

## 10- خنک کردن و تصفیه آب

اهمیت گندزدایی آب را نمیتوان دستکم گرفت، به همین دلیل میتوان گفت مهمترین اندازهگیریهای بهداشت عمومی در قرن گذشته در رابطه با آب بوده است (مثالهای فصلهای 1 و 3 را ببینید). تقریباً همه انواع میکروارگانیسمها را در آب میتوان یافت، و آب در اکثر مواقع محیطی جهت انتقال این موجودات است. تصفیه آب<sup>1</sup>، آن را برای مصرف انسان ایمن میسازد بنابراین، توجه به تصفیه آب بسیار مهم است و امروزه، استانداردهایی برای آب آشامیدنی وضع و تعیین شدهاند

تمام آبهایی که در تماس با مواد غذایی میباشند باید ایمن و مطابق با استانداردهای میکروارگانیسمی آب آشامیدنی باشند. در صنایع کنسروسازی، میکروب شناسی آب استفاده شده برای خنک کردن قوطی ها یا سایر ظروف بستهبندی اهمیت دارد (Warne, 1988; Downing, 1996). آب خنک کننده آلوده میتواند موجب آلودگی فرآوردههای درون ظروف شود. این قوطیها (یا سایر ظروف) زمانی که هنوز داغ هستند و بخشهای دربندی نرم در تماس با آب قرار میگیرند. به محض این که فلز قوطی شروع به سرد شدن میکند داخل آن خلاء ایجاد میشود که میتواند منجر به مکش مقدار اندکی از آب به درون قوطی شود. اگر آب خنک کننده آلوده باشد، ظروف در زمانی که آسیب پذیر هستند در معرض آلوده شدن با میکروارگانیسمها قرار می - گیرند. باکتری ها و یا سایر میکروارگانیسمها میتوانند وارد ظروف شوند و منجر به فساد شوند. اگر میکروارگانیسمهایی مانند *شرعشیا کلی* و سایر میکروارگانیسمهای بیماریزای رودهای و باکتریهای مزوفیل تشکیل دهنده اسپور در آب وجود داشته باشند، فرآورده را برای مصرف نامناسب میسازند. با آب خنک کننده آلوده، در اغلب موارد، فساد ناشی از نشت قوطی را حتی با دربندی مضاعف دارای کیفیت خوب میتوان مشاهده کرد.

روشهای بسیاری برای ایمنسازی آب هایی که در تماس با ماده غذایی قرار میگیرند و در صنایع کنسروسازی استفاده میشوند وجود دارد. از جمله:

1- کلرزنی؛

2- استفاده از برم<sup>1</sup> همراه با کلر؛

3- استفاده از گاز ازن؛

4- استفاده از نور فرابنفش<sup>2</sup>؛

5- استفاده از فیلتراسیون غشایی<sup>3</sup>.

### 10-1- کلرزنی

در برنامه‌های پاکسازی آب، از کلر به عنوان ماده گندزدا و عامل اکسید کننده استفاده میشود. از کلر به طور گسترده‌ای به عنوان یک ماده ضد عفونی کننده در استخرهای شنا و سیستم‌های بازیابی آب خنک کننده استفاده میشود. برنامه‌های پاکسازی شاخص عبارتند از:

- سیستم‌های توزیع آب آشامیدنی؛
- گردش آب در برج خنک کننده؛
- آب استخر شنا؛
- فرآوری غذا و آشامیدنی‌ها.

هنگامی که کلر در آب پراکنده میشود، به سرعت هیدرولیز میشود تا گونه‌های مختلف یونی و مولکولی خود را تشکیل دهد که در شکل‌های مختلفی وجود دارند مانند : عنصر مولکولی کلر ( $\text{Cl}_2$ )، اسید هیپوکلرو<sup>4</sup> ( $\text{HOCl}$ )، یون هیپوکلریت<sup>5</sup> ( $\text{OCl}^-$ )، جانشین شده‌های آمین یا کلروآمین‌ها<sup>1</sup> ( $\text{NH}_{(3-x)}\text{Cl}_x$ ).

---

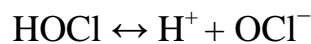
1 - Bromine  
2 - Ultraviolet  
3 - Membrane filtration  
4 - Hypochlorous acid  
5 - Hypochlorite ion

از این بین، گونه غالب بیشتر واکنشهای کلرزنی محیطهای آبی، اسید هیپوکلر و است. اسید هیپوکلر و اسیدی ضعیف است و در اثر آبکافت<sup>۲</sup> یون هیدروژن ( $H^+$ ) و یون هیپوکلریت ( $OCl^-$ ) یونیزه میشود، که غلظت هر یک از این یونها به pH محلول بستگی دارد.

در گندزدایی آب، از انواع ترکیبات کلر دار استفاده میشود مانند: گاز کلر ( $Cl_2$ )، هیپوکلریت کلسیم ( $Ca(OCl)_2$ )، و هیپوکلریت سدیم ( $NaOCl$ ). بنابراین، شکل کلر در محلول آبی ویژگیهای ضد میکروبی آن را تحت تأثیر قرار میدهد. هنگامی که گاز کلر یا هیپوکلرورها به آب اضافه میشوند، دستخوش واکنشهای زیر میشوند:

- $Cl_2 (g) + H_2O \leftrightarrow HOCl + H^+ + Cl^-$
- $NaOCl + H_2O \leftrightarrow HOCl + NaOH$
- $Ca(OCl)_2 + H_2O \leftrightarrow HOCl + Ca(OH)_2$

اسید هیپوکلرو، که اسیدی ضعیف است، تا حدی متناسب با pH محلول تفکیک میشود:



در  $pH = 7/5$ ، غلظتهای اسید هیپوکلرو ( $HOCl$ ) و یون هیپوکلریت ( $OCl^-$ ) تقریباً با هم برابر هستند. در pHهای بالاتر از 7/5 یون هیپوکلریت ( $OCl^-$ ) غالب است و در pHهای پایینتر از 7/5 اسید هیپوکلرو ( $HOCl$ ) در بالاترین غلظت خود است. بنابراین، غلظت نسبی اسید هیپوکلرو به pH محلول وابسته است.

همچنین، نسبت غلظت اسید هیپوکلرو به یون هیپوکلریت با دما بسیار متغیر است. هنگامی که دما افزایش مییابد غلظت نسبی اسید هیپوکلرو کاهش مییابد.

با افزایش pH محلول، اثر ضد میکروبی و اثرات کشندگی اسپور محلولهای کلرزنی شده کاهش مییابد. اثر کشندگی باکتریایی اسید هیپوکلرو تقریباً 80 تا 100 درصد بیشتر از یون هیپوکلریت است. واضح است که فعالیت محلولهای کلر دار بستگی زیادی به pH دارد، به طوری که در pHهای پایینتر فعالیت بیشتری دارند.

10-1-1- ظرفیت جذب کلر<sup>۱</sup> و کلر باقیمانده<sup>۲</sup>

هنگامی که یک یا چند فرم از کلر به آب اضافه می‌شوند، مقدار کلر باقیمانده در آب کمتر از مقدار اولیه اضافه شده است. زیرا آب دارای ظرفیت جذب کلر ویژه ای است. ظرفیت جذب کلر آب عبارت است از: غلظت کلر اضافه شده منهای کلر باقیمانده (کلر موجود در محلول پس از یک دوره تماس معین). کلر باقیمانده ممکن است به دو شکل باشد: کلر ترکیب شده<sup>۳</sup> و کلر آزاد<sup>۴</sup>. اصطلاح کلر تام<sup>۵</sup> اشاره به مجموع غلظت‌های این دو شکل از کلر دارد:

$$\text{کلر تام} = \text{کلر ترکیب شده} + \text{کلر آزاد.}$$

اسید هیپوکلرو، یون هیپوکلریت و گاز کلر (کلر مولکولی) مجموعاً اشاره به کلر آزاد دارد.

آمونیاک ( $\text{NH}_3$ ) یا گونه‌های آلی نیتروژن (اوره، پروتئینها، و غیره) ممکن است در آب وجود داشته باشند و با کلر آزاد برای تولید منوکلروآمینها<sup>۶</sup> و در درجه بعد، دیکلروآمینها<sup>۷</sup> و تریکلروآمینها<sup>۸</sup> واکنش دهند. این ترکیبات کلروآمین، و همچنین سایر آمین‌های آلی کلر، نشان دهنده گونه‌های کلر ترکیبی هستند.

توانایی گندزدایی کلر ترکیب شده حدود یک درصد کلر آزاد است. همچنین، گونه‌های کلر ترکیب شده ممکن است در آب آشامیدنی مشکلات بو و طعم ایجاد کنند، که به عنوان ترکیبات مشکوک به سرطان زانی طبقه‌بندی شده‌اند

## 10-1-2- موارد استفاده از کلر

در pH نرمال آب سرد کننده، کلر آزاد موجود<sup>۹</sup> نسبت به کلر باقیمانده ترکیب شده اثرات ضد باکتریایی بیشتری

- 
- 1 - Chlorine demand
  - 2 - Residual chlorine
  - 3 - Combined chlorine
  - 4 - Free chlorine
  - 5 - Total chlorine
  - 6 - Monochloramine
  - 7 - Dichloramine
  - 8 - Trichloramine
  - 9 - Free available chlorine

بیشتری دارد. برای آب سرد کننده معمول است که کلر آزاد باقیمانده پس از یک مدت زمان تماس بیست دقیقه‌ای قابل تشخیص باقی بماند. کلرزنی بیش از حد آب خنک کننده کارخانه‌های کنسروسازی بیفایده است و باید از آن نیز اجتناب نمود، زیرا باعث خوردگی فلزات استفاده شده در ساخت دستگاهها و تجهیزات فرآیند حرارتی میشود.

همان طوری که در pH پایین اثر کشندگی کلر افزایش مییابد (جایی که اسید هیپوکلرو گونه غالب است)، اسیدیته آب خنک کننده باید مورد توجه قرار گیرد، اما با توجه به این که آب خنک کننده نرمال کارخانه‌های کنسروسازی در محدوده pH 6/5 تا 8/5 قرار دارد، در مورد چگونگی کاهش pH آب محدودیت-های عملی وجود دارد.

درجه حرارت آب نیز باید مورد توجه قرار گیرد، زیرا در دماهای بالا، حلالیت کلر کاهش مییابد و در نتیجه گاز کلر خارج میشود. با بالا رفتن مقدار مواد آلی آب، همانند ناخالصیهای معدنی، ظرفیت جذب کلر آب<sup>۱</sup> افزایش مییابد که بر باکتری‌های آلوده کننده نیز اثر حفاظتی دارند.

تحت شرایط تولید بهینه، به منظور اطمینان از حفظ تعداد کل هوازیها<sup>۲</sup> به کمتر از صد ارگانیسم در هر میلیلیتر از آب خنک کننده، کافی است تا 4 - 2 ppm از کلر آزاد باقیمانده پس از زمان تماس بیست دقیقه‌ای در آب باقی بماند.

در پایان چرخه خنک کردن، کلر آزاد موجود<sup>۳</sup> هنوز هم باید در آب خنک کننده قابل تشخیص باشد. قریب به یقین، این مرحله یکی از نقاط بحرانی در کارخانه کنسروسازی است. برای اهداف کنترل کیفی (و برای سیستم HACCP)، سوابق مربوط به مقادیر کلر آزاد موجود باید حفظ و نگهداری شوند تا مناسب بودن روشهای کلرزنی آب خنک کننده تأیید گردد.

### 3-1-10- دیاکسید کلر

1 - Chlorine demand

2 - Total aerobic counts

3 - Free available chlorine

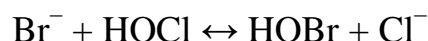
دیاکسید کلر ( $\text{ClO}_2$ ) و گاز کلر از جنبه‌های بسیاری به هم شباهت دارند، از جمله این که هر دو عوامل اکسید کننده قوی هستند. قدرت اکسیدکنندگی دیاکسید کلر دو و نیم برابر گاز کلر است و بنابراین، دیاکسید کلر اثر زیستکشندگی<sup>1</sup> دارد. اما هنگامی که مقدار مواد آلی آب بالا باشد، در غلظت‌های برابر اثر زیست کشندگی آن کمتر از گاز کلر است.

دیاکسید کلر در محلول‌های آبی آبکافت نمیشود و بنابراین، به شیوه اسید هیپوکلرو و اسید هیپوبرمو دستخوش تفکیک نمیشود. دیاکسید کلر ترکیب زیست کشنده فعال است.

## 2-10- برم

برم جزء اصلی مشترک آب‌های طبیعی با غلظتهایی در محدوده جزئی از قسمت در میلیون<sup>2</sup> است. همچنین، درون آب از خود ویژگی‌های زیستکشندگی نشان میدهد، و بنابراین، به عنوان ماده ضد عفونی کننده آب، به خصوص آب‌های خنک کننده کارخانه‌های کنسروسازی استفاده میشود. آبکافت<sup>3</sup> برم در آب منجر به تشکیل اسید هیپوبرمو<sup>4</sup> میشود.

برم معمولاً به فرم برمید سدیم<sup>5</sup> به آب اضافه میشود. این ترکیب در محلول آبی به یونهای سدیم<sup>6</sup> و برمید<sup>7</sup> تجزیه میشود. به هر حال، هنگامی که گاز کلر یا اسید هیپوکلرو به آب حاوی یون برمید اضافه می شوند طبق واکنش زیر به سرعت اسید هیپوبرمو تشکیل میشود:



همچنین، اسید هیپوبرمو یک عامل الکتروندوست<sup>8</sup> است اما تمایل واکنشی بیشتری نسبت به اسید هیپوکلرو دارد. بنابراین، حتی نسبت به اسید هیپوکلرو اثر زیستکشندگی بیشتری دارد. تحت شرایط قلیایی و

---

1 - Biocide  
 2 - Part per million (ppm)  
 3 - Hydrolysis  
 4 - Hypobromous acid (HOBr)  
 5 - Sodium bromide (NaBr)  
 6 - Na+  
 7 - Br-  
 8 - Electrophilic agent

درست همانند اسید هیپوکلرو که یون هیپوکلریت تشکیل میدهد، اسید هیپوبرومو نیز به یون هیپوبرومیت تجزیه میشود. اما، تجزیه شدن و تشکیل یونهای هیپوبرومیت و هیدروژن<sup>۲</sup> در pHهای بالاتر اتفاق میافتد. بنابراین، برم در مقایسه با کلر در pHهای بالاتر هنوز هم به عنوان یک زیستکشنده موثرتر است.

بخش عمدهای از اسید هیپوبرومو که واکنش نشان میدهد به یون احیاء برومید تبدیل خواهد شد که بوسیله کلر باقیمانده در آب مجدداً اکسید و به اسید هیپوبرومو تبدیل میشود. به طور کلی نتیجه این واکنش آن است که، کلر آبی در حضور یون برمید واکنش افزایشی را به نمایش میگذارد.

در اروپا، بروم کردن آب خنک کننده کارخانهای کنسروسازی رواج یافته است و به عنوان زیست - کشنده به کلرزی ترجیح داده میشود.

### 3-10- ازن

ازن همانند اغلب گازها، در دمای محیط گازی شکل و نسبتاً در آب محلول آب است، و حلالیت آن در آب با کاهش دما افزایش مییابد. هنگامی که مولکول های اکسیژن شکسته شوند (بوسیله آذرخش، یا اشعه فرابنفش انرژی بالا) به مشتقات اکسیژن تبدیل و مولکول اکسیژن به مشتقات اکسیژن حاصله ملحق و ازن ( $O_3$ ) تشکیل میشود. ازن ویژگی منحصر به فرد تجزیه خودبخودی<sup>۳</sup> دارد که نتیجه آن تشکیل تعداد بیشماری از گونههای بنیان آزاد<sup>۴</sup> است که مهمترین آنها بنیان آزاد هیدروکسیل ( $OH^\bullet$ )<sup>۵</sup> است. هنگامی که pH محلولهای آبی حاوی حاوی مولکول ازن افزایش مییابد سرعت تجزیه ازن و تولید بنیانهای آزاد هیدروکسیل نیز افزایش مییابد، به طوری که، در  $pH = 10$  ازن فوراً تجزیه میشود. اگرچه بنیانهای آزاد حاصله اکسید کنندههای قوی هستند اما نیمهعمر<sup>۶</sup> آنها بسیار کوتاه است (هزارم ثانیه<sup>۷</sup>) و به همین دلیل غلظت قابل توجهی از آنها ایجاد نمی شود. این این بدان معنا است که، بنیانهای آزاد هیدروکسیل اثر قابل توجهی بر میکروارگانیسمها ندارند. بنابراین، وجود

1 -  $OBr^-$

2 -  $H^+$

3 - Auto decomposition

4 - Free radical

5 - Hydroxyl free radical

6 - Half-life

7 - Milliseconds

ازن مولکولی برای اطمینان از اصول بهداشت میکروبی<sup>۱</sup> ضروری است. به این ترتیب، ازن تقریباً هیچ اثر جانبی ندارد.

نیمه عمر مولکول ازن نسبتاً زیاد است (حدود دوازده ساعت)، اما در محلولهای آبی نیمه عمر آن تقریباً به طور کامل بستگی به ظرفیت جذب ازن<sup>۲</sup> مواد موجود در آب دارد. هر چه آب آلوده تر باشد ظرفیت جذب ازن مواد موجود در آن بیشتر و در نتیجه نیمه عمر ازن کوتاه تر است (و بر عکس). بنابراین، در سیستمهای بازیابی و استفاده مجدد از آب خنک کننده صنایع کنسروسازی، بکارگیری ازن اغلب مناسب نمیباشد زیرا این آب ممکن است حاوی حجم زیادی از پسماند آلی<sup>۳</sup> و سایر ضایعات ریز<sup>۴</sup> باشد.

ازن نسبت به سایر محلولهای زیستکشنده دارای مزیت‌های خاصی است، مانند:

- نسبت به کلر، ضد عفونی کننده قویتر ی برای غیر فعال کردن طیف وسیعی از میکروارگانیسمها است. از طرفی، قویترین عامل اکسید کننده موجود مورد توجه گرفته برای تصفیه آب و فاضلاب<sup>۵</sup> است.
- در نه دهه گذشته، به طور ایمن و موثر برای تصفیه آب استفاده شده است.
- برای تصفیه آب بستهبندی شده<sup>۶</sup> عموماً ایمن شناخته شده<sup>۷</sup> است، زیرا در آب برای مدت طولانی باقی باقی نماند و بنابراین، میتوان آن را بدون هیچ نگرانی به عنوان یک عامل کمک فرایند تا یک افزودنی در نظر گرفت.
- هیچ باقی مانده سمی از خود به جا نمی گذارد. ازن اضافی به سرعت و به دلیل تجزیه خودبخودی در محلول ناپدید میشود.
- برای دستیابی به گندزدایی موثر به غلظت‌های کم آن (0/1-4 ppm) نیاز است (میزان ازن مورد نیاز با توجه به مقدار مواد آلی آب متغیر است).

---

1 - Sanitation

2 - Ozone demanding

3 - Organic waste

4 - Debris

5 - Water and wastewater treatment

6 - Bottled water

7 - Generally recognized as safe



معایب استفاده از ازن عبارتند از:

- در تصفیه آب، ازن گرانتر از کلر یا موارد جایگزین است. هزینه‌های کمتر تولید گاز کلر (نسبت به ازن)، و توانایی کلر برای حفظ غلظت باقیمانده در سیستم‌های توزیع یا بازیابی، به استفاده بیشتر از کلر بجای ازن منجر شده است.
- ازن با کائوچو و ترکیبات مختلف رزین مصنوعی و چسب‌ها واکنش می‌دهد. در سیستم‌های تصفیه آب که از ازن به عنوان ماده ضد عفونی کننده استفاده میشود درزگیرهای استفاده شده باید از جنس تفلون<sup>۱</sup> باشند.

#### 4-10- نور فرابنفش

در کارخانه‌های مختلف تولید مواد غذایی، از نور فرابنفش با موفقیت برای گندزدایی آب استفاده شده است. از نور فرابنفش به عنوان عامل پاستوریزه کننده مایعات زلال و شفاف مانند آب‌های بستهبندی شده استفاده می‌شود. نور فرابنفش از طریق تخریب ماده ژنتیکی سلول (DNA) بر میکروارگانیسمها موثر است. طول موج کوتاه نور فرابنفش به شکل برگشتناپذیر به اسیدهای نوکلئیک<sup>۲</sup> آسیب میرساند، از تولید مثل آنها جلوگیری میکند و باعث غیرفعال شدن میشود.

بر خلاف روشهای شیمیایی، ضد عفونی کردن آب با نور فرابنفش طعم، مزه، بو، pH یا ترکیبات شیمیایی آب را تغییر نمیدهد. استفاده از نور فرابنفش در برنامه‌های تصفیه آب به عنوان روش مناسب جایگزین کلرزنی در آب‌های تمیز مطرح است. یکی از معایب عمده استفاده از نور فرابنفش آن است که، از این روش تنها برای آب زلال و شفاف میتوان استفاده کرد، و هر نوع ماده آلی یا سایر بقایای موجود در آب اثر حفاظتی در برابر نور فرابنفش برای میکروارگانیسمها ایجاد میکنند. بعلاوه، نفوذ نور فرابنفش به درون آب بسیار محدود است.

نور فرابنفش بوسیله شیشه‌های معمولی جذب میشود و بنابراین، طی مرحله پرتودهی، آب باید درون

1 - Teflon

2 - Nucleic acids

لوله‌های گران قیمت از جنس کوارتز جریان یابد.

طول عمر لامپهای نور فرابنفش، که گران هم هستند، کوتاه است. به دلیل این معایب، از این روش برای گندزدایی آبهای خنک کننده کارخانه‌های کنسرسازی استفاده نمیشود.

### 10-5- فیلتراسیون غشایی

فیلتراسیون غشایی از نظر اندازه و هزینه سرمایه گذاری با سیستم ضد عفونی کننده نور فرابنفش مشابه است، و به طور موثری و باکتریها و میکروارگانیسمهای بزرگ را حذف میکند؛ اگرچه ویروسها از غشا عبور می کنند.

اصلیترین مشکلات سیستمهای فیلتراسیون غشایی عبارتند از:

- از آنها فقط برای آبهای تمیز میتوان استفاده کرد، زیرا مواد آلی و سایر بقایا به سرعت باعث انسداد غشاها میشوند.
  - به دلیلی گرفتگی غشا و رشد درونغشایی<sup>۱</sup>، فیلترها دائماً باید تعویض شوند که به طور چشمگیر، باعث افزایش هزینههای جاری میشود. رشد درون غشایی زمانی رخ میدهد که در سمت آلوده، ساختار عظیمی از میکروارگانیسمها وجود دارد و ارگانیسمها در منافذ غشا رشد کرده و به سمت تمیز حرکت میکنند و در نتیجه باعث آلودگی آب عبور کننده از غشا میشوند.
- به دلیل مشکلات بالا، استفاده از فیلتراسیون غشایی برای سیستمهای بازیابی و استفاده مجدد از آب خنک کننده کارخانههای کنسروسازی مناسب نمیشود. هنوز هم تمایل برای یافتن روشهایی جهت حذف میکروارگانیسمهای در فرآوردههای غذایی آبکی<sup>۲</sup>، مانند آب، آب سیب، شیر و آبجو وجود دارد.

منابع:

---

1 - Grow-through  
2 - Water-like

Downing, D.L. (1996) *A Complete Course in Canning and Related Processes*. Book 1, 13th edn. CTI Publications Inc., Timonium, MA.

Warne, D. (1988) *Manual on Fish Canning*. FAO Fisheries Technical Paper – T285. FAO, Rome.