

محاسبه مدت زمان ازن زنی برای تصفیه آب و فاضلاب و ضدعفونی هوا

نام اوزون از کلمه «ozein» گرفته شده که یک کلمه یونانی به معنای بو است.

ازن یک اکسیدان قوی است و باعث تحریک چشم و پوست می‌شود.

ساختار تشدید آن الکتروفیل و هسته‌دوست است.

جرم مولکولی: ۴۸

ناپایدار در آب: نیمه عمر ازن در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد و PH خنثی، حدود ۲۰ تا ۳۰ دقیقه است.

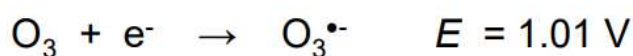
هنگام تجزیه ازن در آب رادیکال OH تولید می‌شود. در صورتی که ازن در شرایط قلیایی قرار بگیرد، تجزیه آن سرعت بالاتری پیدا می‌کند.

جذب اشعه ماورا بنفش: پیک جذب زمانی ظاهر خواهد شد که فاز گاز ۲۴۵ نانومتر و فاز آبی ۲۶۰ نانومتر باشد. ($\epsilon = 3292 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$)

• ثابت هنری: ۱۰۰ اتمسفر بر متر (۲۰ درجه سانتیگراد)، ۳۵ اتمسفر در مترمربع (صفر درجه سانتیگراد)

قدرت اکسیداسیون ازن

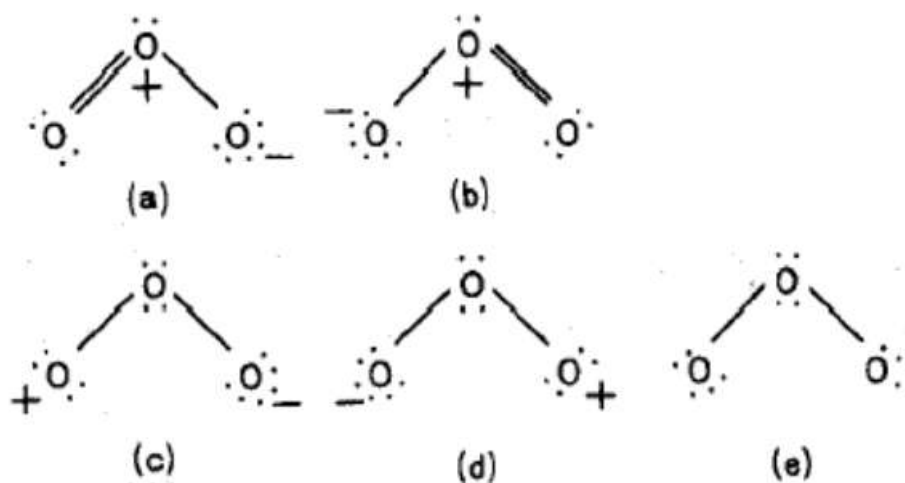
استاندارد پتانسیل‌های نیمه سلولی برای اکسیدان‌های شیمیایی مورد استفاده در تصفیه آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

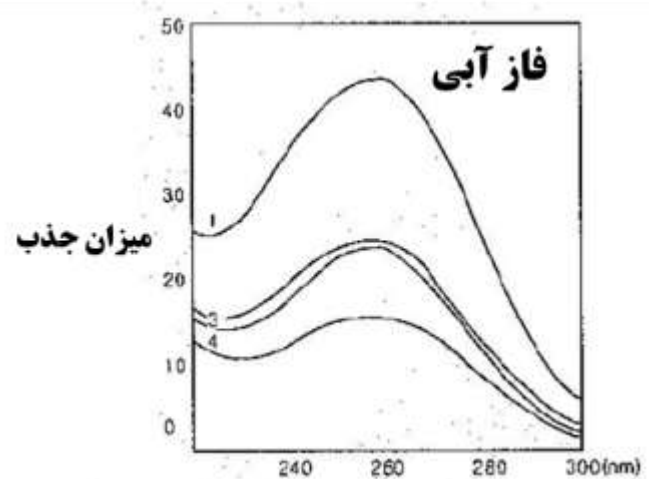
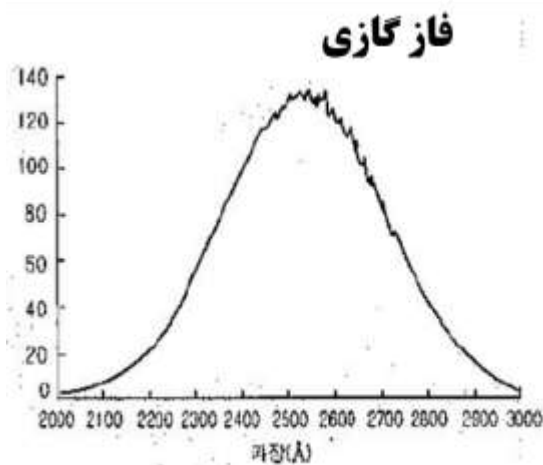


Oxidant	Reduction half-reaction	E_{red}° , volts
Ozone	$\frac{1}{2}\text{O}_{3(\text{aq})} + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_{2(\text{aq})} + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	2.04
Hydrogen peroxide	$\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	1.78
Hydroxyl radical	$\text{OH} + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	2.59
Permanganate	$\frac{1}{3}\text{MnO}_4^- + \frac{4}{3}\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{3}\text{MnO}_{2(\text{s})} + \frac{2}{3}\text{H}_2\text{O}$	1.68
Ferrate	$\frac{1}{3}\text{FeO}_4^{2-} + \frac{5}{3}\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{3}\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{s})} + \frac{1}{3}\text{H}_2\text{O}$	2.07
Chlorine dioxide	$\text{ClO}_2 + e^- \rightarrow \text{ClO}_2^-$	1.15
Hypochlorous acid	$\frac{1}{2}\text{HOCl} + \frac{1}{2}\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cl}^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	1.49
Hypochlorite ion	$\frac{1}{2}\text{OCl}^- + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cl}^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	0.90
Hypobromous acid	$\frac{1}{2}\text{HOBr} + \frac{1}{2}\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{Br}^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	1.33
Hypoiodous acid	$\frac{1}{2}\text{HOI} + \frac{1}{2}\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{I}^- + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	0.98
Monochloramine	$\frac{1}{2}\text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cl}^- + \frac{1}{2}\text{NH}_4^+$	1.40
Dichloramine	$\frac{1}{4}\text{NHCl}_2 + \frac{3}{4}\text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{Cl}^- + \frac{1}{4}\text{NH}_4^+$	1.34
Oxygen	$\frac{1}{4}\text{O}_{2(\text{aq})} + \text{H}^+ + e^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	1.27

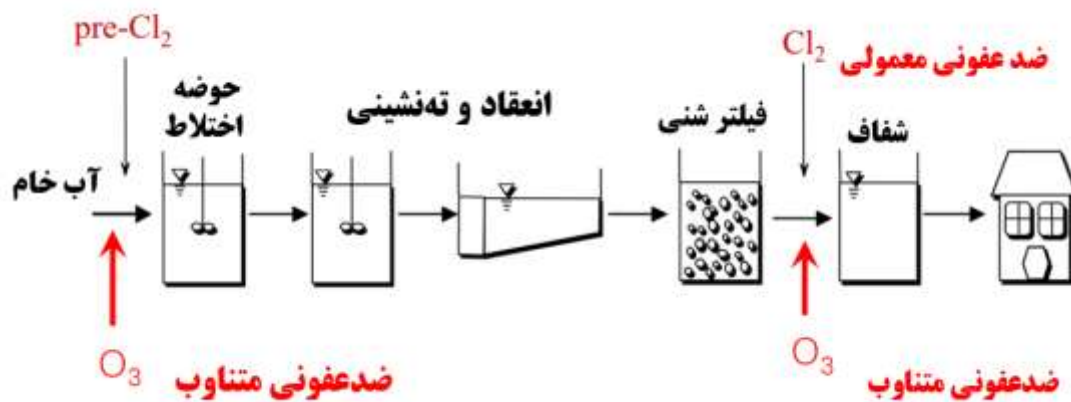
اکسیدان ضعیف یک الکترونی

ساختار تشدید و جذب UV

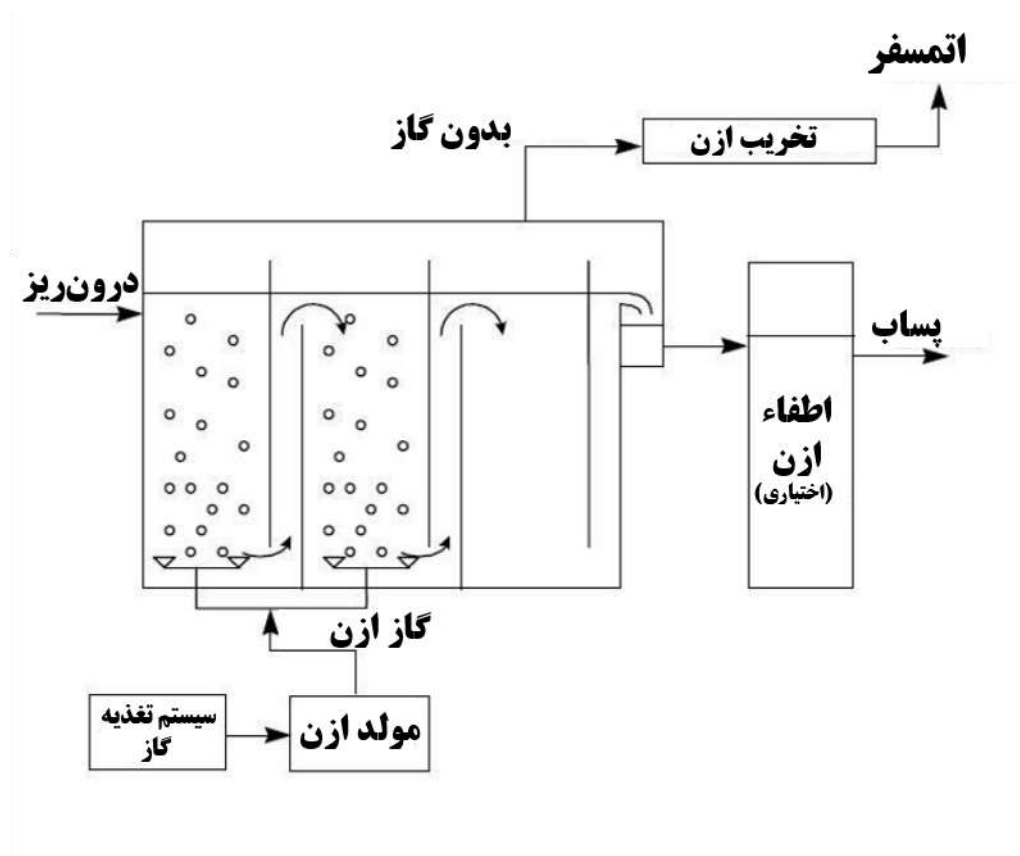




- ← ازن زنی برای تصفیه آب و فاضلاب
- ← تصفیه آب آشامیدنی
- ← تصفیه فاضلاب
- ← تصفیه آب فاضلاب
- ← تصفیه آب‌های زیرزمینی



سیستم ازن زنی برای تصفیه آب

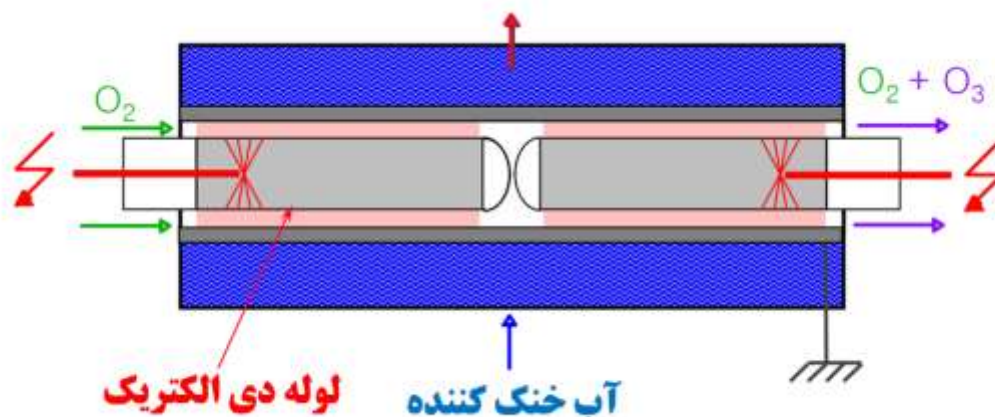


چهار جزء اساسی ازن زنی آب

سیستم ازن زنی برای تصفیه آب از چهار جزء اساسی تشکیل شده است:

- ← سیستم تغذیه گاز
- ← مولد ازن
- ← کنتاکتور ازن
- ← سیستم تخریب بدون گاز

ساختار مولد ازن



روشهای تولید ازن

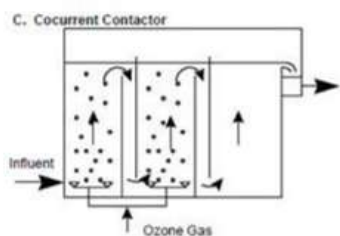
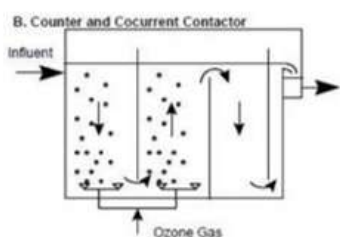
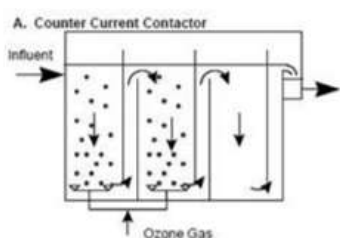
ابتدا تولید ازن در الکترولیز اسیدسولفوریک کشف شد. ازن می‌تواند به روش‌های مختلفی تولید شود؛ اما رایج‌ترین روشی که در صنایع استفاده می‌شود، تخلیه کرونا (تاج) است.

روش تخلیه کرونا

گاز حاوی اکسیژن از دو الکتروود عبور می‌کند که توسط شکاف تخلیه دی‌الکتریک از هم جدا شده‌اند. این الکترون‌ها انرژی لازم برای جدا کردن مولکول‌های دی‌اکسیژن به اکسیژن اتمی را فراهم می‌کنند.

کنتاکتور ازن (راکتور ازن زنی)

هر سه تصویر روبه‌رو متعلق به گاز ازن هستند. هر کدام از تصاویر روبه‌رو نشان‌دهنده موارد زیر هستند:

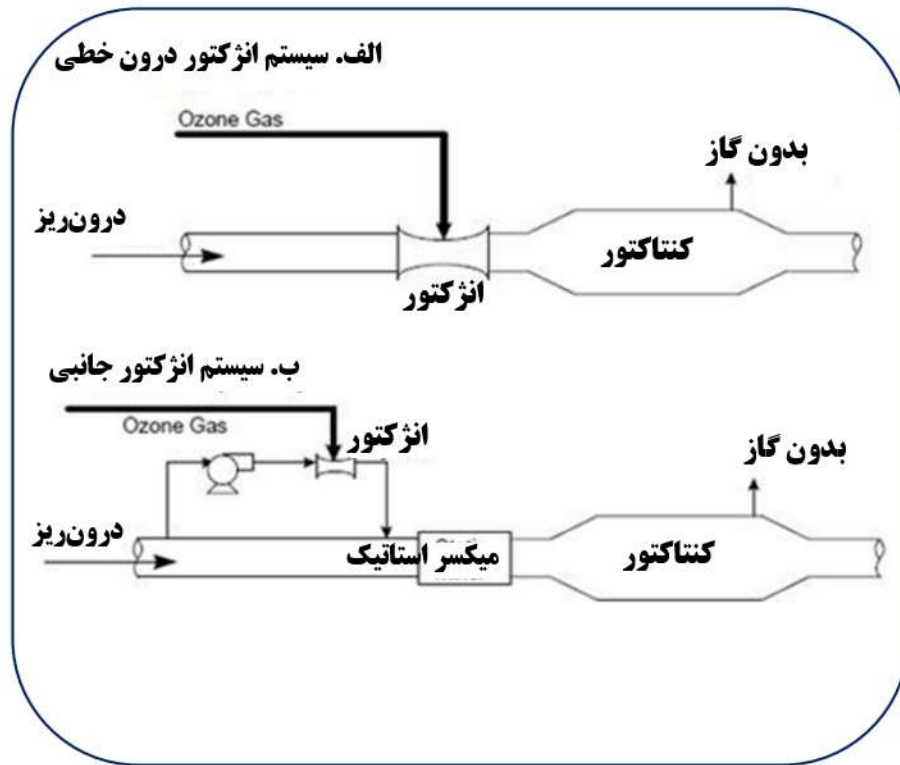


← گزینه A: کنتاکتور جریان شمارنده

← گزینه B: کنتاکتور شمارنده و هم‌زمان

← گزینه C: کنتاکتور هم‌زمان

به‌طور کلی سه کنتاکتور بالا کارایی ویژه‌ای دارند و از آن‌ها تحت عنوان کنتاکتور پخش‌کننده حباب یاد می‌شود. حالا در نمودار پایین به شما سیستم تزریق جانبی را نشان خواهیم داد:



تصویر الف نشان‌دهنده یک سیستم انژکتور درون خطی بوده و تصویر ب نیز سیستم انژکتور جانبی را نشان می‌دهد.

ژنراتور ازن و کنتاکتور ازن

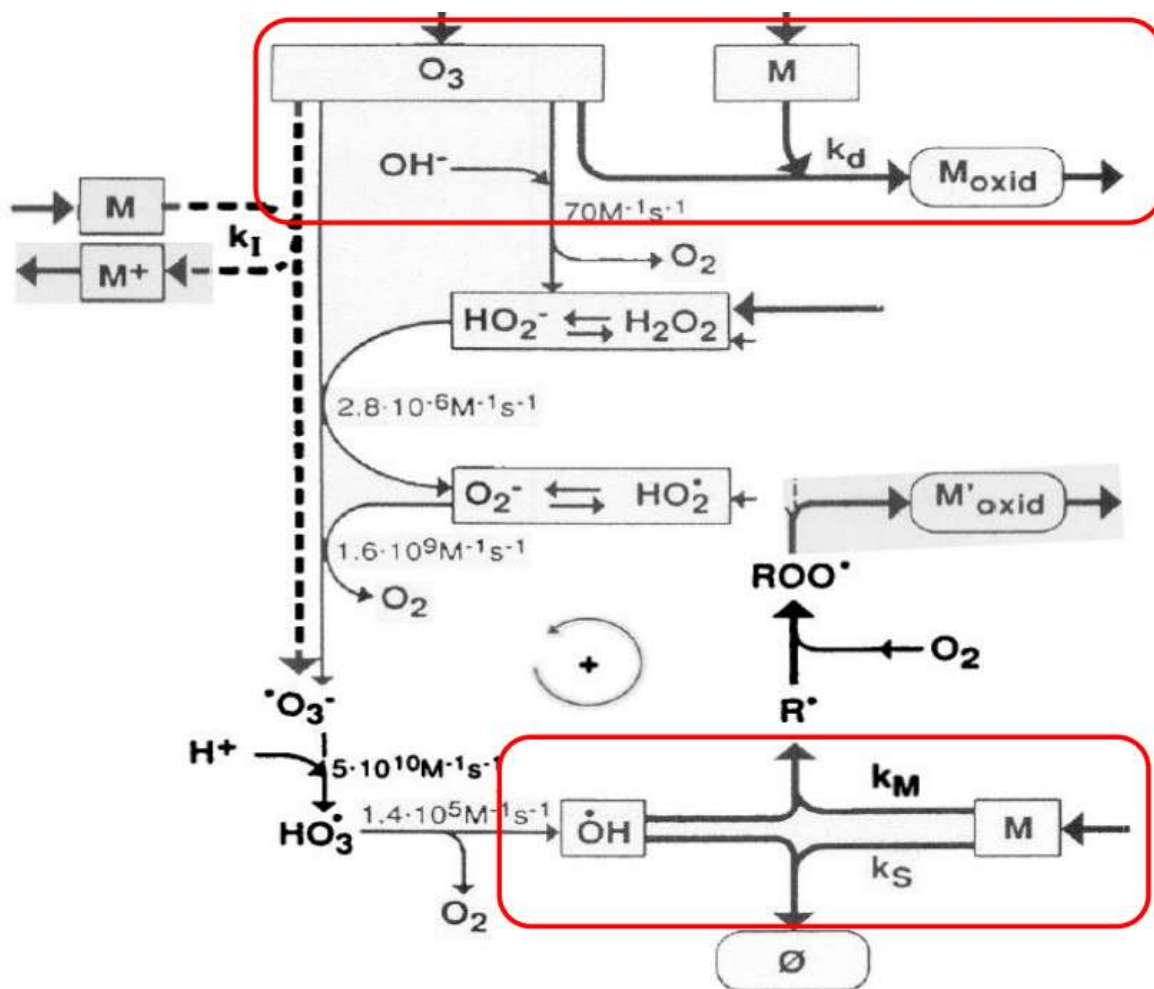


این تصویر نشان‌دهنده یک ژنراتور ازن است.

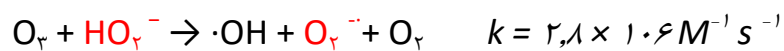


همچنین این تصویر نیز کنتاکتور ازن را به نمایش می‌گذارد.

شیمی تجزیه ازن



در این فرایند PH آب بسیار اهمیت دارد؛ زیرا OH آغازکننده تجزیه ازن است.



اگر به دنبال تسريع شروع تجزيه ازن هستيد، می‌توانيد يا PH را افزايش دهيد و يا نسبت به افزودن پراکسيد هيدروژن اقدام کنيد.

$$pK_a (H_rO_r) = 11,6$$

$$pK_a (HO_2\cdot) = 4,8$$

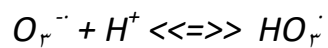
$HO_2\cdot$: Hydorperoxide radical

گزینه فوق به معنای رادیکال هیدروپراکسید است.

$O_2^{\cdot-}$: superoxide radical, $O_3^{\cdot-}$: ozonide radical

superoxide radical به رادیکال سوپر اکسید و ozonide radical به رادیکال اوزونید اشاره دارد.

pH < 8

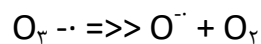


$$k_1 = 1,6 \times 10^9 M^{-1} s^{-1}, k_r = 3,3 \times 10^7 s^{-1}$$

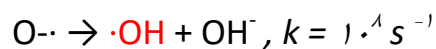


$$k = 1,4 \times 10^4 s^{-1}$$

pH > 8



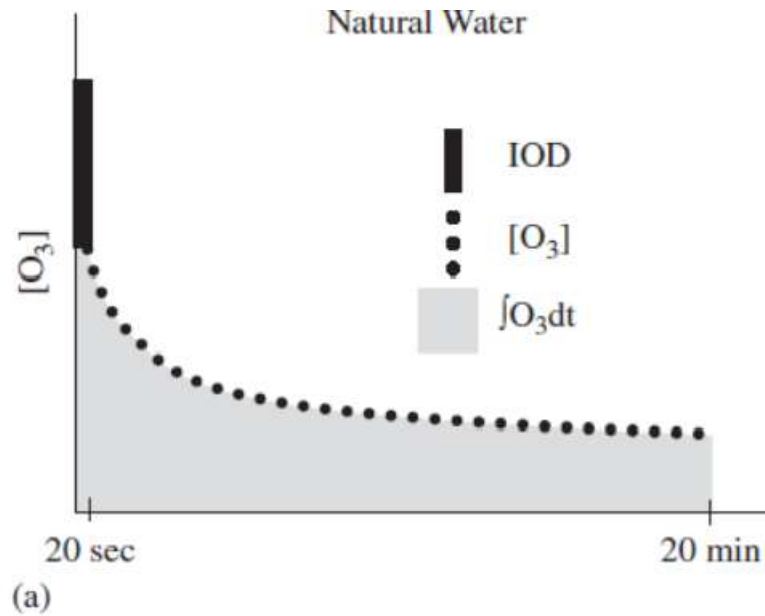
$$k_1 = 2,1 \times 10^7 M^{-1} s^{-1}, k_r = 3,3 \times 10^9 s^{-1}$$



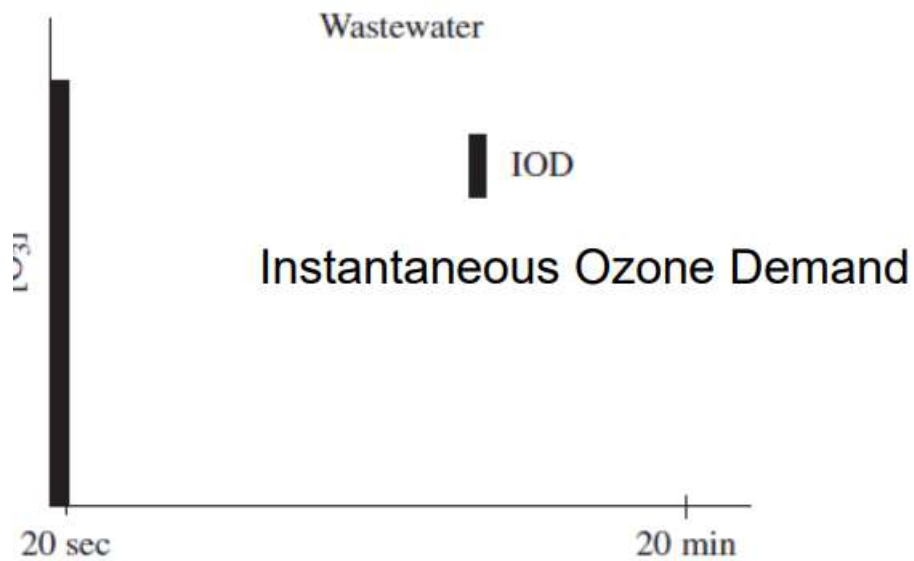
$$k = 0,1 \sim 2 \times 10^9 M^{-1} s^{-1}$$

این واکنش بسیار مهم است و زمانی که غلظت OH در آب کم باشد، اهمیت آن بیشتر نیز می شود. این واکنش باعث می شود تا ازن و $\cdot OH$ مصرف شوند و همچنین ظرفیت اکسیداسیون سیستم کاهش پیدا کند.

تجزیه ازن در آب‌های آلوده



تصویر اول نمودار آب طبیعی را نشان می‌دهد و به آب‌های سطحی الیگوتروف زیرزمینی اشاره دارد.



نمودار دوم نیز مربوط به فاضلاب است و به فاضلاب‌های سطحی اوتروفیک اشاره می‌کند. همچنین با کمک نمودار می‌توانید به تقاضای آزی ازن پی ببرید.

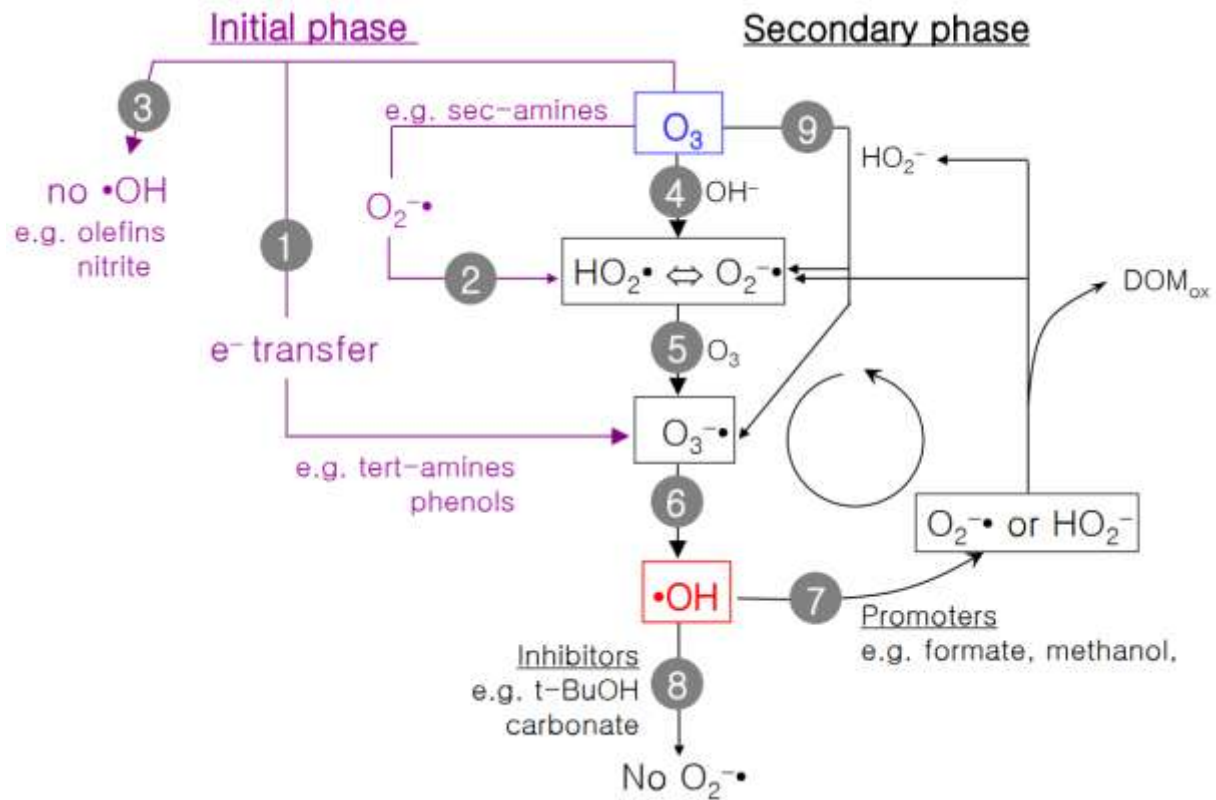
آب آشامیدنی

$$\text{DOC} \leq 4 \text{ mg/L}, \text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-} \leq 7 \text{ mM}, \text{pH } 7-8$$

فاضلاب

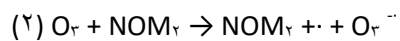
$$7 \leq \text{DOC} \leq 10 \text{ mg/L}, \text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-} \leq \text{mM}, \text{pH } 7-8$$

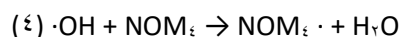
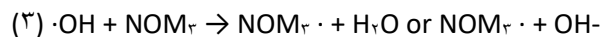
محرك‌ها و بازدارنده‌های تجزیه ازن



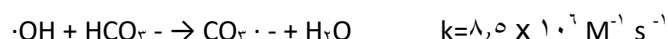
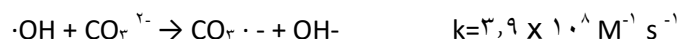
واکنش ازن با مواد آلی طبیعی و کربنات‌ها

ازن مولکولی در مکانیسم‌های مختلف با مواد آلی طبیعی واکنش می‌دهد.

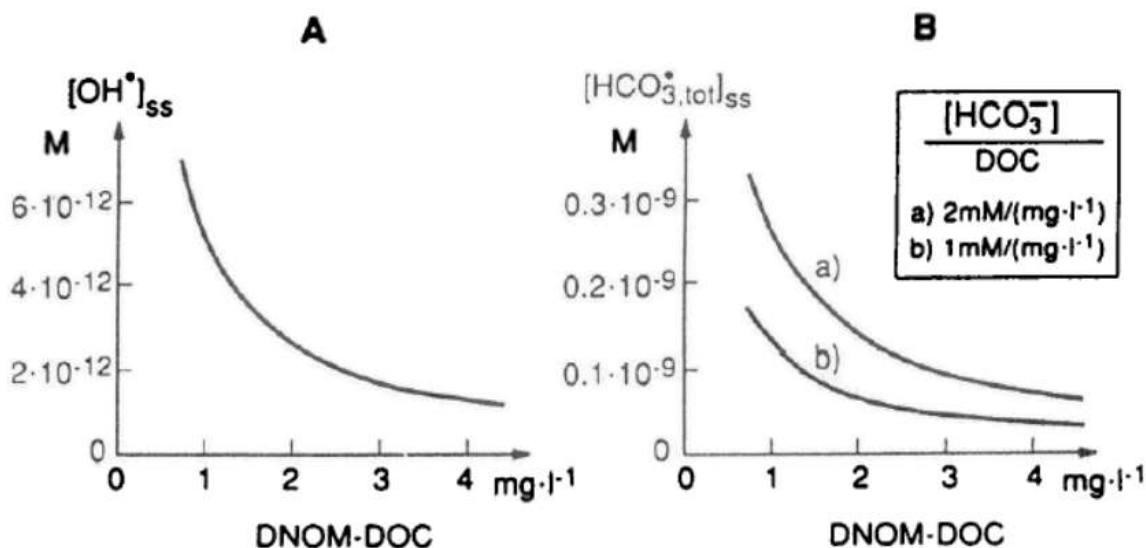




کربنات‌ها $\cdot\text{OH}$ ته‌نشین شده بسیار مهمی هستند که در آب طبیعی وجود دارند. این کربنات‌ها در واقع منابعی از CO_3^{2-} هستند.



همچنین CO_3^{2-} یک اکسیدان واکنشی است و توسط مواد آلی طبیعی پاک می‌شود. به نمودارهای زیر توجه داشته باشید:



اکسیداسیون آلاینده‌ها با ازن زنی

در این فرایند O_3 وارد واکنش مستقیم می‌شود و این واکنش نسبتاً کند و انتخابی است. P یا فسفر نیز نوعی ریزآلاینده است. واکنش $\cdot\text{OH}$ غیرمستقیم، سریع و غیرانتخابی است.

ثابت سرعت مرتبه دوم برای واکنش ازن و $\cdot\text{OH}$.

$k_{OH} (M^{-1} s^{-1})$	$k_{O_3} (M^{-1} s^{-1})$	ترکیب
3×10^9	۶	آترازین
$8,2 \times 10^9$	< ۱۰	ژئوسمین
7×10^9	۶۲۰	کربوفوران
4×10^9	$1,5 \times 10^5$	دینوزب

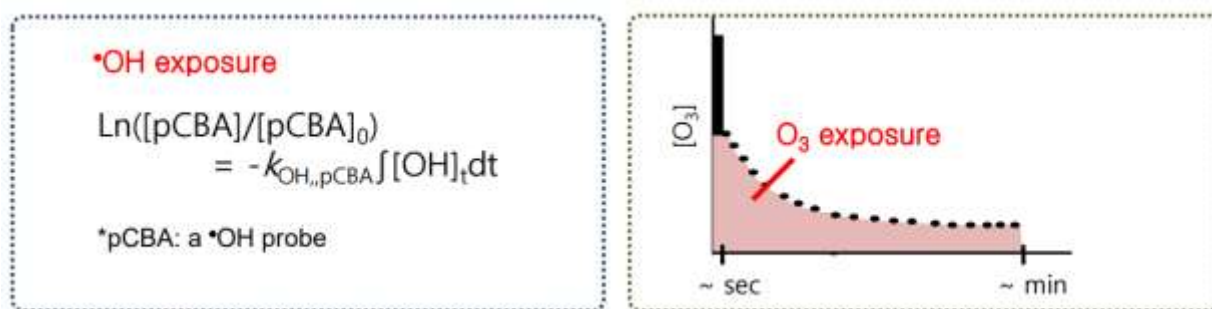
سینتیک اکسیداسیون آلاینده توسط ازن

$$-d[P]/dt = k_{O_3}[P][O_3] + k_{OH}[P][\cdot OH]$$

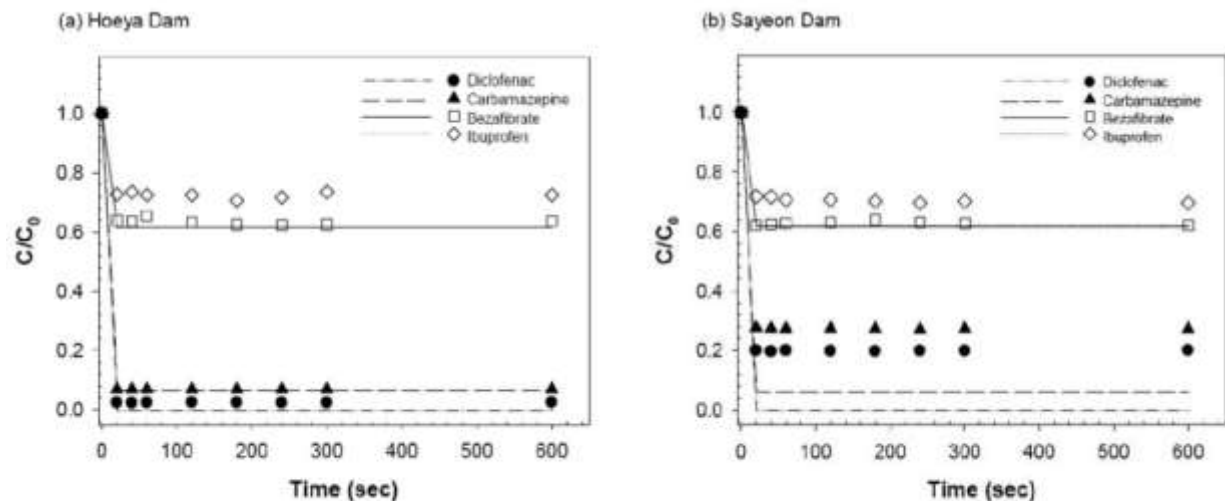


$$\ln([P]/[P]_0) = -(k_{O_3} \int [O_3] dt + k_{OH} \int [\cdot OH] dt)$$

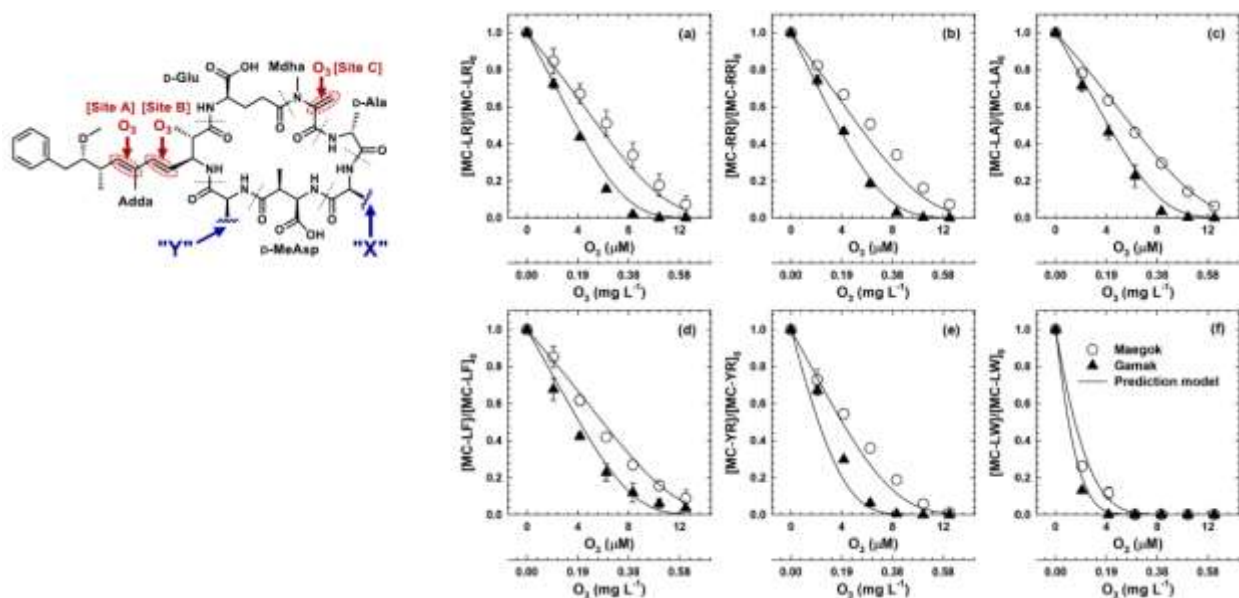
تصویر اول معادله نشان‌دهنده قرار گرفتن در معرض OH است. در نمودار دوم نیز در معرض O_3 قرار می‌گیرند.



حالا به تصویر زیر خوب دقت کنید. نمادها نشان‌دهنده داده‌های تجربی و خطوط نشان‌دهنده پیش‌بینی مدل است.



همان‌طور که در تصویر بالا مشاهده کنید، هر کدام از نمادها مفهوم خاصی دارند که به ترتیب از بالا به پایین نشان‌دهنده دیکلوفناک، کاربامازپین، بزافیرات، ایبوپروفن هستند. حالا در بخش زیر می‌توانید شاهد ازن زنی میکروسیستین‌ها باشید:



نمادها نشان‌دهنده داده‌های تجربی و خطوط نشان‌دهنده پیش‌بینی مدل است.

$$-d[P]/dt = k_{O_3}[P][O_3] + k_{\cdot OH}[P][\cdot OH]$$



$$\ln([P]/[P]_0) = -(k_{O_3} \int [O_3] dt + k_{\cdot OH} \int [\cdot OH] dt)$$

$$\ln([P]/[P]_0) = -(k_{O_3} + R_{ct} k_{\cdot OH}) \int [O_3] dt$$

$$R_{ct} = \int [\cdot OH]_t / \int [O_3]_t$$

R_{ct} : به نسبت قرار گرفتن در معرض $OH\cdot$ و O_3 ، R_{ct} می‌گویند. (این مقدار تقریباً در طول زمان ثابت فرض می‌شود.) R_{ct} به موارد مختلفی بستگی دارد که از جمله آن‌ها می‌توانیم به شرایط آب، دوز O_3 و ورودی H_2O_2 اشاره کنیم.

جدول: جدول مقایسه مقادیر تعیین شده R_{ct} در حین ازن کردن آب‌های طبیعی

در جدول زیر می‌توانید شاهد میزان R_{ct} در مکان‌های مختلف و با شرایط گوناگون باشید. همچنین منابع هر کدام نیز آورده شده‌اند. این مکان‌ها شامل گزینه‌های زیر هستند:

- ← آب‌های سطحی اولسان کره
- ← رودخانه هان سئول، کره
- ← آب رودخانه ساسکاچوان شمالی، کانادا
- ← آب دریاچه زوریخ، سوئیس
- ← آب دریاچه زوریخ، سوئیس

حالا در جدول زیر می‌توانید کامل‌ترین اطلاعات را مشاهده کنید:

No.		Conditions	R_{ss}	Reference
1	Surface waters of Ulsan, Korea	ozone, $[\text{O}_3]_0 = 2 \text{ ppm}$	$(1.2 \sim 1.5) \times 10^{-7}$	This study
2	Han River of Seoul, Korea	ozone, $[\text{O}_3]_0 = 1.56 \text{ ppm}$	4.6×10^{-8}	Cho et al., 2003
3	North Saskatchewan River water, Canada	ozone, $[\text{O}_3]_0 = 5 \text{ ppm}$	1.8×10^{-8}	Chelme-Ayala et al., 2011
4	Lake Zurich water, Switzerland	ozone, $[\text{O}_3]_0 = 2 \text{ ppm}$	1.9×10^{-8}	Lee et al., 2007
5	Lake Zurich water, Switzerland	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $[\text{O}_3]_0 = 2 \text{ ppm}$	7.8×10^{-7}	Lee et al., 2007

آلاینده‌های مقاوم در برابر ازن

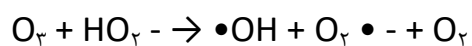
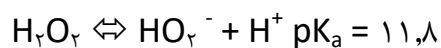
در برابر ازن آلاینده‌های مختلفی وجود دارند که می‌توانند از خود مقاومت نشان دهند. این آلاینده‌ها شامل گزینه‌های زیر می‌شوند:

- ← ژئوسمین
- ← دی متیل ایزوبورنئول
- ← آترازین
- ← دی اکسان
- ← متیل ترشیو بوتیل اتر
- ← بنزن

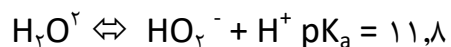
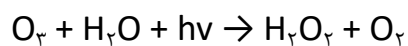
در برخی از فرایندها به تبدیل سریع O_3 به $\text{OH}^\bullet$ نیاز است.

فرایند ازن زنی اصلاح شده

$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ فرایند



UV/O_3 فرایند





ازن زنی رایج در مقابل فرایند اکسیداسیون پیشرفته O_3/H_2O_2

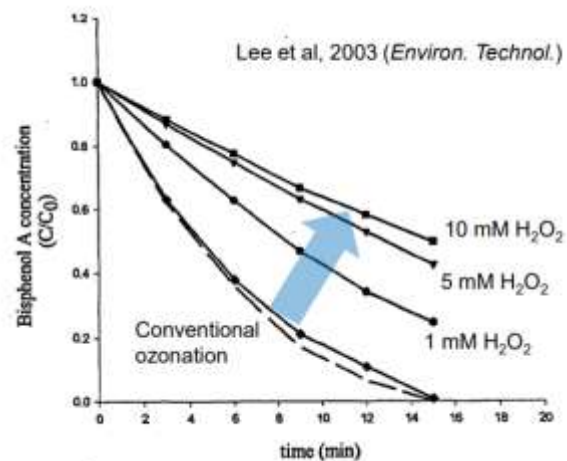
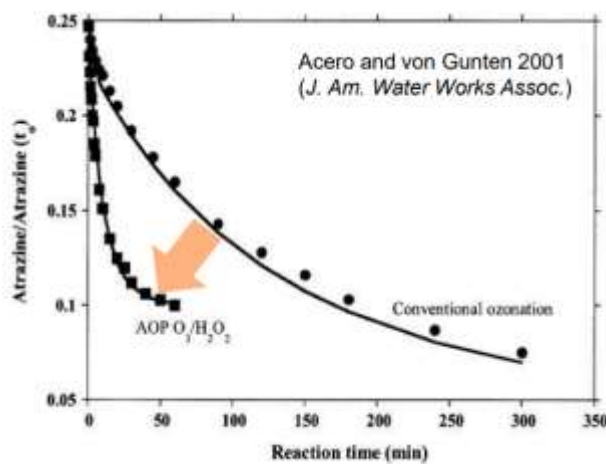
آترازین

$$k_{O_3} = 6 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

بیسفنول آ

همچنین نمودارهای هر کدام آورده شده‌اند: $k_{O_3} = 2.7 \times 10^6 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$: مقدار روبه‌رو در PH هفت است.

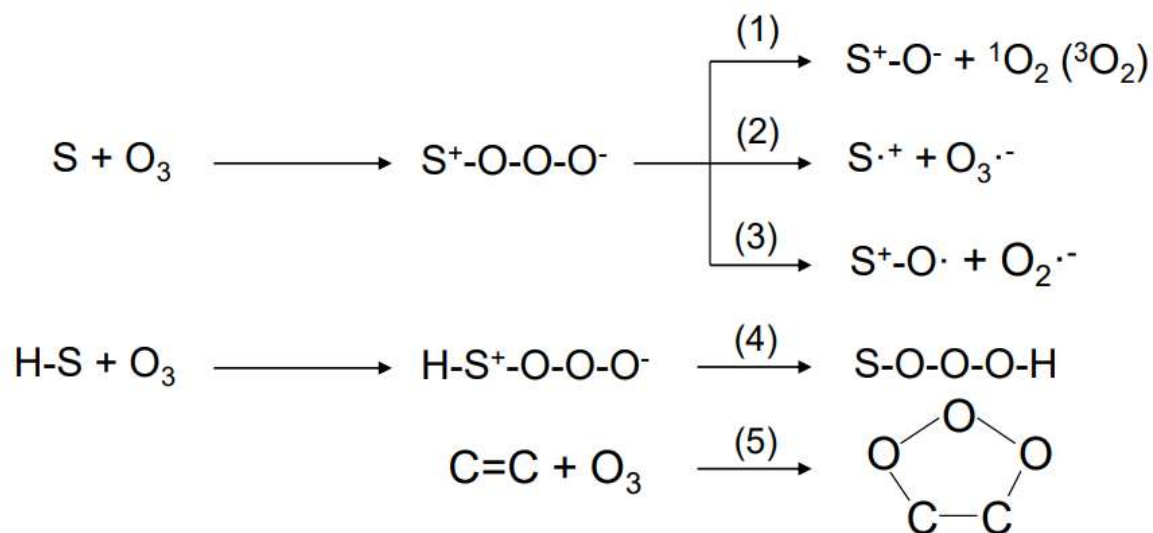
همچنین نمودارهای هر کدام آورده شده‌اند:



واکنش ازن با آلاینده

مکانیسم واکنش‌های ازن

واکنش‌های اولیه ازن با یک ترکیب (S)

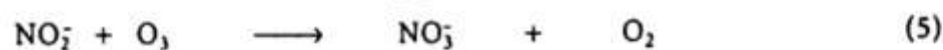
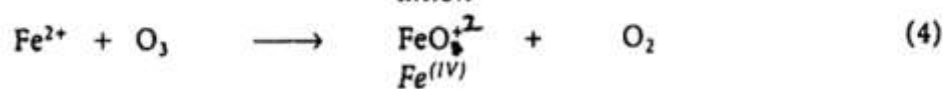
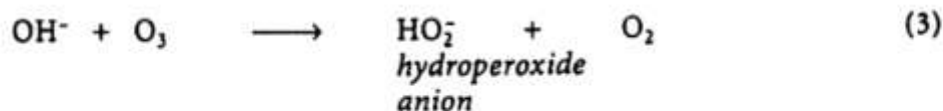


انتقال اتم اکسیژن به گونه‌های آنیونی، بدون بار و کاتیونی

- ← انتقال الکترون
- ← تشکیل رادیکال اکسیل
- ← درج اوزون
- ← تشکیل حلقه
- ← واکنش‌های انتقال الکترون

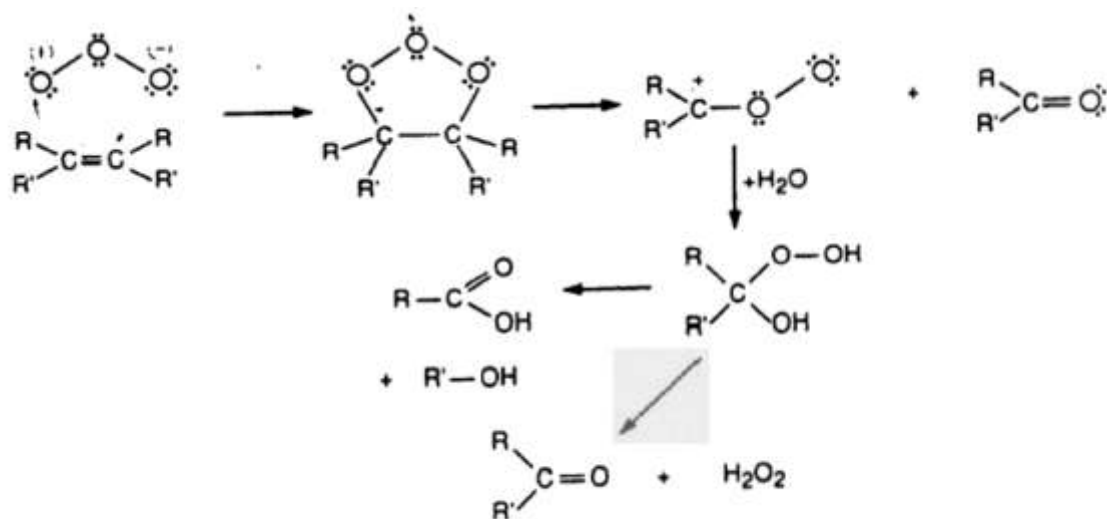


واکنش‌های انتقال اتم اکسیژن

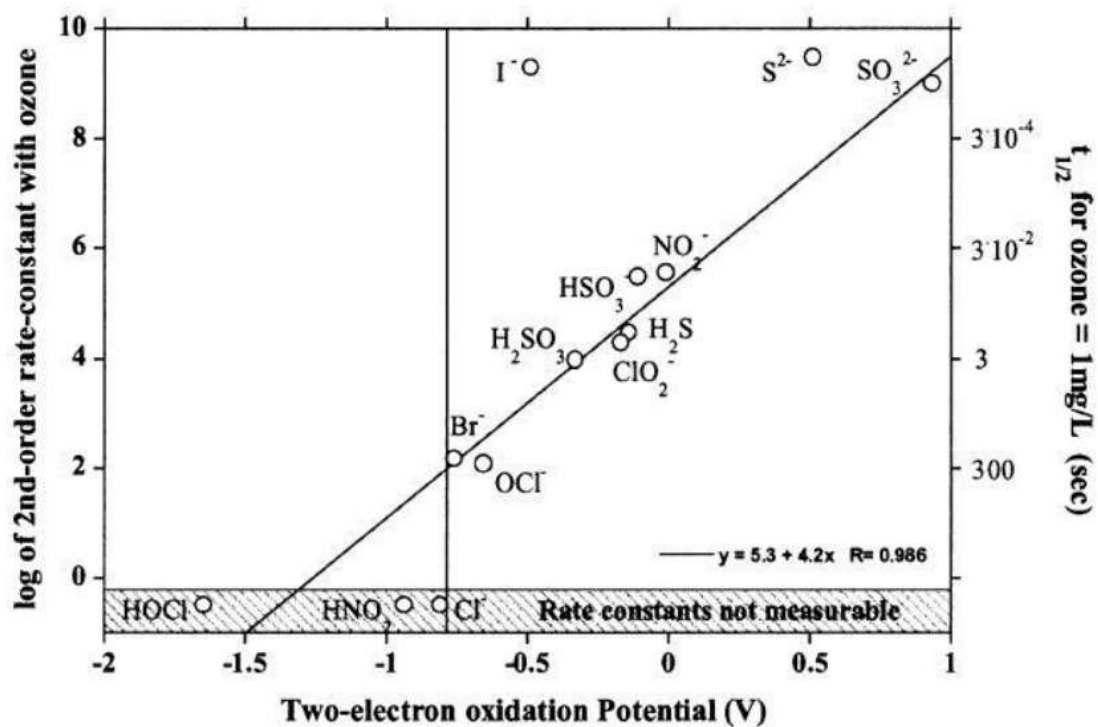


(at high $[\text{I}^-]$ follows: $\text{IO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{IOH} + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + \text{OH}^-$)

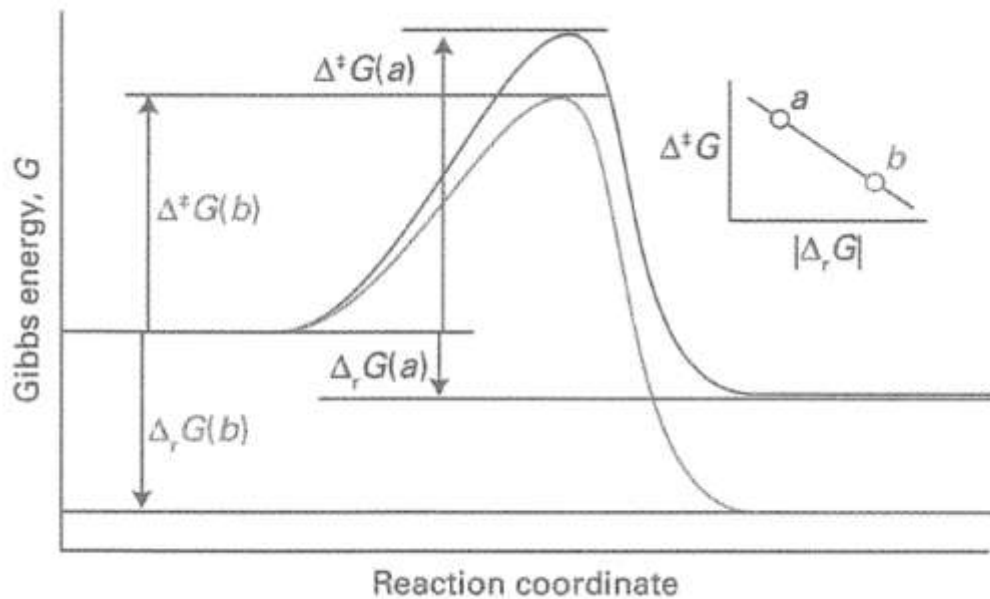
واکنش افزودن ازن (مکانیسم کریگه)



رابطه انرژی آزاد خطی بین پتانسیل ردوکس (اکسایش - کاهش) دو الکترون و ثابت سرعت توسط ازن



ترمودینامیک در مقابل سینتیک



ثابت‌های سرعت مرتبه دوم برای واکنش‌های ازن با ترکیبات مختلف

• مدل چیک (۱۹۰۸)

$$\text{Log } N \setminus N_0 = -kT$$

ضد عفونی کننده: فنل

هدف: اسپور آنتراکنوز

• مدل چیک واتسون (۱۹۰۸)

$$\text{Log } N \setminus N_0 = -kCT$$

ضد عفونی کننده: ازن

هدف: E. coli

• مدل Hom (۱۹۷۲)

$$\frac{dN}{dt} = -kNC^n t^{m-1} \longrightarrow \text{Log } N \setminus N_0 = -kC^n t^m$$

ضد عفونی کننده: کلر آزاد

هدف: جلبک - باکتری

پارامتر اصلی: t

• مدل منطقی (۱۹۸۱)

$$\frac{dN}{dt} = -kN^x C^n \xrightarrow{\text{Integration}} \log \frac{N}{N_0} = -\frac{\log [1 + N_0^{x-1} (x-1) k C^n T]}{x-1}$$

ضد عفونی کننده: ازن

هدف: پولی ویروس نوع ۱

پارامتر اصلی: N

• مدل اصلاح شده چیک واتسون

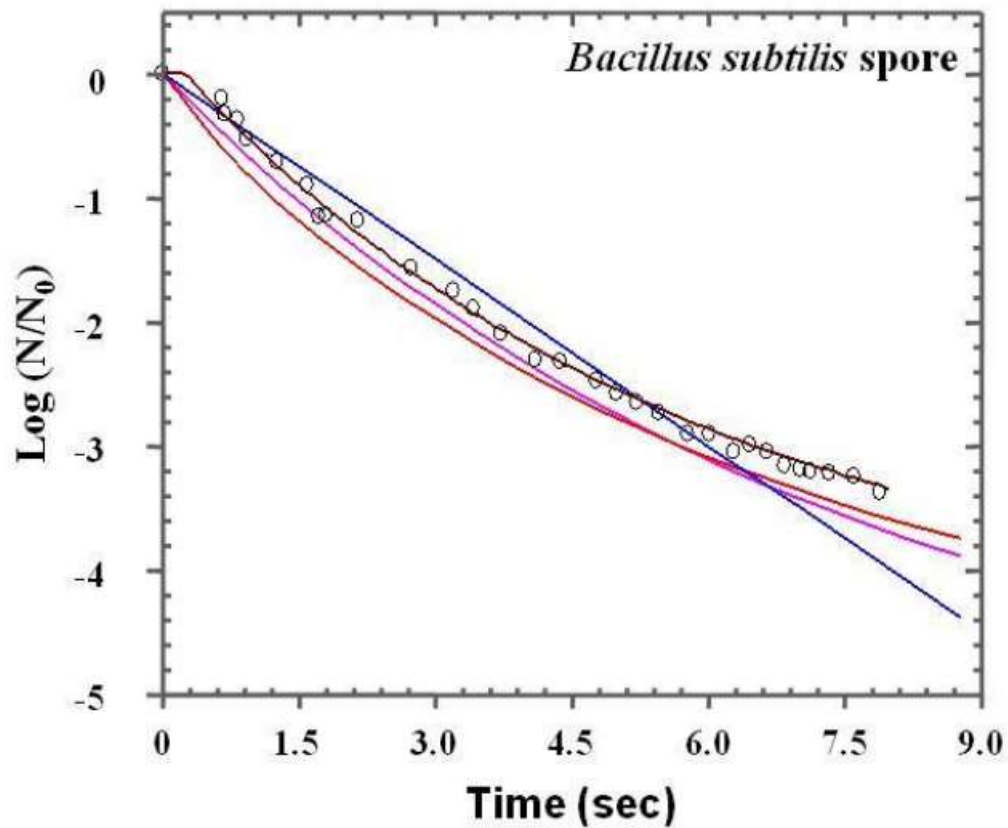
$$\text{Log} \frac{N}{N_0} = -k \int_0^t C dt \xrightarrow{\text{Integration}} \log \frac{N}{N_0} = -\frac{k}{k'n} C_0^n [1 - \exp(-nk't)]$$

• مدل تأخیری چیک واتسون

$$\log\left(\frac{N}{N_0}\right) = \begin{cases} 1 & \text{if } \bar{C}T \leq \bar{C}_{lag}T = \frac{1}{k} \log\left(\frac{N}{N_0}\right) \\ -k(\bar{C}T - \bar{C}_{lag}T) & \text{if } \bar{C}T \geq \bar{C}_{lag}T = \frac{1}{k} \log\left(\frac{N}{N_0}\right) \end{cases}$$

$$\text{where : } \bar{C} = \int_0^t C dt \quad / \quad t$$

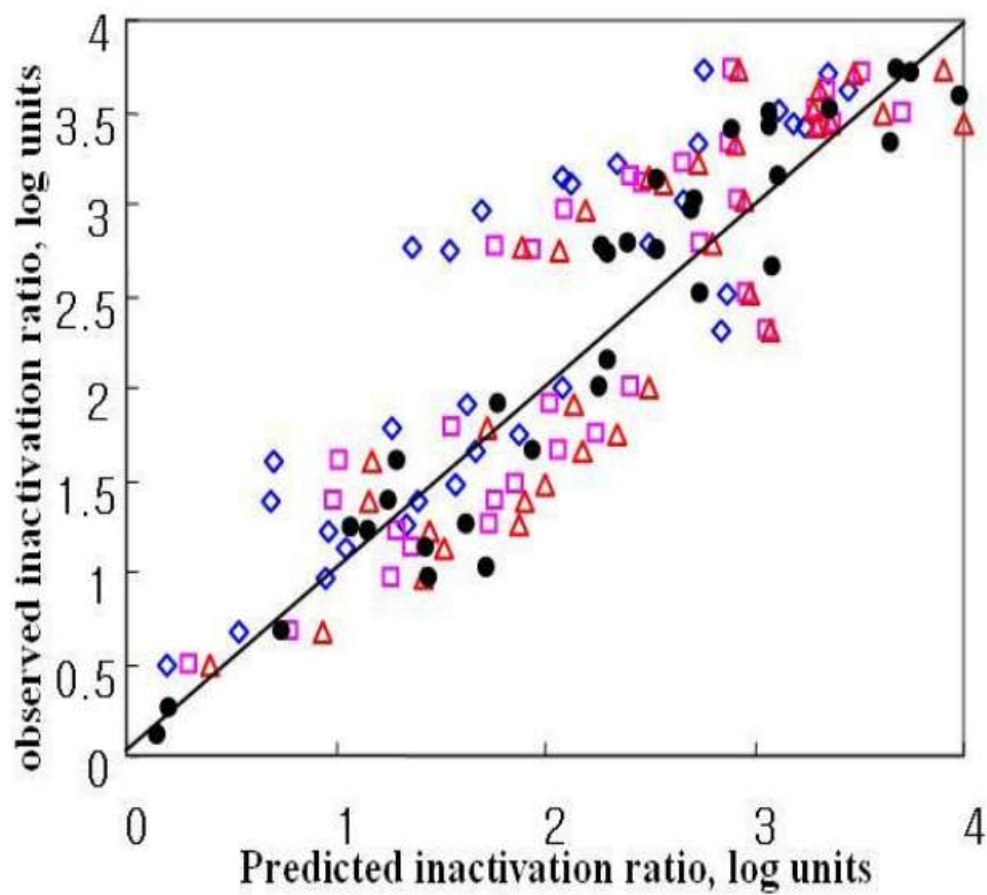
اتصالات مدل: ضد عفونی کننده ازن



در نمودار بالا مدل‌های ذکر شده آورده شده‌اند که دایره، رنگ آبی، بنفش، قرمز و قهوه‌ای به ترتیب نشان‌دهنده گزینه‌های زیر هستند:

- نتایج مشاهده شده
- مدل چیک واتسون
- مدل اصلاح شده چیک واتسون
- مدل Hom اصلاح شده
- مدل تأخیری چیک واتسون

اتصالات مدل: ضد عفونی کننده / زن



در نمودار بالا نیز هر یک از رنگ‌های آبی، صورتی، قرمز و مشکی به مدل‌های زیر اشاره دارند:

- مدل چیک واتسون
- مدل چیک واتسون اصلاح شده
- مدل Hom اصلاح شده
- مدل تأخیری چیک واتسون

ازن اولیه: ۱,۴ میلی گرم در لیتر

همچنین مقدار پی‌اچ ۸,۲ و دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد است.

اعتبارسنجی مدل ضد عفونی

$$ESS = \sum \left[\log\left(\frac{N}{N_0}\right)_{observed} - \log\left(\frac{N}{N_0}\right)_{fitted} \right]^2$$

به جدول زیر به خوبی توجه کنید:

Water Type	pH	ESS (Error sum of squares)			
		CWM	MCWM	MHM	DCWM
Buffer Condition	5.6	3.56	2.74	2.58	2.36
	7.1	4.49	3.90	2.24	2.11
	8.2	9.92	4.87	7.17	3.48
Humic Acid	7.1	0.45	0.97	0.09	0.09
	8.2	2.40	1.36	0.26	0.23
Han River	5.6	4.10	0.97	0.21	0.13
	7.1	2.45	1.12	0.32	0.31
	8.2	2.44	1.44	0.34	0.17

چندین مدل آب وجود دارند که به ترتیب شامل بافر، اسید هومیک و رودخانه آب می‌شوند. ردیف دوم به PH هر کدام از آن‌ها در مدل‌های مختلف اشاره می‌کند. علامت اختصاصی هر کدام از مدل‌ها آورده شده‌اند که از چپ به راست شامل مدل چیک واتسون، مدل اصلاح شده چیک واتسون، مدل اصلاح شده HOM، مدل تأخیری چیک واتسون می‌شوند.

مقایسه مقادیر CT

مقادیر CT (برای غیرفعال کردن Log ۲)

	Disinfectants			
	Ozone (pH 6~7)	Free chlorine (pH 6~7)	Chlorine dioxide (pH 6~7)	Chloramine (pH 8~9)
<i>E. coli</i>	0.02	0.03 ~ 0.05	0.4 ~ 0.8	95 ~ 180
Polio virus	0.1 ~ 0.2	1.1 ~ 2.5	0.2 ~ 6.7	768 ~ 3740
Rotavirus	0.006 ~ 0.06	0.01 ~ 0.05	0.2 ~ 2.1	3800 ~ 6500
<i>Giardia lamblia</i>	0.5 ~ 0.6	47 ~ 150	26	2200
<i>Cryptosporidium parvum</i>	5 ~ 10	7200	78	7200

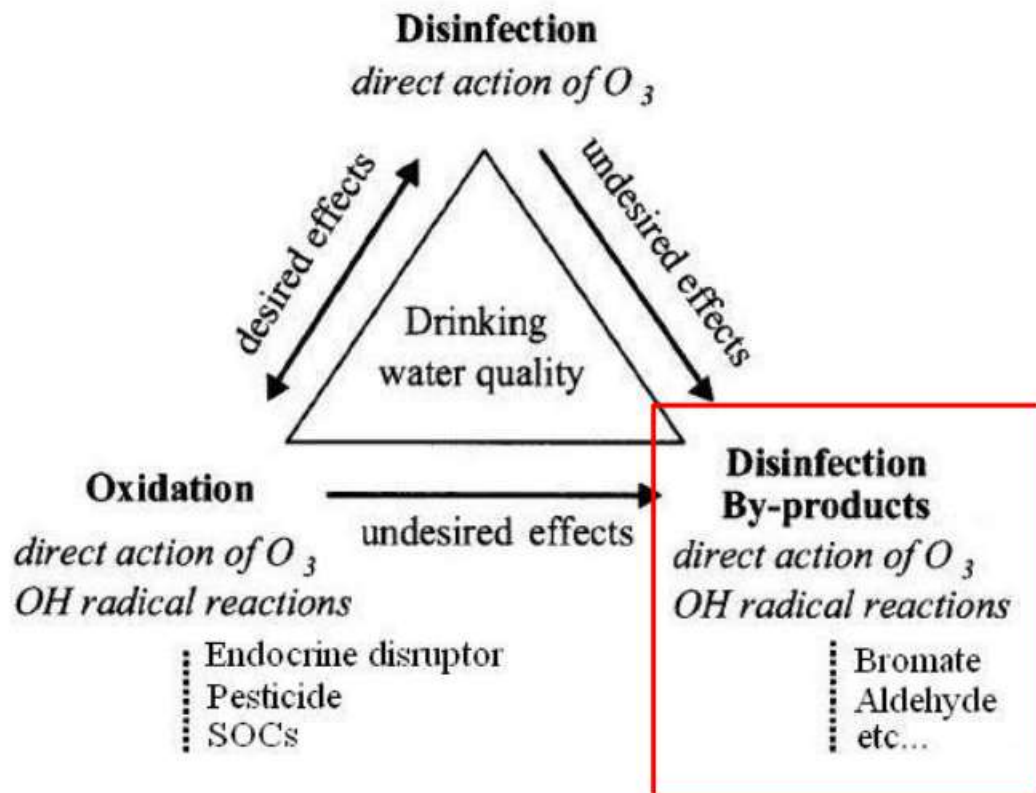
CT values : disinfectant concentration (mg/l) × contact time (min)

مواد ضد عفونی کننده که در جدول فوق آورده شده اند شامل ازن، کلر آزاد، دی اکسید کلر و کلرامین می شوند. هر کدام از این مواد PH مخصوص به خود را دارند و می توانند باکتری ها، ویروس ها و انگل های مختلفی را هدف قرار دهند. باکتری های جدول فوق شامل گزینه های ای کلی، پولیوویروس، روتاویروس، تک یاخته زیاردیا و انگل کریپتوسپوری دیوم می شوند.

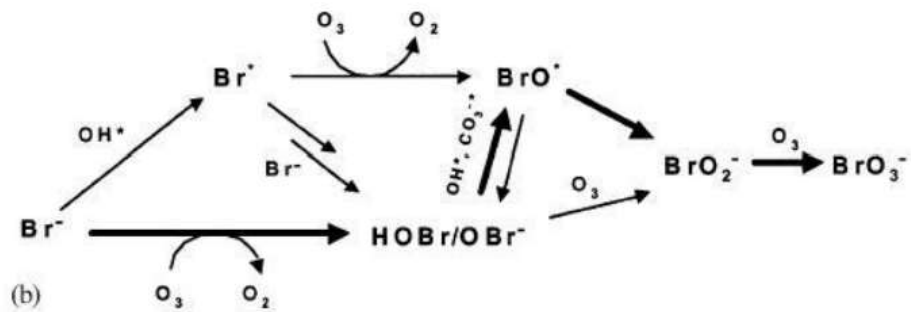
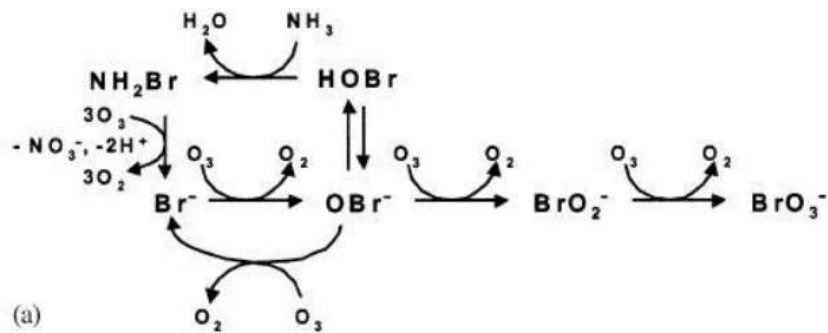
برای به دست آوردن مقادیر CT باید غلظت ماده ضد عفونی کننده و زمان تماس را در یکدیگر ضرب کنیم. زمان بر حسب دقیقه و غلظت بر حسب میلی گرم بر لیتر محاسبه می شود.

محصولات جانبی ازن زنی

اثر مطلوب و نامطلوب فرایندهای ازن زنی



طرح واکنش برای تشکیل برومات

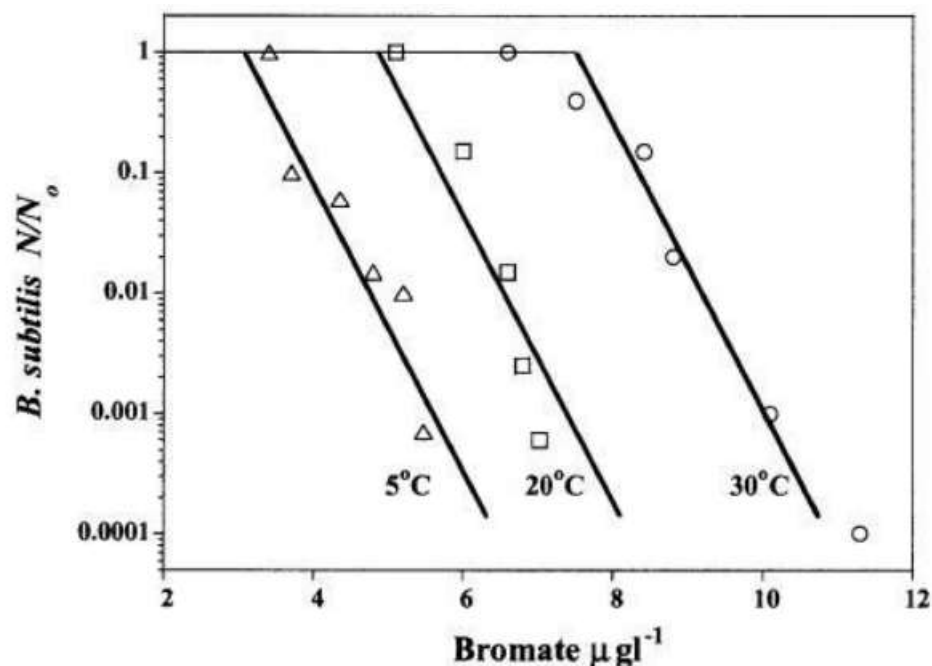


الف) واکنش با ازن

ب) واکنش با ازن و رادیکال‌های OH

خطوط پررنگ مسیرهای اصلی را نشان می‌دهد.

غیرفعال شدن هاگ *B. subtilis* و تشکیل برومات



بروز پاتوژن‌های مقاوم‌تر مانند اووسیست‌های *C. parvum* منجر به افزایش تقاضا برای CT می‌شود؛ بنابراین در آب‌هایی با سطح برومید بالای ۵۰ $\mu\text{g/l}$ ، تشکیل برومات ممکن است از استاندارد آب آشامیدنی فراتر رود. یکی از عوامل تعیین‌کننده، دمای آب تصفیه شده است. هم کارایی غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها و هم تشکیل برومات با بیشتر شدن دما، افزایش می‌یابد.

نیتروسامین‌ها

ترکیب ژنوتوکسیک

۱۹۷۰ ~ در آبجو و سوسیس کشف شد.

۱۹۹۰ ~ در فاضلاب و آب آشامیدنی شناسایی شد.

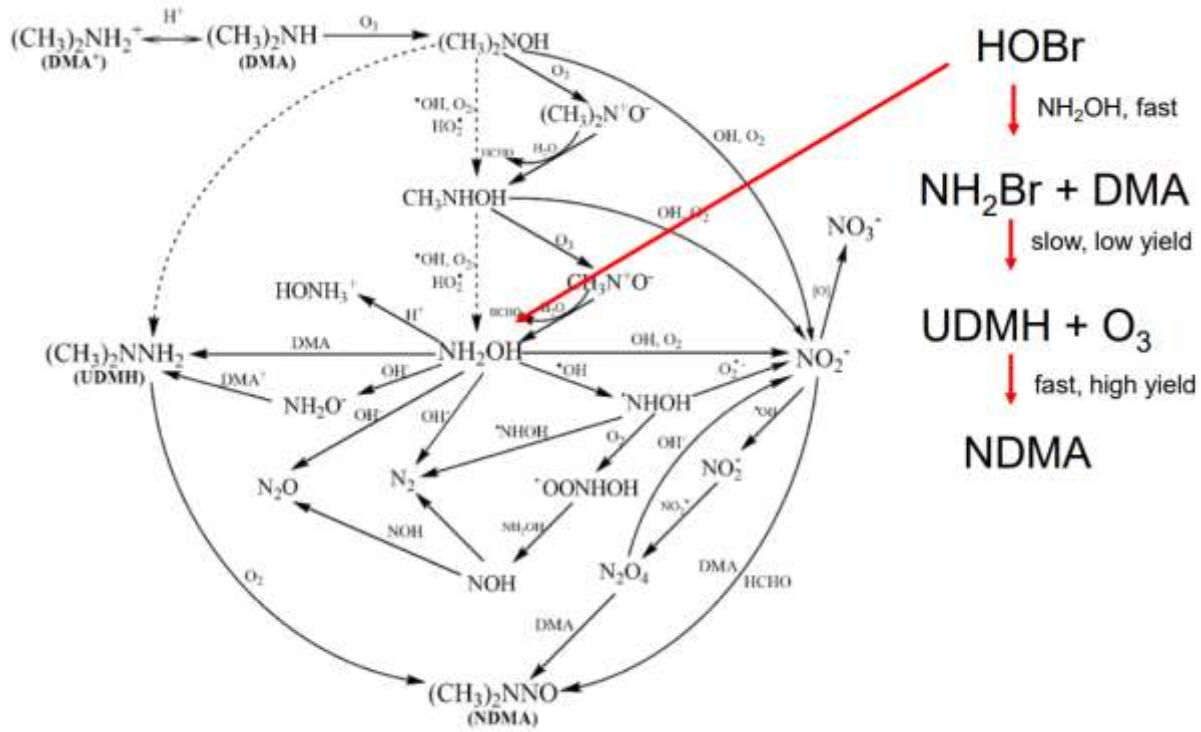
۱۰^{-۵} غلظت بیش از حد خطر سرطان مادام‌العمر در آب آشامیدنی (WHO):

ماده NDMA یا رانیتیدین در ۱۰۰ نانوگرم در لیتر سرطان‌زا است. مقدار احتیاط ۱۰ نانوگرم در لیتر است.

مقدار ۳۰۰۰ نانوگرم در لیتر از برومات ممکن است سرطان‌زا باشد. استاندارد آن در آب آشامیدنی ۱۰ هزار نانوگرم در لیتر است.

بروموفرم در میزان صد هزار نانوگرم بر لیتر باعث سرطان می‌شود.

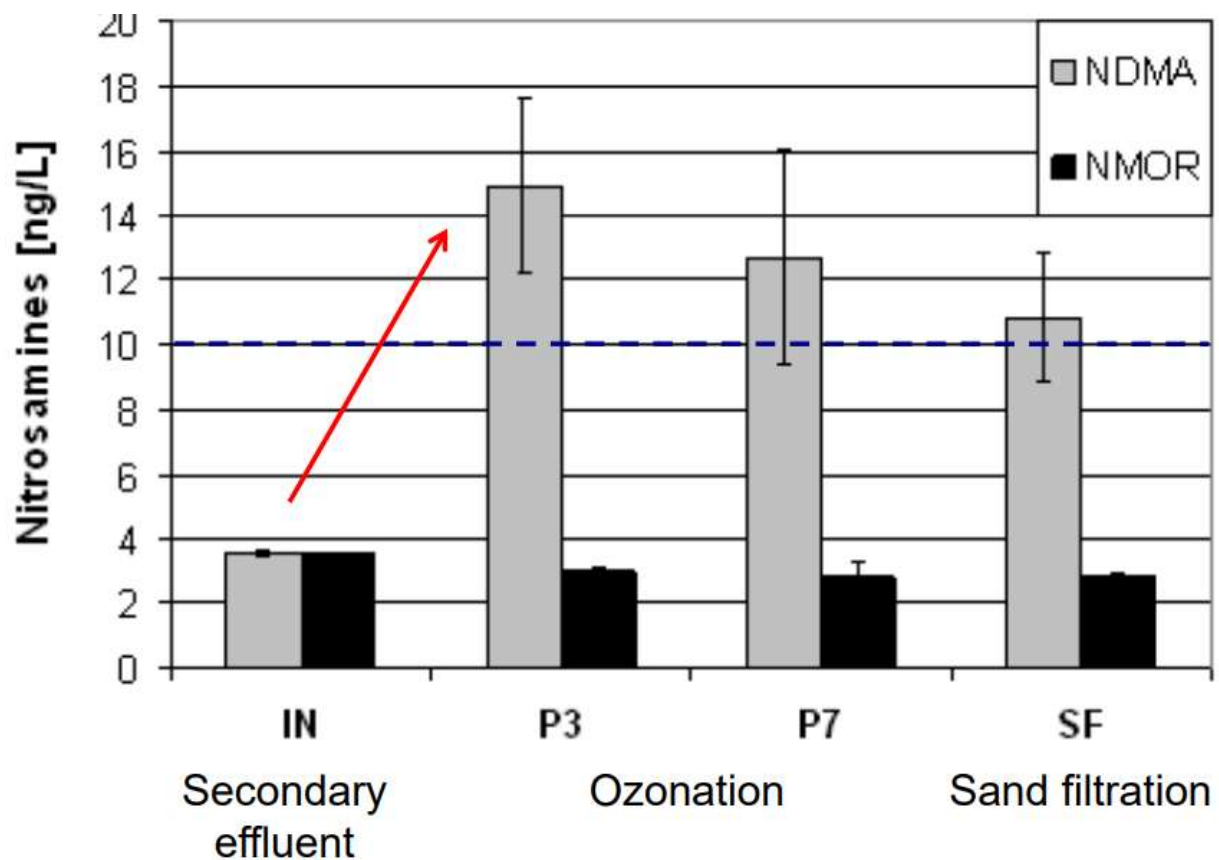
تشکیل NDMA با ازن زنی DMA



Yang et al. 2009

تشکیل NDMA با ازن زنی فاضلاب

مقیاس کامل WWTP شهر روزانزدورف



خطچین آبی نشان‌دهنده میزان آب آشامیدنی پیشنهادی است. نمودار فوق بر اساس پساب ثانویه، ازن زدایی و فیلترشن و ماسه طراحی شده است. مستطیل‌های طوسی نشان‌دهنده ماده NDMA یا رانیتیدین هستند و مستطیل‌های سیاه ماده NMOR را نشان می‌دهند.

تشکیل NDMA با ازن زنی میکروآلاینده‌ها

- قارچ‌کش Tolyfluanid در ایالات متحده استفاده نمی‌شود.
- NN-Dimethylsulfamide (DMS) یک متابولیت جدید کشف شده است.
- خاموش‌شدن ازن زنی
- ممنوعیت تولیفلوانید