



معرفی تکنولوژی پیشرفته بهسازی آب کارخانجات نیشکر با استفاده از ازون

رضا شهرکی^{۱*}، مهدی شبیانی صفت^۲، محمد حسین حداد خداپرست^۳

چکیده

امروزه بکارگیری روشهای پیشرفته فاضلاب جهت افزایش پتانسیل تامین و کاهش هزینه های احیاء آب با بکارگیری مجدد آب های احیاء شده یکی از اصول اجتناب ناپذیر تولیدات صنعتی می باشد. آب های بازیافت شده از فاضلاب بایستی بحد کافی خالص باشند تا بتوان آنرا بعنوان یک منبع ذخیره و یا بطور مستقیم جهت مصارف کشاورزی و صنعتی مصرف نمود. چند فرآیند جدید با پتانسیل اکسیداسیون زیاد مانند ازون زنی با PH بالا، ازون زنی با UV و ترکیبی از تیمار ازون و آب اکسیژنه بدین منظور مورد مطالعه قرار گرفته است. بهسازی آب مصرفی کارخانجات با استفاده از ازون دارای مزایای متعددی است که از مهمترین آنها میتوان به جلوگیری از تولید تری هالو متان ها و سایر ارگانوکلرین ها با تجزیه هیومیک اسیدها اشاره کرد. هیومیک اسیدها با کلرین ترکیب شده و دسته ای از اجزاء را تولید می نمایند که سبب تجزیه ترکیبات بوی بد ماندگی به دو ترکیب ژاسمین (Geasmine) و ۲-متیل ایزوبرومول (۲-methyl isobromeol) می گردند و بر روی سایر فرآیندها تاثیری ندارند. در این مقاله سعی شده است تا یک تکنیک پیشرفته مورد استفاده در کشور ژاپن بطور خلاصه معرفی گردد. نتایج نشان می دهد که ازون برای مدتی طولانی بعنوان یک ماده رنگبر، هیومیک اسید و سایر ترکیبات رنگی را تجزیه نموده و بنابراین سبب کاهش پتانسیل تولید تری هالومتان خواهد شد. کاهش هیومیک اسید باعث افزایش عمر رزین های سختی گیر و غشاها می گردد ضمن آنکه فلزات سنگین را اکسیده کرده و از محیط خارج می کند.

کلید واژه: نیشکر، ازون، بهسازی، آب

^۱ - کارشناس علوم و صنایع غذایی

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی، دانشگاه شهید رجائی، تهران

^۳ - عضو هیأت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی، مشهد



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



مقدمه

بکارگرفتن فرآیند ازون در تیمار آبهای بازیافته جهت کاهش بوف رنگ و جمعیت میکروبی مؤثر می باشد. بخشی از آب بازیافتی و تیمار شده با فرایند ازون را میتوان جهت تامین آب نهرها و چشمه سارها، رودخانه ها و سایر مصارف تفریحی مورد استفاده قرار داد. فرایند ازون میتواند در مقیاس وسیع در جهت رنگبری از آب خروجی فاضلاب تیمار شده در جائیکه ترکیبات رنگدانه ای مولد لجن فعال موجود در حد زیاد باشد و براحتی قابل حذف شدن نیستند مؤثر باشد. ازون یک رنگبر شناخته شده مؤثر است زیرا بصورت انتخابی به باندهای دوگانه که سازنده رنگدانه های مواد رنگین هستند حمله می نماید. لذا این روش نسبت به روش متداول کلرزی دارای مزایای متعددی می باشد. کلر تولید محصولات جانبی از جمله تری کلرومتان و سایر ترکیبات مضر آلی کلردار می نماید که در تیمار فاضلاب ها سبب اثرات نامطلوب بر اکوسیستم و منابع آبی می شود که این آب بدانجا ریخته خواهد شد. همچنین ازون نسبت به کلر در رابطه با میکروارگانیسم ها کشنده تر بوده در حالیکه مواد مضر مذکور را نیز تولید نمی نماید. لذا امروزه اغلب واحدهای تصفیه فاضلاب به دلایل زیست محیطی ذکر شده به سیستم ازون مجهز می باشند.

لازم بذکر است که روشهای بهسازی سنتی توانایی تولید آب تصفیه شده مطلوبی را ندارد. در این مقاله رودخانه ای که آب از آنجا برداشت می شد با مواد خطرناک فاضلاب آلوده می شد و کلرزی بیش از حد سبب تولید تری هالومتان می گردد. لذا پیش بینی می شود که با استفاده از ازون مقدار تری هالومتان در حد ۶۰ و کلروفورم ۳۰ گردد. مطابق با آیین نامه وزارت بهداشت ژاپن مصرف آب با تری هالومتان در حد کمتر از ۱۰۰ را مجاز می داند. جدول ۲ کیفیت آب را در هر مرحله از عملیات واحد بهسازی لیست نموده است مرحله تیمار با ازون و فیلتر نمودن با ذغال اکتیو بیشترین کاهش را در پتانسیل تشکیل تری هالومتان نشان می دهد این فرایندها هر دو در کاهش سطح میزان مجموع مواد آلی کربن (TOC) و اجزاء فعال متیلن بلو (MBAS) و کاهش نیاز به کلرزی و پرمنگنات پتاسیم مؤثر هستند. این تاسیسات به اهداف طراحی اولیه را در تامین آب سالم تر و بامزه بهتر دست یافته است.



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



جدول ۱- مشخصات تجهیزات اصلی تیمار با ازون در تاسیسات تصفیه آب

مخزن راکتور ازون	
بتون مسطح	ساختمان مخزن
۲ عدد	تعداد مخزن
۱۹۴۰۰۰ متر مکعب در روز	ظرفیت
۸.۸×۳.۸۵×۵ متر	ابعاد مخزن
۱۰ دقیقه	زمان تماس
دیفوزیون همراه جریان متناوب آب و هوا	تیمار
۸.۱ کیلوگرم در ساعت	ظرفیت ژنراتور
۴-۰ میلی گرم در لیتر	مقدار تزریق
واحد کاتالیستی حذف ازون	تجهیزات اضافی
مخزن جذب ذغال اکتیو	
بتون مسلح	ساختمان مخزن
۱۷ عدد	تعداد مخازن
۲۱۹۸۰۰ متر مکعب در روز	ظرفیت



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



ابعاد مخزن	۱۰.۸۵*۵.۰۵ متر
زمان تماس	۱۲ دقیقه

لوله هوادهی شیشه ای چهارراهه ، لوله صداگیر، که جهت تخلیه تولید کننده ازون با تولید ۸.۱ کیلوگرم در ساعت بکار خواهد رفت. آب با هوای ازون دار در جهت مخالف مخلوط شده و وارد یک مخزن بزرگ خواهد شد. ابعاد مخزن ۸.۸×۳.۸۵×۵ متر است که مدت زمان توقف آب در آن برابر ۱۰ دقیقه می باشد.

مواد و روش ها

در این تصفیه خانه ابتدا آب در حجم زیادی به مخازن ذخیره پمپاژ می شود. ظرفیت مخازن ذخیره در حدود ۲۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ لیتر آب میباشد. بر روی آب وارد شده به کارخانه تصفیه شیمیایی و تصفیه فیزیکی (یونی) انجام می شود. در تصفیه شیمیایی، ابتدا آب شرب وارد مخزن مکعب مستطیل شکل بزرگی بنام مخزن واکنش می شود. ظرفیت این مخزن حدود ۵۰ تا ۶۰ هزار لیتر آب است. همزمان با ورود آب به این مخزن دو شیلنگ تزریقی، کلر و آهک را در مخزنی جداگانه به نحوی آماده و یکنواخت شده اند از یک نازل به درون آب پخش می کنند. سولفات آهن آماده شده نیز از طریق مخزن دیگری وارد مخزن واکنش می شود. سیستم تصفیه این کارخانه سیستم لایم سودا است. آهک اضافه شده به آب علاوه بر اینکه باعث افزایش قلیائیت می شود سختی آب را بخصوص سختی دائم را پایین آورده به این ترتیب که با اضافه کردن آب آهک به آب خام در صورت وجود CO_2 ابتدا دی اکسید کربن با هیدروکسید کلسیم ترکیب شده و بصورت کربنات کلسیم رسوب می نماید. زمانی این واکنش کامل است که $PH=8.3$ باشد. در مرحله بعد مواد معدنی ایجاد کننده سختی کربناته از محیط عمل خارج می شوند. سولفات آهنی که به آب اضافه می شود یکی از متداول ترین منعقد کننده هایی است که در تصفیه آب کاربرد داشته و پس از انحلال تولید یون های آهن می کند. سولفات آهن باعث می شود که املاحی که با آب آهک واکنش داده اند و به صورت معلق در محیط وجود دارند به ذراتی بزرگ و سنگین تبدیل شوند و به آسانی ته نشین گردند. این رسوبات به شکل کربنات کلسیم و کربنات منیزیم در کف



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



مخزن قرار می گیرند. مخزن واکنش دارای ۴ شیر تخلیه می باشد که پرسنل مربوطه روزی یک بار شیر مخزن را باز کرده و رسوبات را تخلیه می کنند. در هنگامی که عمل ته نشین شدن رسوبات صورت می گیرد قسمت سطحی آب بسیار شفاف بوده و هر چه به سمت لایه های پایین تر می رویم به علت وجود ذرات معلق کدورت آب بیشتر می شود. مواد غیر قابل ته نشینی در آب به دو دلیل اساسی در مقابل ته نشینی مقاومت می کنند: بار الکتریکی و اندازه و وزن آنها. این مواد در مراحل بعدی تصفیه یعنی در مخزن تعادلی و تصفیه یونی از آب جدا می شوند. کلری که در اینجا استفاده می شود علاوه بر اکسیداسیون مواد آلی، نقش ضد عفونی کننده را نیز دارد. کلر ابتدا برخی از ترکیبات آلی را اکسید نموده و پس از گذشت از نقطه ای که به نقطه شکست معروف می باشد کلر اضافه شده ایجاد کلر باقیمانده آزاد می کند و کلر زدن آب بعد از این مرحله خاصیت میکروب کشی خواهد داشت. غلظت کلری که به آب اضافه می شود حدود ۶-۷ ppm می باشد ولی چون آب به طور دائم با کلر در حال تجدید در تماس است کمک بزرگی به ضد عفونی کردن آب از نظر میکروبی می نماید. از نظر مقدار اضافه کردن مواد اولیه (کلر، سولفات آهن و آب آهک) نیز آب از نظر سختی، قلیائیت و ppm کلر بکار رفته در هر ساعت آزمایش می شود.

بعد از ته نشین شدن بعضی از املاح بوسیله آب آهک و سولفات آهن در مخزن واکنش، موادی که در مقابل ته نشینی مقاوم هستند معلق می مانند و بوسیله سرریز کردن مخزن واکنش به مخزن تعادلی منتقل می شوند. آب برای مدتی در مخزن تعادلی باقی می ماند تا ذرات معلق موجود در آن رسوب نمایند. این مرحله سبب می شود تا از فشار از روی صافی ها کاسته شود. پس از مخزن تعادلی آب وارد مخزن شنی می شود در این مخزن ۵ لایه شن با اندازه و قطرهای مختلف وجود دارد که از جنس سیلیس می باشند و بصورت تصادفی با اشکال هندسی نامنظم چیده شده اند. اندازه ذرات شن جهت جلوگیری از افت فشار و افزایش شدت جریان آب خروجی از بالا به پایین افزایش می یابد. وقتی آب از بالا وارد مخزن شد ذرات معلق جذب لایه های مختلف شن شده و آبی که از مخزن خارج می شود قسمت دیگری از املاح آن گرفته شده و بیشتر تصفیه می شود. این قبیل صافی ها را نمیتوان بلافاصله پس از مرحله انعقاد بکار گرفت زیرا بسرعت منافذ آنها بسته می شود. سپس آب حاوی کلر را بمنظور کلرزدایی از فیلترهای حاوی کربن فعال عبور می دهند تا تمامی کلر موجود در آن حذف گردد. همچنین اگر آب بویی هم داشته باشد بوی



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



آن گرفته می شود. پس از این مرحله آب را از یک فیلتر نخی عبور می دهند که از چند ردیف دوک تشکیل شده است. چنانچه ذرات ذغال حاصل از مرحله قبل همراه با آب باشد با عبور از این فیلتر این ذرات نیز حذف می شود. آب حاصل با پمپ به سمت خط تولید می رود یا اینکه در مخزن ذخیره آب تصفیه نگهداری و در صورت نیاز، از آن استفاده می شود.

جدول ۲- خصوصیات اصلی تیمار با ازون در تاسیسات واحد بهسازی آب

مورد	نوع	تعداد
دمنده	کمپرسور روتزیخار 18 kg/cm^2 و $4.94 \text{ m}^3/\text{min}$	۶
مولد ازون	هواده با لوله شیشه ای و خروجی بی صدا	۳
تزریق کننده ازون	لوله دیفیوزر	۲
تانک واکنش ازون	بتون مسلح $2.55 * 4.5 * 4.5$	۲
تجزیه کننده ازون	زغال اکتیو و تجزیه کننده 200 متر مکعبی	۳

نتایج و بحث



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



جدول (۳) کیفیت آب را در هر مرحله از عملیات واحد بهسازی لیست نموده است. مرحله تیمار با ازون و فیلتر نمودن با زغال اکتیو بیشترین کاهش را در پتانسیل تشکیل تری هالومتان نشان می دهد این فرایندها هر دو در کاهش سطح میزان مجموع مواد آلی کربن (TOC) و اجزاء فعال متیلن بلو (MBAS) و کاهش نیاز به کلرزی و پرمنگنات پتاسیم مؤثر هستند. این بیانگر آنست که تاسیسات طراحی شده به اهداف طراحی اولیه در تامین آب سالم و بامزه بهتر دست یافته است.

جدول ۳- نتایج عملیاتی واحد تصفیه آب

نیاز MnO_4^- K	نیاز به کلرزی	MBAS	TOC	THM-FP	مرحله تیمار
۷.۶	۲.۲	۸	۱.۹	۵۹	مخزن
۶.۸ (۱۱)	۱۰ (۵۵)	۰.۰۵ (۳۸)	۱.۷۵ (۸)	۵۷ (۳)	پس از تیمار بیولوژیکی
۴.۵ (۴۱)	۰.۵ (۷۷)	۰.۰۵ (۳۸)	۱.۴۳ (۲۵)	۴۴ (۲۵)	پس از تانک ته نشینی
۳.۷ (۵۱)	۰.۴ (۸۲)	۰.۰۴ (۵۰)	۱.۲۸ (۳.۳)	۴۱ (۳۱)	پس از صافی کردن
۲.۶ (۶۶)	۰.۱ (۹۵)	۰.۰۱ (۸۸)	۱.۲۵ (۳۴)	۲۴ (۵۹)	پس از ازون زنی
۱.۵ (۸۰)	۰.۰ (۱۰۰)	۰.۰۱ (۸۸)	۰.۷۲ (۶۲)	۱۵ (۷۵)	پس از صافی زغال اکتیو



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



جدول شماره (۴) عملکرد و نتایج تیمار رنگبری با ازون را با استفاده از روش اسپکتروفوتومتری نشان می دهد. معمولاً درجه رنگ زیر ۱۰٪ عملاً بیرنگ گزارش می گردد که بیانگر اینست که کارکرد مطابق برنامه بوده هر چند که تغییر در ترکیبات و درجه رنگ از خروجی مرحله نهایی تانک محصول در بعضی مواقع دستخوش تغییرات اندکی بوده است.

عملکردهای شماره ۱ تا ۴ در جدول مذکور نشان می دهد حتی زمانیکه مدت زمان توقف بدلیل بالا رفتن ظرفیت تولید بیش از ظرفیت طراحی بوده، عملکرد رنگبری حاصل شده با تقویت میزان تزریق ازون ثابت مانده است. یک فایده جانبی فرایند اینست که نیاز شیمیایی به اکسیژن (COD) محصول خروجی به ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش می یابد.

جدول ۴- نتایج عملیاتی تیمار با ازون در واحد بهسازی

شماره دفعات	جریان ورودی m ³ /hr	زمان واکنش (min)	میزان تزریق Mg/l	خلوص آب اولیه درصد	خلوص آب نهایی درصد	کاهش ناخالصیها درصد	COD اولیه Mg/l	COD نهایی Mg/l	درصد کاهش COD
۱	۲۷۴	۱۳.۹	۳۰.۹	۲۱.۹	۶	۷۳	۲۶.۴	۱۹.۱	۲۸
۲	۲۴۸	۱۵.۴	۳۹	۱۵.۳	۷.۱	۵۴	۲۲.۸	۱۷.۴	۲۴
۳	۲۱۹	۱۷.۴	۲۷	۹.۶	۲.۴	۷۵	۱۶.۳	۱۱.۵	۲۹
۴	۲۳۴	۱۶.۳	۱۷.۴	۴.۳	۱.۶	۶۳	۱۳	۱۱	۱۵
میانگین ۱ تا ۴	۲۴۴	۱۵.۶	۲۸.۶	۱۲.۸	۴.۳	۶۶	۱۹.۶	۱۴.۸	۲۴
۵	۱۳۸	۲۷.۶	۲۹.۱	۲۳.۷	۷.۶	۶۸	۲۱.۳	۱۵.۷	۲۶



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



۳۱	۱۴.۵	۲۰.۹	۶۸	۶.۶	۲۰.۴	۲۳.۹	۲۳.۲	۱۶۴	۶
۱۹	۱۷.۴	۲۱.۶	۶۶	۶.۹	۲۰.۱	۲۲.۲	۲۳.۱	۱۶۵	۷
۲۱	۱۴.۱	۱۷.۹	۷۵	۳.۷	۱۴.۷	۲۰.۲	۲۳.۵	۱۶۲	۸
۲۵	۱۵.۴	۲۰.۴	۶۹	۶.۲	۱۹.۷	۲۳.۹	۲۴.۲	۱۵۷	میانگین ۵ تا ۸

در دفعات شماره ۱ تا ۴ از دو مولد ازون و در دفعات ۵ تا ۸ از یک مولد ازون استفاده شده است.

در این تحقیق مشخص شد که ترکیب تیمار ازون و آب اکسیژنه با هدف دستیابی به سطح 3 mg/l (TOC) یا کمتر یک فرایند نسبتاً ساده و عملی است. مکانیزم واکنش به این صورت است که آب اکسیژنه با ازون واکنش داده و رادیکال آزاد هیدروکسی OH تولید می کند که اکسید کننده تر از ازون می باشد این ذرات قادرند تقریباً تمامی باقیمانده های ارگانیکی را به گاز کربنیک و آب تجزیه نمایند. در حالیکه ازون به تنهایی تا حد قابل ملاحظه ای TOC را کاهش نمی دهد اضافه نمودن آب اکسیژنه سبب کاهش TOC تا حد کمتر از $5-1 \text{ mg/p}$ می گردد. فرایند ترکیبی بسیار مؤثرتر بوده و میزان ازون مصرفی به ازاء حذف TOC کمتر از مقدار لازم در حالت ازون زنی معمولی بوده و راندمان جذب ازون بیشتر از روش ازون زنی معمولی می باشد. تحقیقات نشان می دهد که نتیجه آزمایشات راندمان جذب در یک حوضچه با عمق ۳۰ سانتی متر کمتر از ۱۰٪ است در حالیکه با اضافه نمودن آب اکسیژنه راندمان جذب به بیش از ۴۰٪ افزایش می یابد. میزان جذب تا زمانیکه آب اکسیژنه در محیط بوده و واکنش پایان می یابد در حد بالا باقی می ماند. جذب بالا به این دلیل است که ازون حل شده به سرعت در واکنش با آب اکسیژنه و رادیکال آزاد هیدروکسی شرکت می نماید. با بهره گیری از امکانات ازون زنی همراه با آب اکسیژنه میتوان انتظار داشت که راندمان جذب در مخزن به عمق ۴ تا ۵ متر به ۲۰ تا ۲۵ درصد برسد. لذا می توان چنین نتیجه گیری کرد که تیمار ترکیب ازون و آب اکسیژنه بطور مؤثر TOC را کاهش می دهد و نیاز به تجهیزات پیچیده تری داشته و در بازیافت آب نقش مناسبتری خواهد داشت.



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



یکی دیگر از ویژگیهای ازون، اثر ضد پاتوزنی آن است که از چند جهت قابل بررسی است. اثر کشندگی آن روی باکتریها، ویروسها، قارچها و بسیاری از پرتوزواها مهمترین عامل بکارگیری آن در سیستم آبهای آشامیدنی شهرهای مختلف دنیا می باشد. مکانیزم تخریب ازون بر روی باکتریها احتیاج به بررسی بیشتر دارد. مشخص گردیده، ازون در متابولیسم سلول باکتری دخالت کرده، به احتمال زیاد عملکرد سیستم کنترل آنزیمی آنها را مختل می نماید. تعدادی از محققین هم معتقدند که وجود مقادیر کافی ازون، غشاء سلولی را شکسته و سبب انهدام باکتری می گردد. خانواده بیشمار از ویروسهای ۱ و ۲ از جمله پاراویروسها و هپاتیت های A و B، به واکنش با ازون حساس هستند. ازون با نفوذ به لایه پروتئینی هسته نوکلئیک اسید باعث تخریب RNA ویروس می شود. در غلظت های بالاتر ازون سبب تخریب لایه خارجی کپسول پروتئینی بدلیل اکسیداسیون خواهد شد. در این تحقیق مشخص گردید نمونه های آبی که با استفاده از ازون گندزدایی شده اند هیچ گونه آلودگی میکروبی را نشان نمی دهند. در سایر نمونه های آب، آلودگی میکروبی به مقدار بسیار کم مشاهده شد که اغلب، آلودگی های ثانویه هستند.

منابع

۱. امیریگی، ح. ۱۳۸۳. اصول تصفیه و بهداشت آب، موسسه انتشاراتی اندیشه رفیع.
۲. پیگیری، محمود و کرباسیان، احمد. ۱۳۸۳. آزمایش های آب، انتشارات ارکان.
۳. Emerson, M.A., O.J., Sproul & CE., Buck. ۱۹۹۲. Ozone Inactivation of Cell-Associated Viruses, Appl. Environ Microbiol., Vol.۳, No.۴۳, PP.۶۰۳-۶۰۸.
۴. Hirotsuji, J, Y, Kawaai & T., Tamura . ۲۰۰۶ . Advanced Ozone Water Treatment Technology, R&D progress Report , Mitsubishi Electric Advance, PP. ۲۴-۲۸.
۵. Absi , F. et al , Pilot plant investigation of ozone disinfection of physicochemically treated municipal waste water , ozonia ltd



همایش ملی مدیریت بحران آب
The National Conference on Water Crisis Management
دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸



-
۶. Alekseeva , V. , ۱۹۶۵ , Use of ozone in the purification of waste water , Journal of chemistry and technology of fuels and oils , ۱ (۸) . ۶۱۶ – ۶۱۹
 ۷. Blonskaja , V. , Kamenev , I. and Sergei , Z., ۲۰۰۶ , Possibilities of using ozone for the treatment of waste water from the yeast industry , Proc. Estonian Acad.Sci.Chem. ۵۵ (۱) , ۲۹-۳۹
 ۸. Klasson , K. et al , ۲۰۰۲ , Ozone treatment of soluble organics in the produced water , Oak kingoe national laboratory
 ۹. Koltunski , E. and Plumridge , J. , Ozone as a disinfecting agent in the reuse of waste water , ozonia ltd
 ۱۰. Ozone , ۱۹۹۹ , national drinking water clearinghouse fact sheet
 ۱۱. Ozone disinfection , ۱۹۹۹ , national drinking water clearinghouse fact sheet
 ۱۲. U.S. Environmental Protection Agency , ۱۹۹۹ , Waste water technology fact sheet : Ozone disinfection , Washington , D.C. : EPA office of water