجه به هرگونه تأثیر کیفیت آب پایین دست مرتبط با pH پایین تر [به عنوان مثال پتانسیل خوردگی]).

اقدامات طولانی مدت

- بهبود شرایط اختلاط/مانع در مخزن.
- فراهم کردن ظرفیت ذخیره سازی اضافی (به عنوان مثال برای افزایش زمان ماند).

جریان خط لوله دارای عدد پراکندگی ۱ است (جدول TB 1) بنابراین نیازی به بررسی بیشتر عدد پراکندگی نیست. سپس می‌توان زمان ماند را همانطور که در مرحله ۲ توضیح داد، تعیین کرد و حجم بخش لوله بین تصفیه‌خانه آب و اولین مصرف‌کننده را بر میزان جریان تقسیم کرد.

واژه نامه اصطلاحات

زیبایی شناختی: (با توجه به کیفیت آب آشامیدنی): به طعم، بو یا ظاهر آب مربوط می‌شود.

جریان برگشتی: جریان غیر عمدی آب آلوده در جهت معکوس جریان عادی آب آشامیدنی.

مانع‌ها: دستگاه‌هایی که در یک انبار آب نصب می‌شوند تا بر جریان آب در آن سیستم تأثیر بگذارند تا اختلاط را بهبود بخشد و زمان ماند را افزایش دهد.

بیوفیلم: نوعی لجن میکروبی که از طریق رشد متراکم جوامع میکروبی در یک ماتریس پیچیده ایجاد می شود.

کلرزنی: فرآیندی که در آن کلر به عنوان یک گندزدا در آب آشامیدنی استفاده می‌شود که به آن گندزدایی کلر نیز گفته می شود.

تجزیه کلر: کاهش غلظت کلر هنگام عبور آب از سیستم تامین آب به دلیل واکنش بین کلر و مواد آلی و/یا معدنی.

کلر مورد نیاز: میزان واکنش بین کلر و مواد آلی و/یا معدنی موجود در آبی که کلر مصرف می‌کند و منجر به کاهش غلظت کلر می‌شود.

نرخ دز کلر: مقدار (یا غلظت) کلر اضافه شده به آب آشامیدنی در یک دوره زمانی ثابت برای دستیابی به غلظت کلر مورد نیاز.

دز کلر: غلظت کلر اضافه شده به آب آشامیدنی. معمولاً بر حسب میلی گرم در لیتر (mg/L) بیان می شود.

ماده واکنش دهنده کلر: هر ماده آلی و معدنی که با کلر واکنش داده و آن را مصرف می کند.

کلر: یک گندزدای شیمیایی.

کلر ترکیبی: غلظت کلر متصل به ترکیبات نیتروژن (ظرفیت گندزدایی محدودی را نشان می دهد).

مخزن تماس: مخزن طراحی شده برای فراهم کردن زمان ماند کافی برای گندزدایی موثر کلر.

زمان تماس: زمان تماس بین کلر و آب برای انجام گندزدایی

اقدامات کنترلی: اقداماتی که در یک سیستم تامین آب برای پیشگیری یا حذف خطرات بالقوه ایمنی آب یا کاهش آن تا حد قابل قبولی انجام می شود.

اقدامات اصلاحی: اقدام به موقعی که ممکن است برای بازگرداندن عملیات موثر به یک اقدام کنترلی پس از تجاوز از حد بحرانی انجام شود.

حد بحرانی: نقطه ای که در آن یک اقدام کنترلی دیگر به طور موثر کار نمی‌کند و خطر بالقوه کیفیت آب وجود دارد.

اتصال متقاطع: اتصال ناخواسته بین لوله های آب آشامیدنی و لوله های آب غیر آشامیدنی (مانند لوله های فاضلاب یا آب بازچرخش شده).

کیست: مرحله زندگی تک یاخته‌های خاصی (مانند کریپتوسپوریدیوم) که با نوعی پوسته بادوام برای بقای محیطی خارج از میزبان مشخص می‌شود.

گوشه‌های راکد: بخشی از شبکه توزیع آب که جریان کم یا بدون جریان دارد.

زمان ماند: مدت زمانی که طول می کشد تا آب از یک سیستم با سرعت جریان معین عبور کند.

گندزدا: ماده شیمیایی است که برای گندزدایی استفاده می شود.

گندزدایی: فرآیندهای شیمیایی، فیزیکی یا رادیولوژیکی که میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برند یا غیرفعال می‌کنند.

سیستم توزیع: شبکه‌ای از لوله ها (و در برخی موارد، انبار آب تصفیه شده میانی مانند مخازن یا مخازن) که برای رساندن آب تصفیه شده از تاسیسات تصفیه آب به نقطه تحویل برای مصرف کننده استفاده می شود.

آب کلر زنی شده: آبی که کلر زنی شده است.

پمپ کار: پمپی که معمولاً در حال استفاده است.

سرعت جریان عبوری (پمپ‌های تزریق کلر متناسب باجریان عبوری): پمپ هایی هستندکه به طور خودکار میزان دز کلر را تنظیم می کنند تا با جریان آب مطابقت داشته باشد.

نمونه برداری لحظه‌ای: شکلی از نمونه برداری که در آن یک نمونه منفرد و مجزا برای آزمایش گرفته می شود.

اتصالات غیرمجاز: به لوله‌های تامین آب آشامیدنی غیر مجاز گفته می شود. اتصالات غیر مجاز اغلب منابع نشتی هستند که ممکن است باعث ایجاد جریان برگشتی یا متقاطع به دلیل کیفیت پایین کار یا عدم درک خطرات لوله کشی شود.

نقطه تزریق: نقطه ای که در آن کلر به آب آشامیدنی اضافه می شود.

مواد معدنی: هر ماده ای که از ضایعات و بقایای موجودات به دست نیامده باشد مانند فلزات یا مواد معدنی.

پمپ‌های دستی تزریق کلر: پمپ هایی که روی دبی ثابت کارخانه تنظیم می‌شوند و به طور خودکار دز کلر را برای مطابقت با تغییرات دبی تنظیم نمی‌کنند.

پمپ اندازه‌گیری: پمپ‌های تزریقی که حجم‌های قابل تنظیم مایع کلر را در یک دوره زمانی مشخص تحویل می‌دهند.

میکروارگانیسم ها: موجودات میکروسکوپی که در بیشتر محیط‌های روی زمین از جمله آب یافت می‌شوند، شامل باکتری‌ها، ویروس ها و تک یاخته ها هستند.

پایش برخط: نوعی از پایش است که در آن نمونه‌ها به‌طور پیوسته گرفته و مورد آزمایش قرار می‌گیرند تا مجموعه‌ای از داده‌های واقعی ارائه کنند.

طرح پایش عملیاتی: سندی که تمام فعالیت های پایش عملیاتی، محدودیت های حیاتی و اقدامات اصلاحی را به تفصیل شرح می دهد.

مواد آلی: موادی که از ضایعات و بقایای موجودات زنده (مانند گیاهان و حیوانات) به دست می‌آیند.

دز بیش از حد (با اشاره به دز کلر): اضافه کردن کلر بیش از حد

پاتوژن: میکروارگانیسمی که ممکن است باعث نا خوشی یا بیماری شود.

pH: واحدهای مورد استفاده برای اندازه گیری اسیدیته یا قلیایی بودن آب. مقیاس pH از pH 0 تا pH ۱۴ است، با pH ۷ خنثی، pH< ۷ اسیدی و pH> ۷ قلیایی (یا بازی) است.

پیش کلرزنی: مرحله پیش تصفیه که در آن کلر قبل از تصفیه آب اضافه می شود. به عنوان مثال، ممکن است برای کمک به حذف مواد معدنی مانند آهن و منگنز استفاده شود.

کلرزنی اولیه: افزودن کلر برای گندزدایی آب آشامیدنی. برای کلرزنی اولیه، کلر به طور کلی بلافاصله پس از تصفیه آب (به عنوان مثال پس از زلال سازی و/یا فیلتراسیون) اضافه می شود.

معرف: یک ماده شیمیایی است که در آزمایش کیفیت آب استفاده می‌شود.

کلر باقی مانده: غلظت کلر باقی مانده که پس از برآورده شدن کلر مورد نیاز برای گندزدایی باقی مانده، آزاد است.

اصلاح باقی مانده: جایی که دستگاه به طور مداوم غلظت کلر در آب را اندازه گیری می‌کند و میزان دز کلر را بر اساس آن تنظیم می کند.

کلرزنی ثانویه: افزودن کلر برای افزایش غلظت کلر باقی مانده در سطوح قابل قبول. به طور کلی در سیستم توزیع رخ می‌دهد.

اتصال کوتاه: جریان آب ترجیحی در یک سیستم در نتیجه اختلاط ناقص.

لجن: مواد بی اثر حل نشده باقی مانده پس از مخلوط کردن پودر کلر با آب برای تهیه محلول مایع کلر.

منبع آب: آب خام (تصفیه نشده) برای تامین آب آشامیدنی. شامل آب های زیرزمینی، آب باران و انواع مختلف منابع آب سطحی، از جمله رودخانه ها، دریاچه ها، برکه ها، نهرها، کانال های آبیاری، آب دریا یا مخازن ساخته شده است.

اسپور: مرحله زندگی میکروارگانیسم‌های خاص (مانند باکتری) که با نوعی پوسته بادوام برای بقای محیطی خارج از میزبان مشخص می‌شود.

پمپ آماده به کار: یک پمپ پشتیبان، زمانی که پمپ کار خراب شود مورد نیاز است.

کلرکل: غلظت کلر باقی مانده پس از برآورده شدن کلر مورد نیاز و انجام گندزدایی. از کلر باقی‌مانده و ترکیبی تشکیل شده است

کدورت: ظاهر مات (یا کدر) آب ناشی از وجود ذرات آلی و معدنی است.

تزریق کمتر از حد مطلوب: اضافه کردن مقدار بسیار کمی کلر برای گندزدایی موثر.

نور فرابنفش: طول موج خاصی از نور است که ظرفیت کشتن یا غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌ها را دارد.

سلول رویشی: سلولی که به طور فعال در حال رشد است و اسپور تولید نمی‌کند.

زمان ماند آب: اندازه گیری مدت زمانی که طول می‌کشد تا آب از تاسیسات تصفیه آب به نقطه تحویل در شبکه توزیع جریان یابد. سن آب با مسائل مربوط به کیفیت آب مانند طعم/بو و تجزیه کلر مرتبط است.

برنامه ایمنی آب: چارچوبی برای ارزیابی و مدیریت ریسک کیفیت آب در تمام مراحل یک سیستم تامین آب، از حوضه آبریز تا مصرف کننده

سیستم تامین آب (آبرسانی): به تمام مراحل عمده در تامین آب آشامیدنی، از جمله منبع (یا حوضه آبریز)، برداشت (و ذخیره سازی) آب خام، تصفیه، توزیع (از جمله ذخیره میانی آب) و اعمال خانگی اشاره دارد.

بیماری منتقله از طریق آب: بیماری که از طریق آب آلوده منتقل می‌شود (مانند اسهال).

یادداشت

پژوهشکده محیط زیست
دانشگاه علوم پزشکی تهران

سازمان جهانی بهداشت
دفترمنطقه ای جنوب شرقی آسیا

مشارکت سازمان جهانی بهداشت/ آژانس توسعه بین المللی استرالیا (DFAT) برای کیفیت و سلامت آب، بیش از ده سال است که برنامه‌های ایمنی آب (WSPs) را در کشورهای منطقه جنوب شرق آسیا (SEARO) ترویج و ارتقا داده است. برنامه های ایمنی آب به گونه ای طراحی شده اند که از طریق تضمین کیفیت آب بهبود یافته در سراسر یک سیستم تامین آب، برای همه استفاده کنندگان آب مفید باشند و این برنامه ها به عنوان راهی برای بهبود سلامت و افزایش پایداری سیستم در نظر گرفته می‌شوند.

عملیات کلرزنی مناسب، یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی اجرای پایدار برنامه‌های ایمنی آب و تحویل آب سالم ، به ویژه در سیستم‌های کوچک‌تر است.

به منظور بهبود کلرزنی و ارائه یک برنامه آموزشی مناسب و تدوین و اجرای روش‌های عملیاتی استاندارد، سازمان بهداشت جهانی طی قراردادی یک کارشناس تصفیه آب را به کمک دو کشور Bhutan و Timor Leste شرقی فرستاد. هر دوکشور منابع آب شهری کوچکی دارند که توسط نهادهای کوچک با ظرفیت نسبتا محدود مدیریت می‌شوند و بنابراین نمایندگر بسیاری از تامین کنندگان آب در سراسر منطقه هستند که از این برنامه آموزشی و روش‌های عملیاتی استاندارد به خوبی استقبال کردند. این روش‌های عملیات استاندارد در عین سادگی و وضوح، جامع هم هستند و بنابراین هم اکنون در پاسخ به تقاضای رو به رشد برای حمایت از مواد آموزشی و رهنمودها برای این حوزه فنی، این دستورالعمل‌ها منتشر می‌شوند.

9 786229 493427

انتشارات دریچه نو