

استفاده از ترکیب یون مس، اسید آسکوربیک و اکسیژن محلول تحت فشار در گندزدایی پساب ثانویه فاضلاب

رامین نبی زاده^۱، رضا نعمتی^۲، حسن اصلانی^۳، محمود علی محمدی^۱

۱. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۲. نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران. E-mail: reza-nemati@hotmail.com

۳. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از اسید آسکوربیک (AA) به همراه یون مس (Cu) در گندزدایی، بر اساس این یافته بوده است که طی اکسیداسیون AA در حضور Cu، ترکیباتی تولید می‌شوند که از خود اثر ضد میکروبی نشان داده و حتی توانایی نابود کردن اسپورهای برخی از باکتری‌ها را دارند. تحقیقات بیشتر نشان داد حضور اکسیژن محلول در این فرآیند ضروری است. بر این اساس و با توجه به مشکلات گندزدهای رایج کنونی فاضلاب مانند کلر و متعاقب آن لزوم یافتن روش‌های دیگر، هدف این تحقیق بررسی عملکرد ترکیب Cu-AA و اکسیژن محلول در گندزدایی پساب فاضلاب می‌باشد.

روش کار: این تحقیق با تزریق دوزهای مختلف گندزدها در دو حالت اعمال و عدم اعمال اکسیژن محلول تحت فشار انجام شد. استاندارد خروجی کلیفرم‌های گرمای سازمان محیط زیست ایران و رهنمود سازمان جهانی بهداشت بعنوان سطح قابل قبول گندزدایی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، استفاده ترکیبی از یون مس و اسید آسکوربیک در دوزهای متعارف توانست استانداردهای مشخص شده را تامین نماید. اضافه کردن اکسیژن محلول تحت فشار، کارایی این سیستم را افزایش داد. تزریق دوز $3\text{Cu}+50\text{AA}$ (mg/L) در هر دو حالت حضور و عدم حضور اکسیژن محلول، سبب تامین رهنمود WHO شد. استاندارد محیط زیست ایران فقط در دوز آخر ($5\text{Cu}+100\text{AA}$) و در حضور اکسیژن محلول برآورده شد.

نتیجه گیری: در تحقیق حاضر از ترکیب Cu-AA و تزریق اکسیژن در گندزدایی نمونه پساب در شرایط پابلوت استفاده شد. کارایی حذف کلیفرم‌های گرمای این ترکیب قابل قبول بوده و در دوزهای متعارف، استاندارد مورد نظر را برآورده کرد.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، کلیفرم‌های گرمای، پساب ثانویه، گندزدایی

دریافت: ۸۹/۱۲/۱۹

پذیرش: ۹۰/۲/۲۲

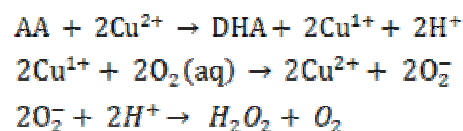
مقدمه

از روش‌های جدیدی که اخیراً در گندزدایی پساب فاضلاب مورد توجه قرار گرفته است، می‌توان به روش

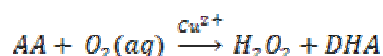
استفاده از گندزدهای ترکیبی اشاره کرد. در این روش از ترکیب دو ماده، یا بیشتر از دو ماده به صورت همزمان یا به دنبال هم استفاده می‌شود که بر روی هم

اثر تشدیدکنندگی دارند. در سال‌های اخیر گرایش به استفاده از این نوع گندزداها بیشتر شده است. از دلایل مهم گرایش به این روش‌ها می‌توان به موثر بودن در کاهش تولید ترکیبات جانبی در فرآیند گندزدایی، نیاز به غیرفعال‌سازی بیشتر میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از پساب تصفیه‌شده بر اساس قوانین جدیدتر و موثرتر بودن استفاده ترکیبی از گندزداها نسبت به استفاده منفرد از آنها به علت خاصیت تشدیدکنندگی اشاره کرد [۱].

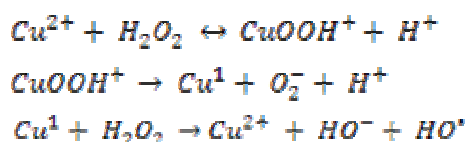
یک گروه از این گندزداهای ترکیبی که خاصیت میکروبی‌کشی آنها مورد آزمایش قرار گرفته است، محلول‌های فنتون هستند که در آنها از یون‌های فلزی گوناگون به‌ویژه یون مس، به‌علاوه اسید آسکوربیک و یا هیدروژن پراکسید به منظور تولید هیدروکسیل با واکنش‌پذیری بالا، استفاده می‌شود [۲]. استفاده از اسید آسکوربیک به‌همراه یون مس در گندزدایی بر اساس این یافته بوده است که در طی اکسیداسیون اسید آسکوربیک در حضور یون مس، ترکیباتی تولید می‌شوند که از خود اثر ضد میکروبی نشان می‌دهند [۲-۵]. گفته می‌شود در حین این اکسیداسیون، پراکسید هیدروژن تولید می‌شود [۳]. مطالعات دیگر نشان داده است اسید آسکوربیک در ترکیب با مس، برای میکروارگانیسم‌ها سمی می‌باشد. با انجام آزمایشات بیشتر، این سمیت به تولید رادیکال‌های آزاد نسبت داده شد و با توجه به این‌که اکسیژن محلول برای ایجاد این سمیت ضروری تشخیص داده شد واکنش‌های شیمیایی زیر پیشنهاد گردیده است [۴-۵]:



مجموع واکنش‌های فوق به صورت زیر است [۵]:



همان‌طور که در این واکنش‌ها مشاهده می‌شود، اسید آسکوربیک در واکنش با مس II به DHA یا دی‌هیدروآسکوربیک اسید اکسید می‌شود و یون مس II را به مس I احیاء می‌کند و در نهایت مس I اکسیژن محلول موجود را با واکنش با یون هیدروژن به پراکسید هیدروژن تبدیل می‌کند. با توجه به وجود یون مس، پراکسید هیدروژن به رادیکال هیدروکسیل که ترکیبی فوق‌العاده سمی برای میکروارگانیسم‌ها می‌باشد، تبدیل می‌شود. واکنش‌های پیشنهادشده برای تولید رادیکال‌های آزاد بوسیله پراکسید هیدروژن و یون‌های مس نیز به صورت زیر می‌باشد [۶]:



در مطالعات انجام‌گرفته، تاثیر سینرژیستی اسید آسکوربیک بر خاصیت ضد میکروبی یون مس و ترکیب یون مس و پراکسید هیدروژن در شرایط مختلف به اثبات رسیده است. مطالعه‌ی استاو و پراتز^۱ بر روی سینتیک آسیب‌رساندن پراکسید هیدروژن، یون مس واسید اسکوربیک به DNA، نشان داد تجزیه DNA توسط پراکسید هیدروژن و یون مس در غیاب اسید آسکوربیک حدود ۱۰۰ برابر کندتر از زمان حضور اسید آسکوربیک است [۷]. نادین^۲ در سال ۱۹۸۲ کارایی گندزدایی ترکیبی مس- اسید آسکوربیک و پراکسید هیدروژن را در میزان حذف شمارش بشقابی اولیه از آب مورد بررسی قرار داد [۳]. در این تحقیق مس با غلظت ۰/۵ mg/l و اسید آسکوربیک با غلظت ۱۰ mg/l به صورت مجزا و ترکیبی به‌کار برده شدند. بر اساس نتایج این تحقیق مس با غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر در مدت زمان ۶۰ دقیقه، ۶۹/۳ درصد حذف در شمارش بشقابی اولیه نشان داده که با استفاده

1. Reinhard Stoeve And Walter A. Prutz

2. Nadine

گرفت. نتایج به دست آمده با استاندارد خروجی سازمان محیط زیست ایران (جهت استفاده مجدد در کشاورزی) [۸] و استاندارد سازمان جهانی بهداشت (جهت استفاده مجدد و بدون محدودیت در آبیاری) [۹] مورد مقایسه قرار گرفت تا قدرت گندزدایی و همچنین میزان انعطاف پذیری این ترکیب در گندزدایی پساب مشخص گردد.

روش کار

این تحقیق که از نوع مطالعه بنیادی-کاربردی می باشد، طی مراحل مختلف و با استفاده از مواد، وسایل و روش های زیر انجام شده است.

نمونه برداری: نمونه های مورد آزمایش در این تحقیق به صورت روزانه از پساب خروجی حوضچه ته نشینی ثانویه و قبل از مرحله ی گندزدایی تصفیه خانه زرگنده تهران، در یک ظرف ۱۰ لیتری شسته شده غیراستریل، به آزمایشگاه منتقل و مورد آزمایش قرار گرفت. کل نمونه حداکثر در ۵ ساعت مورد آزمایش قرار می گرفت. حجم نمونه مورد استفاده در آزمایشات گندزدایی ۱ لیتر بوده است.

- **ارزیابی اولیه پساب مورد آزمایش:** در این مرحله آزمایش هایی از قبیل فکال کلیفرم، کل ذرات معلق (TSS)، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ۵ روزه (BOD_5)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) براساس روش های ذکر شده در کتاب استاندارد متد [۱۰] روی نمونه تهیه شده انجام می گرفت. همچنین آزمایش های تعیین pH و اکسیژن محلول به وسیله دستگاه های موجود در آزمایشگاه انجام گرفته تا خصوصیات کلی نمونه های مورد آزمایش مشخص شود.

- **مواد شیمیایی مورد استفاده:** از دی کلرید مس دو آبه ($CuCl_2 \cdot 2H_2O$) تهیه شده از شرکت مواد شیمیایی مرک، شماره محصول ۱۰۲۷۳۳ (بعنوان منبع مس (II) استفاده شد. همچنین اسید آسکوربیک (شماره محصول ۵۰-۸۱-۷) از شرکت مواد شیمیایی Applichem، نمک

ترکیبی این غلظت با ۱۰ میلی گرم بر لیتر اسید آسکوربیک، این میزان حذف به ۸۲/۴٪ رسید که حاکی از اثر سینرژیستی قابل توجه اسید آسکوربیک بر کارایی یون مس بود. آمرام^۱ و همکاران در سال ۱۹۸۳ تحقیقی در رابطه با سمیت اسید آسکوربیک و یون های فلزی بر روی دو نوع باکتریوفاژ انجام داده و نتیجه گرفتند که سمیت اسید آسکوربیک بستگی به حضور یون های فلزی و اکسیژن محلول و یا یون های فلزی و پراکسید هیدروژن دارد. سمیت اسید آسکوربیک با حضور فلزات واسطه خصوصاً مس، چندین برابر گزارش شد. همچنین میزان آسیب به سلول ها با حضور هیدروژن پراکسید افزایش نشان داد [۲].

کراس^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۳ با مطالعه ای بر روی خاصیت اسپورکشی یون های مس، اسید آسکوربیک و اکسیژن محلول دریافتند که یون های مس در صورت حضور اکسیژن محلول و اسید آسکوربیک، به طور موثرتری در تولید رادیکال های هیدروکسیل نقش ایفا می کنند [۵].

در مطالعه ی دیگری شاپیرو^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش کردند که محلول فنتون با فرمولاسیون مس II و اسید آسکوربیک و پراکسید هیدروژن، توانایی از بین بردن اسپور ها را داراست [۴].

با توجه به این مساله که قدرت گندزدایی ترکیب یون مس (II)، اسید آسکوربیک و اکسیژن محلول در مطالعات گذشته بالا گزارش شده است و از طرفی لزوم یافتن روش های جدید گندزدایی فاضلاب جدی به نظر می رسد، در تحقیق حاضر با بکار بردن ترکیب یون مس- اسید آسکوربیک و اعمال اکسیژن محلول تحت فشار یک اتمسفر (جهت تشخیص تاثیر حضور اکسیژن محلول با غلظت بالا) کارایی این سیستم در گندزدایی پساب ثانویه فاضلاب مورد مطالعه قرار

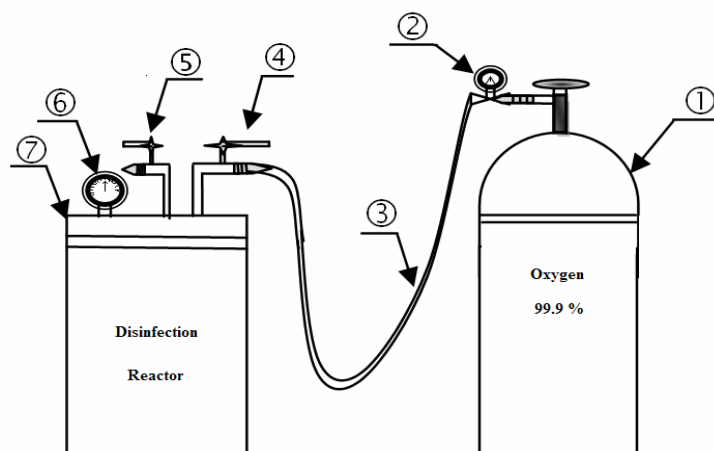
1. Amram
2. Cross
3. Shapiro

محلول‌های استوک با غلظتی تهیه می‌گردید که مجموع حجم محلول‌های استوک اضافه شده به نمونه کمتر از ۲۵ میلی لیتر (۲/۵٪) و حجم اضافه‌شده هر محلول بیشتر از ۲ میلی لیتر باشد.

- انجام آزمایشات: برای انجام آزمایشات مربوط به گندزدایی پساب از دو ظرف (راکتور) استیل ضد زنگ ۶ لیتری درب‌دار استفاده شد. یکی از این ظروف ساده و دیگری دارای تجهیزاتی برای فراهم‌آوردن شرایط اعمال یک اتمسفر فشار گاز اکسیژن بود. شکل شماتیک این ظرف و تجهیزات به کار گرفته‌شده، در شکل ۱ نشان داده شده است.

سدیم EDTA (شماره محصول ۳۲۴۵۰۳) و محیط کشت Al-medium (شماره محصول ۱۰۰۴۱۵۰۵۰۰) همگی از شرکت مرک تهیه و استفاده شدند.

- تهیه محلول‌های استوک از مواد شیمیایی مورد استفاده: برای تزریق مواد شیمیایی، از محلول‌های استوک که به صورت تازه و قبل از انجام آزمایش تهیه می‌گردید، استفاده شد. نکته مهم در تهیه غلظت استوک محلول‌ها رعایت حداقل و حداکثر حجم اضافه‌شده به نمونه‌ها می‌باشد. حداقل حجم جهت داشتن دقت کافی، ۲ میلی لیتر و حداکثر به منظور جلوگیری از رقیق‌شدن و ایجاد خطای نامتعارف ناشی از آن، حجم مجموع اضافه‌شده کمتر از ۲/۵٪ اعمال شده است. با توجه به این که حجم نمونه پساب مورد آزمایش ۱ لیتر بود،



شکل ۱. شکل شماتیک ظرف مورد استفاده در آزمایشات بکارگیری اکسیژن محلول تحت فشار در گندزدایی پساب

(۱) کپسول اکسیژن، (۲) شیر فشار شکن، (۳) شیلنگ انتقال گاز اکسیژن به ظرف، (۴) شیر تنظیم اکسیژن ورودی، (۵) شیر اکسیژن خروجی، (۶) فشار سنج، (۷) درب پیچی ظرف

۶۰ دقیقه بوده است. بعد از انجام گندزدایی به منظور متوقف کردن فعالیت مواد گندزدا، از محلول‌های خنثی‌کننده EDTA (جهت خنثی‌سازی یون مس) با نسبت مول به مول استفاده شد. با توجه به سمیت کم اسیدآسکوربیک و همچنین انجام رقیق‌سازی با سرم فیزیولوژی استریل جهت کشت میکروبی، خنثی‌کننده‌ای برای این ماده استفاده نشده است.

در این تحقیق آزمایشات در چهار مرحله دوگانه انجام پذیرفت. در هر مرحله یک نوع گندزدا در دو حالت بدون اعمال اکسیژن تحت فشار و اعمال یک اتمسفر فشار گاز اکسیژن در دوزهای مختلف تزریق شد. در

جدول ۱ مراحل آزمایش بدون اعمال اکسیژن تحت فشار نشان داده شده است. هر یک از این فازها به صورت هم‌زمان با اعمال اکسیژن تحت فشار یک اتمسفر انجام شد. در تمام این آزمایشات زمان ماند

جدول ۱. دوزهای تزریقی در مراحل انجام آزمایشات گندزدایی (میلی گرم بر لیتر)

مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم
شاهد	Cu(II)	AA [™]	Cu(II) + AA
-	۰/۰۱	۱	۱
-	۰/۱	۵	۵
-	۰/۵	۱۰	۱۰
-	۱	۲۰	۲۰
-	۳	۵۰	۵۰
-	۵	۱۰۰	۱۰۰

HP* = Hydrogen Peroxide
AA[™] = Ascorbic Acid

- شاخص میکروبی گندزدایی و روش سنجش آن: با توجه به این که کلیفرم های مدفوعی یکی از مهم ترین شاخص های گندزدایی در تصفیه آب و فاضلاب بوده و به عنوان شاخصی برای استانداردهای گندزدایی می باشند [۱۱]، از آنها برای تعیین کافی بودن گندزدایی

استفاده شده است. جهت سنجش آن از روش مستقیم (آزمون مستقیم کلیفرم گرمپای) ذکر شده در کتاب استاندارد متد ویرایش بیست و یکم بخش E-9221 برای شمارش تعداد کلیفرم های مدفوعی قبل و بعد از آزمایشات نمونه ها استفاده شد. محیط کشت مورد استفاده در این روش محیط A1-Medium می باشد [۱۰].

- آنالیز اطلاعات: در این تحقیق، نرم افزار Excel جهت آنالیز اطلاعات به دست آمده مورد استفاده قرار گرفت.

یافته ها

- خصوصیات کلی پساب مورد آزمایش: در جدول ۲ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی پساب نشان داده شده است.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی پساب مورد آزمایش

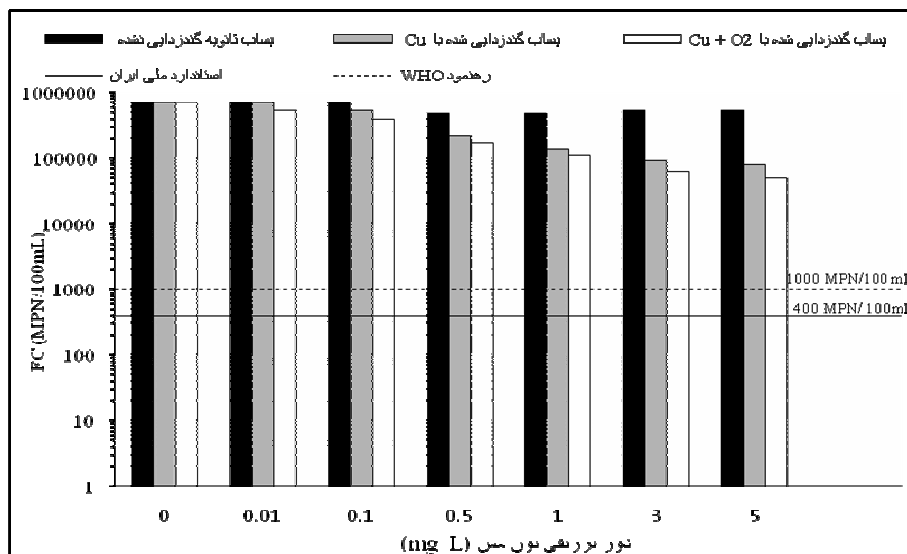
پارامتر	دامنه		میانگین	انحراف معیار
	حداقل	حداکثر		
دما	۱۷/۴	۱۹	۱۷/۸۸	۰/۳۲
pH	۶/۸۷	۷/۸۱	۷/۴۷	۰/۴۰
BOD5 (mg/L)	۱۵/۴	۶۲/۷	۳۴/۹	۱۴/۲
COD (mg/L)	۲۸/۷	۹۸/۷	۳۶/۱۲	۱۴۸
TS (mg/L)	۲۸۰	۶۴۰	۴۹۲	۳۱/۹۴
TDS (mg/L)	۲۷۶	۶۰۵	۴۶۹/۱	۱۳۴/۸۸
کلی فرم مدفوعی (MPN/100 mL)	۲/۵ × ۱۰۵	۱/۳ × ۱۰۶	۵۵۰ × ۱۰۵	--

- نتایج حاصل از آزمایش های گندزدایی: در شکل ۲ کارایی یون مس به تنهایی و در حضور یک اتمسفر فشار گاز اکسیژن، در گندزدایی پساب ثانویه فاضلاب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، یون مس در هر دو حالت تا غلظت ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، تاثیر قابل توجهی بر جمعیت کلی فرم های مدفوعی ندارد. در دوزهای بالاتر از ۰/۵ میلی گرم بر لیتر، با افزایش دوز مس میزان کارایی یون مس در

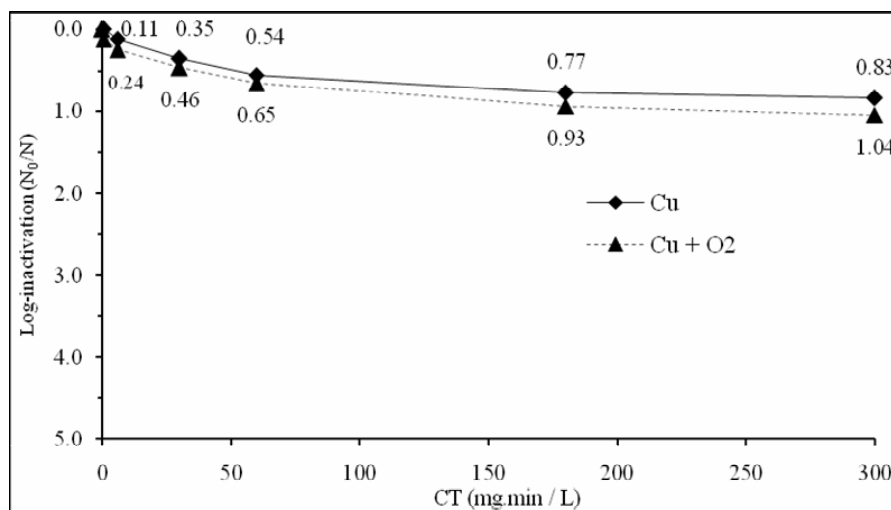
حذف کلیفرم های مدفوعی افزایش یافته است. اگرچه کارایی استفاده ترکیبی از یون مس و اکسیژن محلول تحت فشار نسبت به کارایی یون مس به تنهایی بالاتر است، ولی این میزان تقریباً ناچیز بوده و در عمل تا دوز ۵ میلی گرم بر لیتر یون مس که دوز بسیار بالایی برای این یون در پساب می باشد، میزان کلیفرم های گرمپای به میزان استانداردهای مورد نظر نرسیده است. در شکل ۳ میزان کارایی یون مس و ترکیب یون

است. همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود، این اختلاف کارایی کم و میزان تقریباً ثابتی می‌باشد.

مس و اکسیژن محلول تحت فشار بر اساس CT (فاکتور غلظت در زمان) مورد مقایسه قرار گرفته



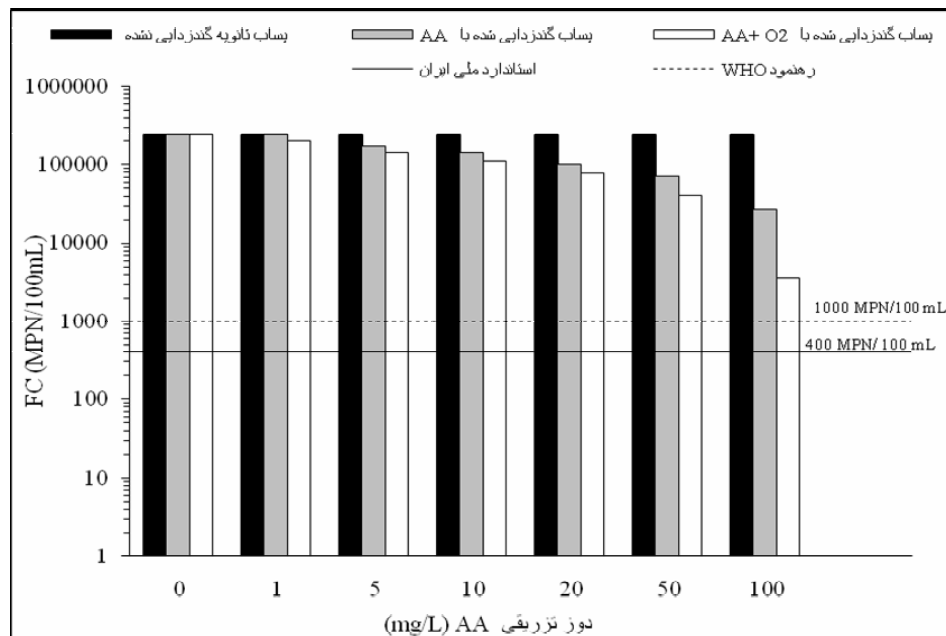
شکل ۲. کارایی دوزهای مختلف یون مس (II) به تنهایی و به همراه اکسیژن، در غیرفعال‌سازی کلیفرم‌های گرمای از پساب ثانویه



شکل ۳. تغییرات میزان لگاریتم غیرفعال‌سازی کلیفرم گرمای در برابر فاکتور «غلظت در زمان» یا C.T با استفاده از مس (II) تنها و مس (II) به همراه اکسیژن

سازد. در این شکل مشاهده می‌شود که کارایی ترکیب اکسیژن محلول تحت فشار- اسیداسکوربیک در حذف کلیفرم‌های گرمای از پساب، نسبت به اسیداسکوربیک تنها، با سرعت بیشتری افزایش یافته است. این روند در شکل ۵ با وضوح بیشتری با لگاریتم کاهش در مقابل ضریب CT نشان داده شده است.

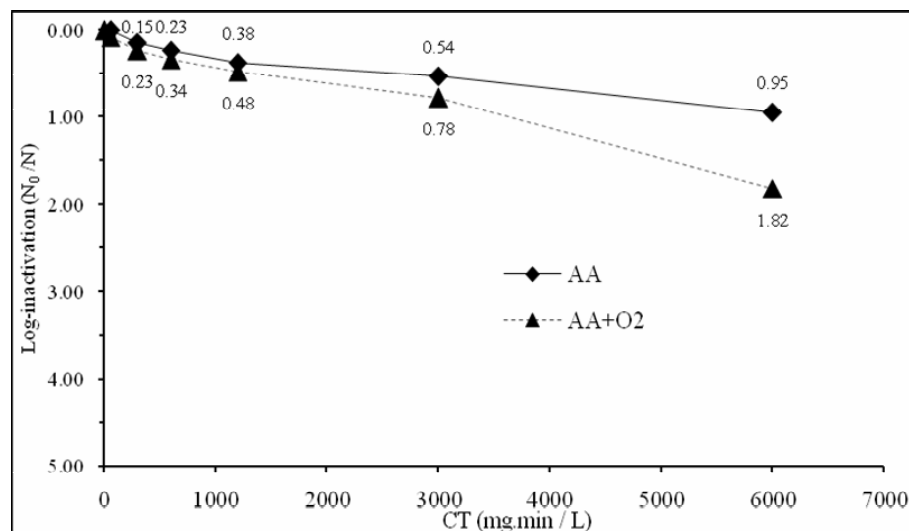
نتایج حاصل از تزریق دوزهای مختلف اسیداسکوربیک به تنهایی و در ترکیب با اکسیژن محلول تحت فشار در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، اسیداسکوربیک تا دوز ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در هر دو حالت آزمایش، نتوانسته است هیچ‌کدام از استانداردهای مورد نظر را برآورده



شکل ۴. کارایی دوزهای مختلف اسید آسکوربیک در غیرفعال سازی کلیفرم های گرمای از پساب ثانویه به تنهایی و به همراه اکسیژن

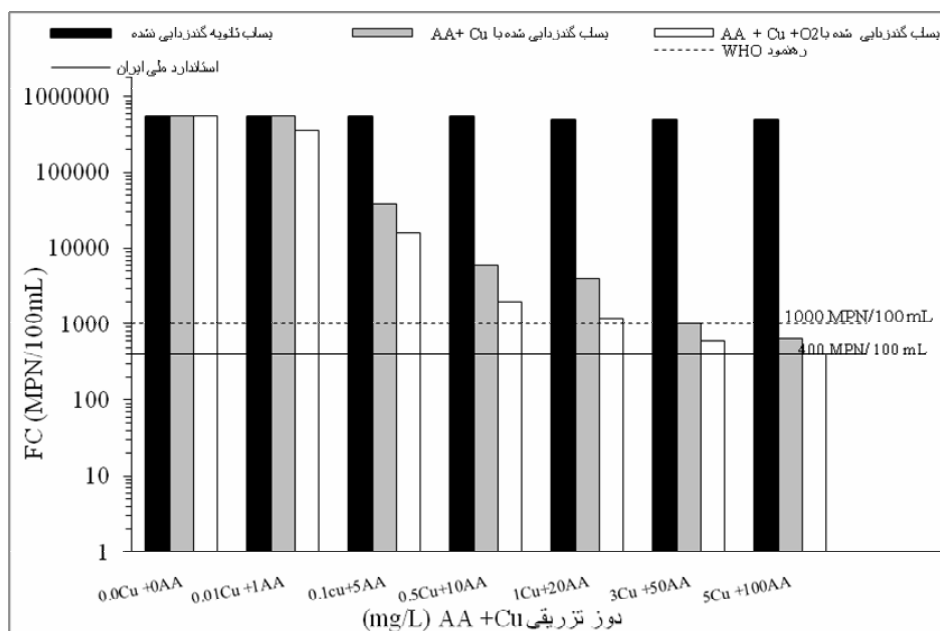
گرمای با استفاده از اسید آسکوربیک-اکسیژن محلول تحت فشار، ۰/۸۷ لگاریتم بیشتر از استفاده اسید آسکوربیک به تنهایی است. این اختلاف در $CT=1000 \text{ mg.min/L}$ حدود ۰/۱ لگاریتم است (شکل ۵).

همان طور که دیده می شود، در CT برابر و کمتر از 1000 mg.min/L اختلاف کارایی دو حالت آزمایش حداکثر ۰/۱ لگاریتم می باشد، ولی در CT بالاتر، این اختلاف بیشتر می شود، بطوری که در $CT=6000 \text{ mg.min/L}$ میزان کاهش کلیفرم های



شکل ۵. تغییرات میزان لگاریتم غیرفعال سازی کلیفرم گرمای در برابر فاکتور «غلظت در زمان» یا CT با استفاده از اسید آسکوربیک تنها و اسید آسکوربیک به همراه اکسیژن

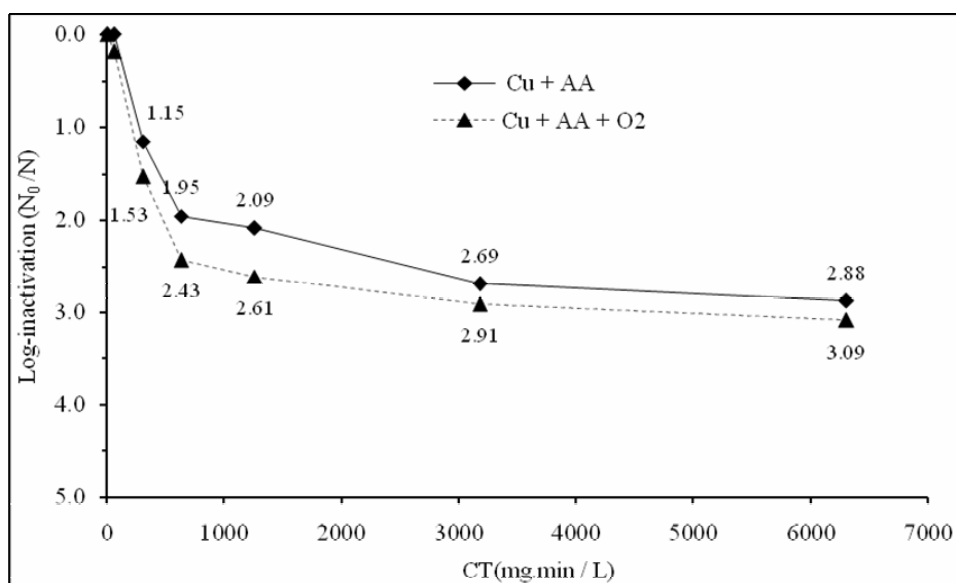
در شکل ۶ نتایج حاصل از استفاده ترکیبی مس-اسید آسکوربیک بدون اعمال اکسیژن محلول تحت فشار و با اعمال اکسیژن محلول تحت فشار نشان داده شده است.



شکل ۶. کارایی دوزهای مختلف یون مس (II) و اسید آسکوربیک در غیرفعال سازی کلیفرم های گرمای از پساب ثانویه به تنهایی و به همراه اکسیژن

گرمای به حد استاندارد WHO رسیده است. با این حال استاندارد کشورمان فقط در دوز آخر و در حضور اکسیژن محلول تحت فشار تامین شده است.

همان طور که در این شکل دیده می شود، سرعت حذف کلیفرم های گرمای با شیب بسیار تندی زیاد شده است، بطوری که در دوز 3Cu+50AA میلی گرم بر لیتر، در هر دو حالت آزمایش میزان کلیفرم های



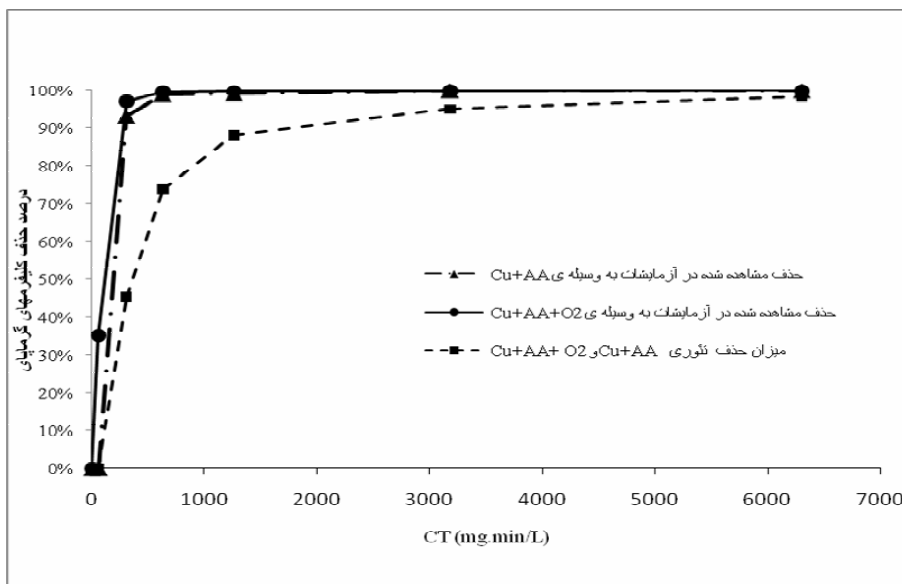
شکل ۷. تغییرات میزان لگاریتم غیرفعال سازی کلیفرم گرمای در برابر فاکتور «غلظت در زمان» (CT) با استفاده از ترکیب یون مس و اسید آسکوربیک و ترکیب یون مس و اسید آسکوربیک به همراه اکسیژن

در شکل ۷ عملکرد گندزدایی پساب با استفاده از ترکیب دوگانه یون مس- اسیدآسکوربیک و ترکیب سه گانه یون مس- اسیدآسکوربیک- اکسیژن برحسب لگاریتم کاهش کلیفرم‌های گرمای مقایسه شده است. این شکل نشان می‌دهد که اثر تشدیدکنندگی اکسیژن محلول تحت فشار، در ابتدا با افزایش CT افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به میزان مشخصی از CT (حدود 1000 mg.min/L)، این اختلاف شروع به کم شدن کرده و سپس در حد تقریباً ثابتی باقی می‌ماند. در CT 6000 mg.min/L ، میزان لگاریتم کاهش کلیفرم‌های مدفوعی برای این دو حالت به ترتیب $2/88$ لگاریتم (حالت بدون اعمال اکسیژن محلول تحت فشار) و $3/08$ لگاریتم (حالت با اعمال اکسیژن محلول تحت فشار) می‌باشد.

بحث

بر اساس نتایج بدست‌آمده از این تحقیق، یون مس، اسیدآسکوربیک به تنهایی در دوزهای متعارف قادر به انجام گندزدایی مطابق با استاندارد خروجی کشورمان و حتی رهنمود WHO نمی‌باشند. با این حال استفاده ترکیبی از این دو ماده نتایج قابل توجهی را نشان داد و

در دوزهای خاصی توانست استانداردهای مشخص‌شده را تامین نماید. اضافه کردن اکسیژن محلول تحت فشار کارایی این سیستم را تا حدود زیادی افزایش داد. در شکل ۸ میزان درصد حذف کلیفرم‌های گرمای بدست‌آمده از آزمایشات گندزدایی ترکیب دوگانه یون مس- اسیدآسکوربیک و ترکیب سه گانه یون مس- اسیدآسکوربیک- اکسیژن تحت فشار، با میزان حذف تئوری مورد انتظار مقایسه شده است. میزان درصد حذف تئوری با استفاده از نتایج بدست‌آمده از کاربرد مجزای هر گندزدا و با فرض نداشتن تاثیر تشدیدکنندگی گندزداهای بکاربرده شده بر روی یکدیگر، محاسبه شده است. با توجه به این که میزان حذف اکسیژن محلول تحت فشار صفر بوده است، لذا میزان حذف تئوریک $\text{Cu} + \text{AA} + \text{O}_2$ و $\text{Cu} + \text{AA}$ باهم برابر شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اثر تشدیدکنندگی این ترکیبات با یکدیگر سبب شده است برای دست‌یافتن به میزان حذف حدود 97% از کلیفرم‌های گرمای به‌جای نیاز به $CT \sim 6500 \text{ mg.min/L}$ مورد انتظار، $CT \sim 1500 \text{ mg.min/L}$ کافی باشد. در این شکل تاثیر اکسیژن محلول تحت فشار نمایان نمی‌باشد.



شکل ۸. مقایسه میزان کارایی تئوریک و میزان کارایی واقعی ترکیب $\text{Cu}/\text{AA}/\text{O}_2$ و Cu/AA در حذف فکال کلیفرم‌های گرمای در برابر فاکتور CT

در فرآیندهای مختلف و اصلاح شده فنتون، یون‌های دو فلز آهن و مس بیشترین کاربرد را دارا می‌باشند [۱۲-۱۳]. اگرچه از نقطه نظر زیست‌محیطی استفاده از فلز آهن نسبت به استفاده از فلز مس ترجیح داده می‌شود، ولی استفاده از یون آهن در فرآیند فنتون با هدف گندزدایی موفقیت‌آمیز نبوده است [۳]. قدرت یون مس در اکسیداسیون اسیدآسکوربیک، ۸۰ برابر عنوان شده است [۲]، بنابراین استفاده از آن نیازمند دوز به مراتب کمتر و نیز زمان تماس کمتر نسبت به یون آهن می‌باشد. با این حال از معایب ذکر شده در بکارگیری مس به عنوان گندزدا، می‌توان به سمیت این عنصر و ایجاد بیماری‌های مزمن برای انسان و مشکلات زیست‌محیطی آن اشاره کرد [۱۴]، بدین منظور حداکثر غلظت مس در پساب خروجی در استاندارد ایران 0.2 mg/L اعلام شده است [۸]. با این حال گفته می‌شود اضافه کردن یون مس به پساب یا فاضلاب به منظور گندزدایی، سبب واکنش این یون با مواد آلی موجود در فاضلاب می‌شود و ترکیب یون مس و مواد آلی سبب تشکیل مواد بسیار پایدار و کم‌محلول در آب می‌شود. بنابراین میزان یون مس بتدریج از پساب کاسته می‌شود. خاصیت تجمع‌پذیری مس و افزایش غلظت آن در خاک، ایجاد محدودیت‌هایی در فعالیت‌های گیاهان، میکروارگانیسم‌ها و کرم‌های خاکی می‌کند. این مسئله باعث کاهش تجزیه مواد آلی موجود در خاک می‌شود. به هر حال تاکنون محدودیتی برای غلظت مس در خاک و فاضلاب اعمال نشده است [۱۵]. لوانا^۶ و همکاران در سال ۲۰۰۷ با اضافه کردن 12 mg/l مس به فاضلاب خام با TSS $124/6 \text{ mg/l}$ و سپری شدن زمان ۶۰ دقیقه، غلظت مس را $2/98 \text{ mg/l}$ گزارش کردند که حاکی از کاهش ۷۵ درصدی غلظت مس بود. همچنین با اضافه کردن 0.5 mg/l به پساب نهایی تصفیه‌خانه و گذشت زمان ۳۰ دقیقه، به

0.14 mg/l کاهش پیدا کرد. در این تحقیق با اضافه کردن 12 mg/l به فاضلاب خام، حداکثر غلظت مشاهده شده در پساب نهایی کمتر از 1 mg/l بود که این مقدار پایین‌تر از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (2 mg/l) می‌باشد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که غلظت بالای مس عامل محدودکننده‌ای در استفاده از آن به عنوان گندزدا بشمار نمی‌رود. در ارتباط با تجمع پذیری مس در خاک نیز بایستی توجه داشت که مس موجود در خاک بتدریج با مواد آلی واکنش داده و مواد بسیار پایداری ایجاد می‌کند که دارای سمیت بسیار پایین‌تری (نسبت به مس) می‌باشند [۱۵]. به طور کلی به نظر می‌رسد اطلاعات موجود کافی نیست و باید مطالعاتی برای تعیین سرنوشت نهایی مس در پساب انجام شود.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر امکان استفاده از ترکیب یون مس-اسید آسکوربیک و تزریق اکسیژن در گندزدایی پساب واقعی در شرایط پیلوت مورد بررسی قرار گرفت. کارایی این سیستم در حذف کلیفرم‌های گرمای در شرایط پیلوت آزمایشگاهی قابل قبول بوده و استاندارد مورد نظر را برآورده کرد. مطالعات دیگری بر روی تاثیر این سیستم بر دیگر شاخص‌های میکروبی و نیز ارزیابی این سیستم در مقیاس تصفیه‌خانه‌ای باید صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران با کد ۱۱۱۰۶ مورخ ۱۳۸۹/۰۳/۲۷ می‌باشد.

منابع

1. U.S.EPA, Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. 1999, United States Environmental Protection, Office of Water (4607), EPA 815-R-99-014. p. 345.
2. Amram, S., et al., On the cytotoxicity of vitamin C and metal ions. *European Journal of Biochemistry*, 1983. 137(1-2): p. 119-124.
3. Nadine, R.-D., Water disinfection with the hydrogen peroxide-ascorbic acid-copper (II) system. *Appl Environ Microbiol*, 1982. 44(3): p. 555-60.
4. Shapiro, M.P., B. Setlow, and P. Setlow, Killing of *Bacillus subtilis* spores by a modified Fenton reagent containing CuCl_2 and ascorbic acid. *Appl Environ Microbiol*, 2004. 70(4): p. 2535-9.
5. Cross, J.B., et al., Killing of bacillus spores by aqueous dissolved oxygen, ascorbic acid, and copper ions. *Appl Environ Microbiol*, 2003. 69(4): p. 2245-52.
6. Perez-Benito, J.F., Reaction pathways in the decomposition of hydrogen peroxide catalyzed by copper(II). *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2004. 98(3): p. 430-438.
7. Reinhard Stoeve and W.A. Prutz, Copper-catalyzed DNA damage by ascorbate and hydrogen peroxide: kinetics and yield. *Free Radical Biology & Medicine*, 1987. 3: p. 97-105.
۸. سازمان محیط زیست، استانداردهای خروجی فاضلاب. ۱۳۷۳، سازمان محیط زیست ایران. تعداد صفحات: ۵.
9. Blumenthal, U.J.M., D. Duncan, Peasey, Anne Ruiz-Palacios, Guillermo Stott, Rebecca, Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000. 78: p. 1104-1116.
10. Eaton, A.D., et al., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. 2005, Washington, DC: American Public Health Association. 1368.
11. Metcalf, et al., Wastewater engineering : treatment and reuse. McGraw-Hill series in civil and environmental engineering. 2003, Boston; Montréal: McGraw-Hill.
12. Selvakumar, A., et al., Use of Fenton's Reagent as a Disinfectant. *REMEDIATION*, 2009. 19(2): p. 135-142.
13. Luna-Pabello, V.M.R., M. Miranda Jiménez, B. orta de Velasquez, M. T., Effectiveness of the use of Ag, Cu and PAA to disinfect municipal wastewater. *Environmental Technology*, 2009. 30(2): p. 129 - 139.
14. Gadi Borkow and Jeffrey Gabbay, copper as a biocidal tool, in Cupron Inc. 2004: Cupron Inc. p. 1-42.
15. Luna-Pabello, V.M., et al., Effectiveness of the use of Ag, Cu and PAA to disinfect municipal wastewater. *Environmental Technology*, 2009. 30(2): p. 129-139.

Using Copper Ions, Ascorbic Acid and Pressurized Dissolved Oxygen in the Secondary Treated Wastewater Disinfection

Nabizadeh R¹, Nemati R², Aslani H³, Alimohammadi M¹

1. Associate Professor of Environmental Health, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical sciences, Tehran.

2. *Corresponding Author:* M.Sc. Student of Environmental Health, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran. *E-mail:* reza-nemati@hotmail.com

3. M.Sc. of Environmental Health, Faculty of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran.

ABSTRACT

Background and Objectives: The use of ascorbic acid together with copper ions as disinfectant is based on the findings that during oxidation of ascorbic acid in the presence of copper ions, some compounds with antibacterial properties are produced which are able to inactivate some bacterial spores. Further investigation showed that the presence of dissolved oxygen is essential in this process. The aim of this study is to evaluate performance of copper - ascorbic acid and dissolved oxygen combination in disinfection of secondary treated wastewater.

Methods: this study performed with injection of different doses of disinfectants in presence and absence of pressurized oxygen. Iranian environment protection agency and world health organization (WHO) standards and guidelines for concentration of Thermotolerant Coliforms in discharged effluents are used as disinfection target level.

Results: the results of this study showed that using copper ions in combination with ascorbic acid in conventional doses meets the determined disinfection target level. Applying pressurized dissolved oxygen fundamentally increased the system. 3Cu + 50AA mg/L in both presence and absence of pressurized dissolved oxygen met the WHO guideline; however, Iranian EPA standard was met only in last dose (5Cu + 100AA) in presence of O₂.

Conclusion: This study was done in pilot scale. Application of copper-ascorbic acid in presence of pressurized dissolved oxygen can inactivate Termotolorant Coliforms of natural samples of secondary wastewater to acceptable level.

Key words: Ascorbic acid, Thermotolerant Coliforms, Secondary Effluent, Disinfection