

Lecture 25

DISINFECTION

Course: Water Reuse
 Dr. Alireza Bazargan
info@environ.ir

ضد عفونی کردن

- کاربرد بسیار متنوع در همه سطوح
- به طور کلی، متداول ترین روش های ضد عفونی کردن:
- کلر آزاد
- کلر مرکب
- ازن
- دی اکسید کلر
- UV

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

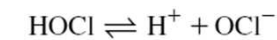
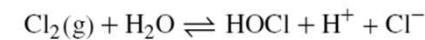
اولیه و ثانویه

- دو نوع ضد عفونی کردن وجود دارد: اولیه و ثانویه
- اولیه: ضد عفونی کردن به هدف از بین بردن (غیرفعال کردن) ویروس ها و میکروارگانیسم ها
- ثانویه: ضد عفونی کردن به هدف تمیز نگه داشتن آب تولیدی در خط لوله انتقال و تانک های نگهداری

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

کلر آزاد

- متداول ترین روش
- ایجاد از طریق افزودن گاز کلر Cl_2 ، هیپوکلوریت سدیم NaOCl یا هیپوکلوریت کلسیم Ca(OCl)_2 یا HTH
- اگر عنصر کلر به آب افزوده شود:



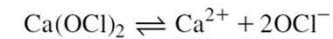
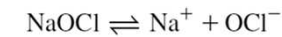
Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

استفاده از گاز کلر

- منبع گاز کلر و محل افزودن آن به آب می بایست در فضای بسته و جدا از بقیه کارخانه باشد
- اتاق کلر می بایست شیشه نشکن، دمای قابل تنظیم دارای تهویه هوای بسیار قوی، سیستم اسکرابر، سنسور کلر و کاملاً بدون منفذ باشد
- به دلیل خطرات و دشواری، بسیاری از کارخانه ها دیگر از گاز کلر استفاده نمی کنند

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

نمک های هیپوکلوریت



- اضافه کردن عنصر کلر pH را کاهش میدهد (کاهش قلیابیت به اندازه 1.4 mg/L as CaCO₃ به ازای هر mg/L عنصر کلر) ولی افزودن نمک های هیپوکلوریت pH را کمی افزایش میدهند.

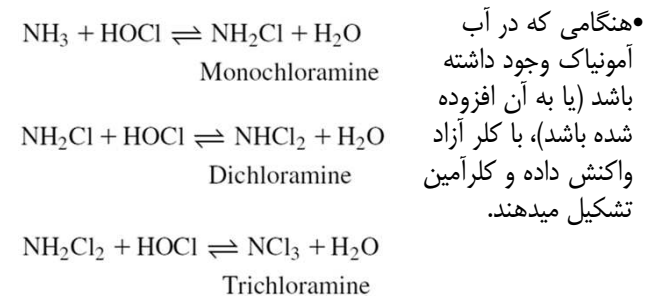
Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

استفاده از هیپوکلوریت سدیم

- به دلیل پیچیدگی سیستم کلر، ممکن است کارخانه هیپوکلوریت سدیم را جایگزین کند ولی کمی گران تر است
- در هنگام نگه داری ماده، اگر غلظت کمتر و محیط قلیایی باشد، پایداری بیشتر خواهد بود
- می توان با استفاده از دستگاه الکترولایزر، هیپوکلوریت سدیم را از آب نمک و یا آب دریا در محل تولید کرد (امن تر، گرانتر به دلیل مصرف برق، ولی مشکل نگهداری ماده و پایداری نداریم)

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

کلرآمین ها (کلر مرکب)



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

Total chlorine

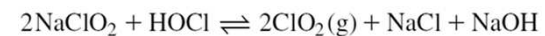
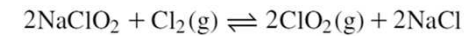
- کلرآمین ها ← کلر مرکب
- گاز کلر، هیپوکلریت های کلر ← کلر آزاد
- کلر مرکب + کلر آزاد ← کلر کل

• طراحی گندزدایی ثانویه باید به گونه ای باشد که در هیچ نقطه از شبکه انتقال و توزیع، میزان کلر آزاد از 0.2mg/L کمتر نشود (در ایران از 0.5mg/L کمتر نشود)

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

دی اکسید کلر

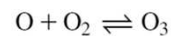
• انبار نمی کنیم زیرا اکسید کننده بسیار قوی است که خطر انفجار نیز دارد. به همین دلیل تقریباً در همه موارد در محل تولید می شود



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

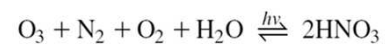
ازن

• با برخورد کردن الکترون با مولکول اکسیژن، اتم اکسیژن ایجاد میشود. اتم اکسیژن با مولکول های اکسیژن ترکیب میشود



• در دستگاه ازن ساز، اگر اکسیژن خالص استفاده شود، حدود 5 الی 8 درصد از حجم گاز خروجی ازن خواهد بود

• امکان ایجاد اسید نیتریک



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

UV

| Range name | Wavelength range (nm) |
|--------------------------|-----------------------|
| Near infrared | 700–1,000 |
| Visible | 400–700 |
| Ultraviolet | |
| UVA | 315–400 |
| UVB | 280–315 |
| UVC | 200–280 |
| Vacuum ultraviolet (VUV) | 100–200 |

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

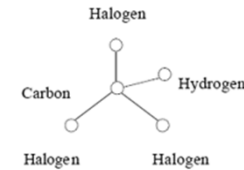
استفاده از UV

- هر چه زمان ماند در دستگاه بیشتر باشد، UV موثرتر است
- مهم ترین عامل کیفیت آب ورودی است
- ذرات معلق و کدورت می تواند برای عوامل بیماری زا مانند سپر عمل کند و یا نور UV را پراکنده کند
- بعضی از ترکیبات آلی و معدنی نیز این خاصیت را دارند. مانند آهن و پرمنگنات که نور UV را به خود جذب می کنند و یا لامپ UV را می پوشانند

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

محصولات جانبی

- ضد عفونی کردن محصولات فرعی دارد
- بعضی از آن ها سرطان زا و سمی هستند



متداول ترین ها:

- Trihalomethanes
- Haloacetic acids
- Chlorite and Bromate

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

مقایسه روش ها

| Condition | Chlorine | Ozone | Chlorine dioxide | Chloramine | Ultraviolet |
|------------------------------------|----------|-------|------------------|------------|-------------|
| Produce THM with TOC | y | s | n | y | n |
| Produce oxidized organics | s | y | s | n | s |
| Produce halogenated organics | y | s | n | y | n |
| Produce inorganic byproducts | n | s | y | n | n |
| Produce BOM | s | y | s | n | n |
| MRDL applies | y | n | y | y | n |
| Lime softening impacts | y | n | n | y | y |
| Turbidity impacts | n | s | n | n | y |
| Meet <i>giardia</i> - <2.0 log | y | y | y | n | y |
| Meet <i>giardia</i> - >2.0 log | n | y | y | n | y |
| Meet <i>crypto</i> - <2.0 log | n | y | y | n | y |
| Meet <i>crypto</i> - >2.0 log | n | y | y ^a | n | y |
| Meet virus - <2.0 log | y | y | y | n | y |
| Meet virus - >2.0 log | y | y | y | n | y |
| Secondary disinfectant | y | n | s | y | n |
| Operator skill (1 = low; 5 = high) | 1 | 5 | 5 | 2 | 3 |
| Applicable to large utilities | y | y | y | y | n |
| Applicable to small utilities | y | y | y | y | y |

y = yes, n = no, s = sometimes

^aCr values to achieve >2.0 log inactivation are very high at common water temperatures.

تجزیه گندزداها

- برای کلر، کلر مرکب، و دی اکسید کلر می توان از معادله واکنش تجزیه درجه اول استفاده نمود. برای هیپوکلوریت ها و ازن معمولاً تجزیه درجه دوم محسوب می شود

$$\frac{dC}{dt} = -k_d C$$

C = disinfectant concentration, mg/L

k_d = decay rate constant, time⁻¹

t = time, complementary units to k_d

$$\frac{dC}{dt} = -k_{2d} C^2$$

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

مثال

با توجه به جدول زیر، ضریب تجزیه ازن را محاسبه کنید
pH=2.2

| Ozone concentration, mg/L | Time, min |
|---------------------------|-----------|
| 14.0 | 0 |
| 12.9 | 20 |
| 11.3 | 60 |
| 9.96 | 100 |
| 9.38 | 120 |

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

جواب

از معادله تجزیه درجه دوم انتگرال می گیریم

$$C_t = \frac{C_0}{1 + (k_{2d})(t)(C_0)}$$

اگر نمودار $\left(\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0}\right)$ علیه زمان را رسم کنیم، حاصل یک خط

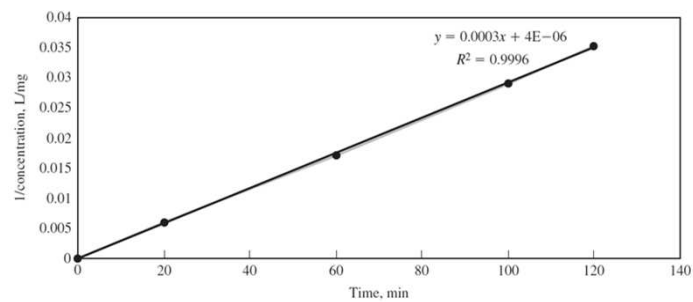
مستقیم با شیب k خواهد بود

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

جواب (ادامه)

| $\left(\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_0}\right)$, L/mg | Time, min |
|---|-----------|
| 0 | 0 |
| 0.00609 | 20 |
| 0.01707 | 60 |
| 0.02897 | 100 |
| 0.03518 | 120 |

$$k_{2d} = \text{of } 0.0003 \text{ L/mg} \cdot \text{min}$$



Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

شاخص

- نمی توان از بین بردن همه میکروارگانیسم ها را به صورت جداگانه ارزیابی کرد
- به همین دلیل از هر دسته (باکتری، ویروس ...) میکروارگانیسم معرف (شاخص) انتخاب می کنیم
- آن هایی که بیشتر مشاهده می شوند
- آن هایی که خطرناک تر هستند
- آن ها که سخت تر از بین می روند

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

مشخص نمودن Ct

- حاصل ضرب C در t یک ضریبی از درصد حذف است
- Ct مورد نیاز افزایش می یابد وقتی:
 - بخواهیم درصد بیشتری از عوامل بیماری زا حذف شوند
 - ماده گندزدا ضعیف تر باشد
 - عامل بیماری زا مقاوم تر باشد
 - pH بالا برود و بالطبع درصد HOCl کاهش یابد
 - کدورت افزایش یابد
 - دما کاهش یابد

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

CT VALUES* FOR 3-LOG INACTIVATION OF GIARDIA CYSTS BY FREE CHLORINE

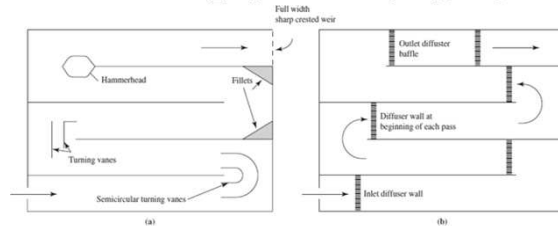
| Chlorine Concentration (mg/L) | Temperature <= 0.5°C | | | | | | Temperature <= 5°C | | | | | | Temperature <= 10°C | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | pH | | | | | | pH | | | | | | pH | | | | | | | | |
| | <=6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | <=6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | <=6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 |
| <=0.4 | 137 | 163 | 195 | 237 | 277 | 329 | 390 | 97 | 117 | 139 | 166 | 198 | 236 | 279 | 73 | 88 | 104 | 125 | 149 | 177 | 209 |
| 0.6 | 141 | 168 | 200 | 239 | 286 | 342 | 407 | 100 | 120 | 143 | 171 | 204 | 244 | 291 | 75 | 90 | 107 | 128 | 153 | 183 | 218 |
| 0.8 | 145 | 172 | 205 | 246 | 295 | 354 | 422 | 103 | 122 | 146 | 175 | 210 | 252 | 301 | 78 | 92 | 110 | 131 | 158 | 189 | 226 |
| 1.0 | 148 | 176 | 210 | 253 | 304 | 365 | 437 | 105 | 125 | 149 | 179 | 216 | 260 | 312 | 79 | 94 | 112 | 134 | 162 | 195 | 234 |
| 1.2 | 152 | 180 | 215 | 259 | 313 | 376 | 451 | 107 | 127 | 152 | 183 | 221 | 267 | 320 | 80 | 95 | 114 | 137 | 166 | 200 | 240 |
| 1.4 | 155 | 184 | 221 | 266 | 321 | 387 | 464 | 109 | 130 | 155 | 187 | 227 | 274 | 329 | 82 | 98 | 116 | 140 | 170 | 206 | 247 |
| 1.6 | 157 | 189 | 228 | 273 | 329 | 397 | 477 | 111 | 132 | 158 | 192 | 232 | 281 | 337 | 83 | 99 | 119 | 144 | 174 | 211 | 253 |
| 1.8 | 162 | 193 | 231 | 279 | 338 | 407 | 489 | 114 | 135 | 162 | 198 | 238 | 287 | 345 | 86 | 101 | 122 | 147 | 179 | 215 | 259 |
| 2.0 | 165 | 197 | 238 | 288 | 346 | 417 | 500 | 116 | 138 | 165 | 200 | 243 | 294 | 353 | 87 | 104 | 124 | 150 | 182 | 221 | 265 |
| 2.2 | 169 | 201 | 242 | 297 | 353 | 428 | 511 | 118 | 140 | 169 | 204 | 248 | 300 | 361 | 89 | 105 | 127 | 153 | 186 | 225 | 271 |
| 2.4 | 172 | 206 | 247 | 298 | 361 | 435 | 522 | 120 | 143 | 172 | 208 | 253 | 306 | 368 | 90 | 107 | 129 | 157 | 190 | 230 | 276 |
| 2.6 | 175 | 209 | 252 | 304 | 368 | 444 | 533 | 122 | 146 | 175 | 213 | 258 | 312 | 375 | 92 | 110 | 131 | 160 | 194 | 234 | 281 |
| 2.8 | 178 | 213 | 257 | 310 | 375 | 452 | 543 | 124 | 148 | 178 | 217 | 263 | 318 | 382 | 93 | 111 | 134 | 163 | 197 | 239 | 287 |
| 3.0 | 181 | 217 | 261 | 316 | 382 | 460 | 552 | 126 | 151 | 182 | 221 | 269 | 324 | 389 | 95 | 113 | 137 | 166 | 201 | 243 | 292 |

| Chlorine Concentration (mg/L) | Temperature <= 15°C | | | | | | Temperature <= 20°C | | | | | | Temperature <= 25°C | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|-------|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | pH | | | | | | pH | | | | | | pH | | | | | | | | |
| | <=6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | <=6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 | <=6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 | 8.0 | 8.5 | 9.0 |
| <=0.4 | 49 | 59 | 70 | 83 | 99 | 119 | 140 | 36 | 44 | 52 | 62 | 74 | 89 | 105 | 24 | 29 | 35 | 42 | 50 | 59 | 70 |
| 0.6 | 50 | 60 | 72 | 85 | 102 | 122 | 145 | 36 | 45 | 54 | 64 | 77 | 92 | 108 | 25 | 30 | 36 | 43 | 51 | 61 | 73 |
| 0.8 | 52 | 61 | 73 | 86 | 105 | 126 | 151 | 39 | 46 | 55 | 66 | 79 | 95 | 113 | 26 | 31 | 37 | 44 | 53 | 63 | 75 |
| 1.0 | 53 | 63 | 75 | 90 | 108 | 130 | 156 | 39 | 47 | 56 | 67 | 81 | 98 | 117 | 26 | 31 | 37 | 45 | 54 | 65 | 78 |
| 1.2 | 54 | 64 | 76 | 92 | 111 | 134 | 160 | 40 | 48 | 57 | 69 | 83 | 100 | 120 | 27 | 32 | 38 | 46 | 55 | 67 | 80 |
| 1.4 | 55 | 65 | 78 | 94 | 114 | 137 | 165 | 41 | 49 | 59 | 70 | 85 | 103 | 123 | 27 | 33 | 39 | 47 | 57 | 69 | 82 |
| 1.6 | 56 | 66 | 79 | 96 | 116 | 141 | 169 | 42 | 50 | 59 | 72 | 87 | 105 | 126 | 28 | 33 | 40 | 48 | 58 | 70 | 84 |
| 1.8 | 57 | 68 | 81 | 98 | 119 | 144 | 173 | 43 | 51 | 61 | 74 | 89 | 108 | 129 | 29 | 34 | 41 | 49 | 60 | 72 | 86 |
| 2.0 | 58 | 69 | 83 | 100 | 122 | 147 | 177 | 44 | 52 | 62 | 75 | 91 | 110 | 132 | 29 | 35 | 41 | 50 | 61 | 74 | 88 |
| 2.2 | 59 | 70 | 85 | 102 | 124 | 150 | 181 | 44 | 53 | 63 | 77 | 93 | 113 | 135 | 30 | 36 | 42 | 51 | 62 | 75 | 90 |
| 2.4 | 60 | 72 | 86 | 105 | 127 | 153 | 184 | 45 | 54 | 65 | 78 | 95 | 115 | 138 | 30 | 36 | 43 | 52 | 63 | 77 | 92 |
| 2.6 | 61 | 73 | 88 | 107 | 129 | 156 | 188 | 46 | 55 | 66 | 80 | 97 | 117 | 141 | 31 | 37 | 44 | 53 | 65 | 78 | 94 |
| 2.8 | 63 | 74 | 89 | 109 | 132 | 159 | 191 | 47 | 56 | 67 | 81 | 99 | 119 | 143 | 31 | 37 | 45 | 54 | 66 | 80 | 96 |
| 3.0 | 63 | 76 | 91 | 111 | 134 | 162 | 195 | 47 | 57 | 68 | 83 | 101 | 122 | 146 | 32 | 38 | 46 | 55 | 67 | 81 | 97 |

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

استفاده از بفل

- اگر سیستم به میزان کافی هم نخورد، راندمان گندزدایی کاهش یافته و CT که توسط ماده گندزدا به وجود می آید با ضریب f که عددی مابین 0 و 1 است تعدیل می یابد CTF



Controlling flow separation in serpentine basins using various devices.
Note: Do not put in diffuser wall before a turn or halfway through a turn.

طراحی سیستم گندزدایی

1. میزان گندزدایی مورد نیاز را مشخص نمایید
2. میزان کمک عملیات فیزیکی (مانند سیستم های فیلتراسیون که پیش از گندزدایی هستند) را تعیین کنید
3. ماده ضد عفونی کننده را انتخاب کنید
4. با توجه به pH و درجه حرارت، Ct مورد نیاز را در بدترین حالت محاسبه کنید
5. سیستم را به گونه ای طراحی کنید که f تا حد ممکن نزدیک به 1 باشد

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

مثال

- با توجه به جدول Ct موجود در اسلاید بعد و هدف حذف 4Log، آیا داشتن 0.4mg/L کلر در مخزنی به حجم 300m³ با دبی ورودی و خروجی 6m³/min کافی است؟
- pH سیستم بین 7 و 8 متغیر است، درجه حرارت ثابت می ماند و کدورت بین 0.2 NTU و 2 تغییر می یابد

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

مثال (ادامه)

Free chlorine C.t values for 1 and 4 log reduction of CB5 virus at various turbidity and pH levels

| pH | Log reduction | Concentration.time (mg-min/L) | | |
|----|---------------|-------------------------------|-------|--------|
| | | 0.2 NTU | 2 NTU | 20 NTU |
| 7 | 1 | 2.05 | 2.13 | 2.55 |
| | 4 | 5.44 | 5.46 | 25.81 |
| 8 | 1 | 5.72 | 6.67 | 7.99 |
| | 4 | 15.49 | 15.68 | 34.52 |
| 9 | 1 | 8.25 | 8.94 | 13.7 |
| | 4 | 23.97 | 26 | 51.89 |

| Baffling Factor | Baffling Description |
|-----------------|---|
| 0.1 | None, agitated basin, very low length to width ratio, high inlet and outlet flow velocities |
| 0.3 | Single or multiple unbaffled inlets and outlets, no intra-basin baffles. |
| 0.5 | Baffled inlet or outlet with some intra-basin baffles. |
| 0.7 | Perforated inlet baffle, serpentine or perforated intrabasin baffles, outlet weir or perforated launders. |
| 1.0 | Very high length to width ratio, perforated inlet, outlet, and intra-basin baffles or flow within a pipe. |

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

جواب

| Step | Worked Example |
|--|---|
| 1. Determine log reduction requirements | 4 log virus removal requirement |
| 2. From literature, determine corresponding required C.t | With a pH of 8 and NTU of 2 Required C.t=15.68 mg-min/L (refer Table) |
| 3. Determine baffle factor (refer Table 3) | Unbaffled Baffle factor (f) = 0.1 |
| 4. Measure or determine average chlorine residual, flow rate and tank volume | Tank volume (V) = 300m ³ Flow rate (Q) = 6 m ³ /min Chlorine residual = 0.4 mg/L |
| 5. Calculate actual C.t | $C.t = 0.4\text{mg/L} \times \frac{300\text{m}^3}{6\text{m}^3/\text{min}} \times 0.1$ C.t = 2 mg-min/L |
| 6. Compare actual C.t to required C.t | With an actual C.t lower than the required C.t, effective disinfection is not provided. Need to respond with additional treatment, better baffle and/or a higher chlorine residual. |

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir

گندزدایی اضطراری

- در شرایط اضطراری مانند خرابی کارخانه آب و یا بروز سیل و طوفان، گندزدایی اضطراری به کار می رود
- استفاده از پارچه تمیز برای فیلتر کردن آب ممکن است
- یک روش گندزدایی اضطراری جوشاندن آب به مدت ۵ دقیقه است
- استفاده از آب ژاول خانگی هم برای گندزدایی ممکن است. اگر 5 درصد NaOCl داشته باشد (50000mg/L)، حدود 3 قطره از آب ژاول خانگی برای گندزدایی 1 لیتر آب مناسب است

Dr. Alireza Bazargan info@environ.ir