مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱، صفحات ۱۸۹ تا ۲۰۰

مقایسه کارایی واکنش‌گر فنتون و فنتون تغییر یافته با مس در گندزدایی فاضلاب خام به منظور استفاده مجدد در کشاورزی

رامین نبی‌زاده نودهی[۱]، حسن اصلانی[۲]، محمود علی‌محمدی[۳]، رضا نعمتی[۴]، کاظم ندافی[۵]، مریم غنی[۶]
نویسنده مسئول: تهران، میدان انقلاب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط *Aslani.ha@gmail.com*

دریافت: ۹۰/۰۵/۲۹ پذیرش: ۹۰/۰۸/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: *استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی باعث افزایش ۴۰ الی ۶۰ درصدی تولید برخی محصولات کشاورزی می‌شود. با این حال، این کار به به دلیل حضور بیش از حد عوامل بیماری‌زا، خطرات زیادی را برای سلامت انسان دارد. هدف اصلی این مطالعه بررسی امکان‌پذیری کاربرد واکنش‌گر فنتون و فنتون تغییر یافته با مس برای گندزدایی فاضلاب خام است.*

روش بررسی: *پس از انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی اولیه در آزمایشگاه، عمل گندزدایی در هر فرایند در سه فاز متفاوت انجام پذیرفت. ابتدا هریک از مواد جداگانه و در دوزهای تعیین شده به فاضلاب افزوده شدند و سپس برای تعیین اثر سینرژیستی، هر یک از کاتالیست‌های آهن و مس با پراکسیدهیدروژن ترکیب شده و عمل گندزدایی انجام گردید. از روش آزمون مستقیم کلی‌فرم مدفوعی(استاندارد متد چاپ ۲۰۰۵) برای کشت میکروبی استفاده شد.*

یافته‌ها: *حداکثر تاثیر پراکسیدهیدروژن در از بین بردن باکتری‌های کلیفرم مدفوعی فاضلاب برابر ۰/۶۶ لگاریتم کاهش است. واکنش‌گر فنتون و واکنش‌گر فنتون تغییر یافته با مس افزایش قابل توجهی در کاهش تعداد باکتری‌ها نشان دادند. به طوری که فنتون و فنتون تغییر یافته با مس ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب سبب ۴/۷۳، ۳/۲۸ و ۴/۸۸ لگاریتم کاهش گردیدند.*

نتیجه‌گیری: *استفاده از پراکسیدهیدروژن به عنوان عامل گندزدا کارایی چندانی در از بین بردن باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی نشان نداد. اما ترکیب آن با یون‌هایی مثل آهن و مس، کارایی آن در گندزدایی را بسیار افزایش داده و اثر سینرژیستی قابل توجهی در قدرت گندزدایی پراکسیدهیدروژن نشان داد. تا جایی‌که در حضور هر کدام از این کاتالیست‌ها، پراکسیدهیدروژن قادر است کلی‌فرم‌های مدفوعی فاضلاب را به حد استاندارد تعریف شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست برساند.*

واژگان کلیدی: فاضلاب خام، گندزدایی، فنتون، پراکسیدهیدروژن، آهن، فنتون تغییر یافته با مس

۱- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۲- دانشجوی دکترای بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۳- دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۴- کارشناس ارشد بهداشت محیط، مربی دانشکده بهداشت و پیراپزشکی آرادان، دانشگاه علوم پزشکی سمنان
۵- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۶- کارشناس ارشد مدیریت محیط زیست، آزمایشگاه دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

مقدمه

تهیه آب سالم و تصفیه فاضلاب‌ها احتمالا مهم‌ترین ابتکار صنعتی در توسعه بهداشت عمومی در قرن بیستم باشد زیرا با تصفیه آب و جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌ها، بیماری‌هایی نظیر تیفوییید، وبا، انواع اسهال و بسیاری از بیماری‌های انگلی تقریبا محو شده است (۱). بر اساس مطالعات انجام شده مشخص شده است که استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی باعث افزایش ۴۰ الی ۶۰ درصدی تولید برخی محصولات کشاورزی نظیر ذرت، گندم، جو و سیب زمینی می‌شود (۲). با این حال، این کار به دلیل حضور بیش از حد عوامل بیماری‌زا، خطرات زیادی را برای سلامت انسان به همراه دارد. طبق تعریف سازمان جهانی بهداشت (WHO) فاضلابی که تعداد کلی‌فرم مدفوعی و تخم انگل آن به ترتیب کمتر از CFU ۱۰۰۰ در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر و یک تخم انگل در هر لیتر باشد، به عنوان فاضلاب گروه A طبقه‌بندی می‌شود. چنین آبی در مکزیک برای آبیاری محصولات کشاورزی و سبزیجاتی که به صورت خام مصرف می‌شوند قابل قبول است (۳و۴). حفظ بهداشت عمومی نخستین نگرانی ناشی از تخلیه فاضلاب‌های حاوی عوامل بیماری‌زا به محیط است. فرایندهای بیولوژیکی متداول ۹۹/۹ – ۹۹ درصد از عوامل بیماری‌زای فاضلاب خام را حذف می‌کنند. کلرزنی پساب نیز قادر است ۹۹/۹۹ درصد از باکتری‌ها، ویروس‌ها و پروتوزواهای پساب را حذف نماید، اما کیست‌های پروتوزواها و تخم کرم‌ها در برابر کلر ترکیبی باقی‌مانده در فاضلاب مقاومت می‌کنند. این در شرایطی است که از دیدگاه شاخص‌های کلی‌فرمی، تعداد کلی‌فرم‌های مدفوعی ممکن است کمتر از ۲۰۰ عدد در ۱۰۰ میلی‌لیتر گزارش گردد و حایز شرایط استاندارد تلقی شود، اما وجود تخم انگل‌ها و کیست‌های پروتوزواها همچنان سلامت عمومی را تهدید کنند (۵).

کلرزنی به دلیل کارایی بالا، هزینه پایین و ایجاد باقی‌مانده آزاد، اصلی‌ترین روش مورد استفاده برای حذف عوامل بیماری‌زای موجود در آب و فاضلاب است(۳،۲و۶). بزرگترین عیب کلرزنی آب افزایش تعداد باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک (که بالقوه بیماری‌زا هستند) و نیز تولید ترکیبات سرطان‌زا (DBPs) است(۷). استفاده از روش‌های گندزدایی دیگر نظیر ازن و اشعه اولتراویوله نیز مشکلات خاص خود را دارند. کاربرد ازن به عنوان گندزدا علاوه بر عدم ایجاد گندزدای باقی‌مانده سبب ایجاد محصولات جانبی گندزدایی نظیر برومات‌ها خواهد شد. به دلیل بالا بودن مواد معلق فاضلاب خام که محافظ عوامل باکتریایی در برابر ماده گندزداست، استفاده از اشعه اولتراویوله که یک روش گندزدای فیزیکی به شمار می‌رود، مشکلات خاصی خواهد داشت (۸). به همین به دلیل به منظور به حداقل رساندن محدودیت‌های روش‌های گندزدایی متداول، تلاش برای پیدا کردن ماده گندزدای جایگزین از موضوعات مهم مطالعات سال‌های اخیر به شمار می‌رود. در مطالعات جدید استفاده از فرایند اکسیداسیون پیشرفته در گندزدایی فاضلاب و پساب مورد ارزیابی قرار گرفته است (۱۴–۹). فرایند اکسیداسیون پیشرفته ترکیبی از ازن، پراکسیدهیدروژن (HP)، اشعه اولتراویوله و ترکیباتی نظیر اینها را شامل می‌شود(۲). به کارگیری HP برای گندزدایی فاضلاب و کاهش کلی‌فرم‌مدفوعی و باکتری‌های بیماری‌زا تا حد قابل قبول مستلزم استفاده از غلظت بالا (بیش از mg/L ۲۵۰) و زمان تماس بیش از ۱۲۰ دقیقه است که کاربرد آن را به عنوان گندزدای موثر به چالش می‌کشد (۹). تلاش‌هایی به منظور رساندن این غلظت و زمان تماس به حد قابل قبول و قابل مقایسه با سایر مواد متداول صورت گرفته است. بیشتر این تلاش‌ها مبتنی بر کاتالیز کردن عمل گندزدایی HP بوده است. از کاتالیزورهای مهم مورد استفاده یون فلزات واسطه هستند که در این میان Cu^{++}، Ag^{+} و Fe^{++} به عنوان کاتالیزور موثر شناخته شده‌اند.گرچه این یون‌ها نیز به تنهایی کارایی لازم برای گندزدایی فاضلاب را ندارند، اما در صورت ترکیب شدن با محلول پراکسیدهیدروژن خاصیت میکروب‌کشی آن را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهند (۱۱). به طور کلی یکی از روش‌های جدید در گندزدایی فاضلاب خام و به ویژه روی فاضلاب تصفیه شده، استفاده از یون‌های فلزی (به عنوان کاتالیزور) به همراه یک ماده گندزدای بی‌ضرر نظیر HP است. واکنش‌گر فنتون($HP + Fe^{++}$) حدود یک صد سال پیش و در سال۱۸۹۴ توسط فردی به نام جی اچ فنتون کشف شد. اما تا سال ۱۹۳۰ مکانیسم آن ناشناخته باقی ماند (۱۵). از مزایای

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

اصلی فنتون انجام اکسیداسیون و کواگولاسیون به صورت همزمان، ارزان بودن، بی‌ضرر بودن و عدم تولید محصولات جانبی است (۱۵و۱۶). به کارگیری مس در حالت یونی به صورت ترکیبی با مواد دیگر، در حذف عوامل بیماری‌زای موجود در فاضلاب خام و پساب موفقیت‌آمیز بوده است. استفاده از Cu^{++} به تنهایی تا غلظت ۰/۲۵ mg/L کلی‌فرم‌های مدفوعی را به صورت کامل غیرفعال نمی‌کند (۹).

مکانیسم اصلی تاثیر پراکسیدهیدورژن در گندزدایی، تولید رادیکاهای آزاد هیدروکسیل است که با پتانسیل اکسیداسیون ۲/۷ الکترون ولت بعد از فلوئور دارای بیشترین پتانسیل اکسیداسیون است. پتانسیل اکسیداسیون HP برابر ۱/۸ است. در حضور یون‌های فلزی نظیر آهن و مس تولید رادیکال هیدروکسیل بسیار تشدید می‌شود. تولید رادیکال‌های آزاد در فرایند فنتون مطابق واکنش‌های زیر صورت می‌گیرد (۱۷و۱۸):

$$H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH^0$$

$$H_2O_2 + Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+} + H^+ + HO_2^0$$

$$Fe^{3+} + HO_2^0 \rightarrow Fe^{2+} + H^+ + O_2$$

هدف اصلی این مطالعه بررسی امکان‌پذیری کاربرد واکنش‌گر فنتون و فنتون تغییر یافته با مس در گندزدایی فاضلاب خام است. در نهایت نتایج حاصل از این دو ماده با یکدیگر مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد به کار برده شده در این مطالعه عبارتند از: محلول ۳۰ درصد پراکسیدهیدروژن، سولفات آهن هفت‌آبه ($FeSO_4.7H_2O$)، کلرور مس دو آبه ($CuCl_2$-$2H_2O$)، نمک (NaCl) جهت تهیه سرم فیزیولوژی، تیوسولفات سدیم، EDTA و محیط کشت A1-Medium. کلیه مواد مورد استفاده در این مطالعه غیر از سولفات آهن از شرکت مرک آلمان تهیه شده‌اند. سولفات آهن از شرکت AlliedSignal خریداری گردید.

نمونه‌برداری

با استفاده از ظرف پلاستیکی از فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب صاحبقرانیه تهران نمونه برداشته شده و آزمایشات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی اولیه ($B.O.D_5$,C.O.D,TSS,pH,FC) در آزمایشگاه انجام گردید. برای سنجش پارامترهای مذکور از روش‌های گفته شده در کتاب استاندارد متد چاپ ۲۰۰۵ استفاده شد(۱۹). لازم به ذکر است که در طی انجام این مطالعه همواره نمونه‌برداری روزانه انجام می‌گرفت و از نگه داری نمونه از یک روز به روز دیگر به دلیل پایین آمدن تیتر میکروبی و تغییر سایر خصوصیات فاضلاب اجتناب گردید.

آماده کردن مواد گندزدا

زمان تماس در طول انجام این مطالعه ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. افزودن مواد گندزدا به این صورت بود که برای واکنش‌گر فنتون همواره نسبت ۴ به ۱ پراکسیدهیدروژن به آهن در طول آزمایشات رعایت گردید. غلظت پراکسیدهیدروژن به کار برده شده در این مطالعه ۸۰۰ mg/L – ۱۰ بوده است. در مورد یون مس با توجه به استاندارد مس در پساب که ۲ mg/L ذکر گردیده است و با توجه به مطالعات قبلی غلظت‌های mg/L ۰/۵، ۱ و ۲ آن با غلظت‌های مختلف پراکسیدهیدروژن به کار برده شد. برای توقف گندزدایی پس از زمان تماس ۳۰ دقیقه به منظور خنثی کردن مواد گندزدا از تیوسولفات سدیم برای خنثی کردن پراکسیدهیدروژن و محلول اتیلن دی آمین تتراستیک اسید(EDTA) برای خنثی کردن مس استفاده گردید.

کشت میکروبی

از روش مستقیم (آزمون مستقیم کلی‌فرم مدفوعی) ذکر شده در کتاب استاندارد متد چاپ ۲۰۰۵ برای کشت میکروبی استفاده شد. محیط کشت مورد استفاده در این روش محیط A1-Medium است (متد شماره E–۹۲۲۱) (۱۹).

برای شمارش باکتریایی روش تخمیر چند لوله‌ای (MPN/100mL) مورد استفاده قرار گرفت. پس از آماده‌سازی محیط کشت طبق دستور ذکر شده توسط کارخانه سازنده، حدود ۱۰ mL از آن را در لوله‌های آزمایش ریخته شده و در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ دقیقه استریل شدند. سپس محیط کشت‌ها را در دمای محیط سرد کرده و کشت نمونه‌ها انجام پذیرفت. روش کار بدین صورت بود که پس از تهیه رقت های مناسب، نمونه‌های گندزدایی شده کشت

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

جدول ۱: خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی فاضلاب خام

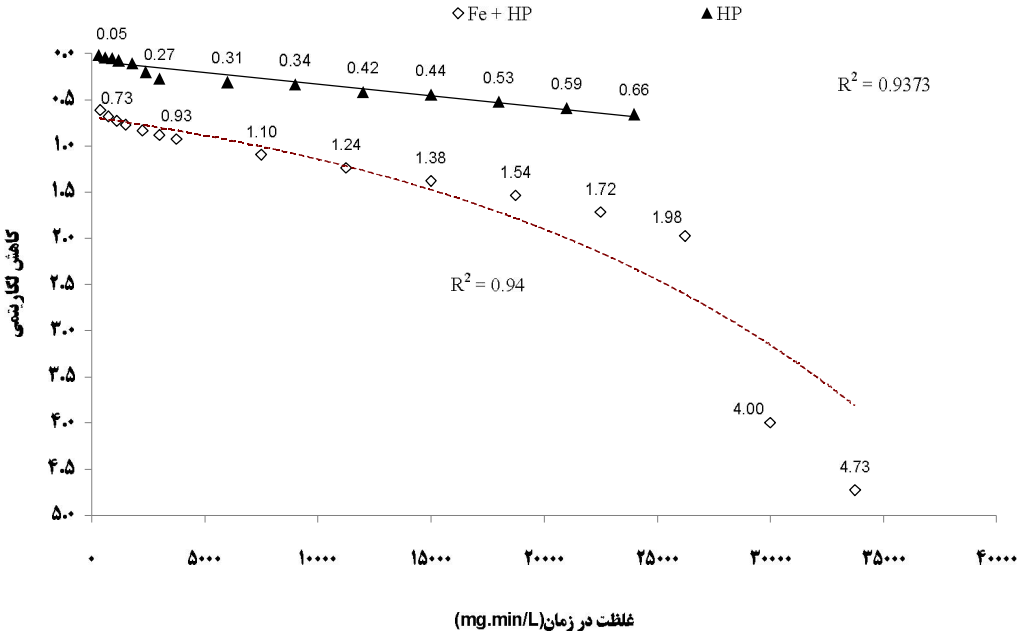
پارامترهای اندازه گیری شده	غلظت	واحد
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(COD)	۶۴۸ ±۱۱۲	mg/L
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه(BOD_5)	۳۶۰±۷۶	mg/L
کل جامدات فرار(TSS)	۴۲۰±۲۰	mg/L
pH	۷/۴۸±۰/۵	بدون واحد
شمارش کلی‌فرم مدفوعی	۱/۴۸E+۰۷	MPN/100 mL

داده شده و بلافاصله در انکوباتور ۳۵±۰/۵ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شدند. پس از سپری شدن زمان ذکر شده، لوله‌های داخل انکوباتور به مدت ۲±۲۱ ساعت به داخل حمام آب داغ ۴۴/۵ ±۰/۲ درجه سلسیوس انتقال داده شدند. تولید گاز در لوله‌های دورهام و ایجاد کدورت در هر یک از لوله‌ها در طی این زمان ۲۴ ساعته یا کمتر، به عنوان مثبت بودن نتیجه آزمایش تلقی می‌شود. با استفاده از جدول MPN نتایج ثبت شده و مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به توضیح است که کلیه وسایل شیشه‌ای مورد نیاز و به کاربرده شده در این مطالعه در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت در حرارت خشک استریل شده و سپس مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

یافته‌ها

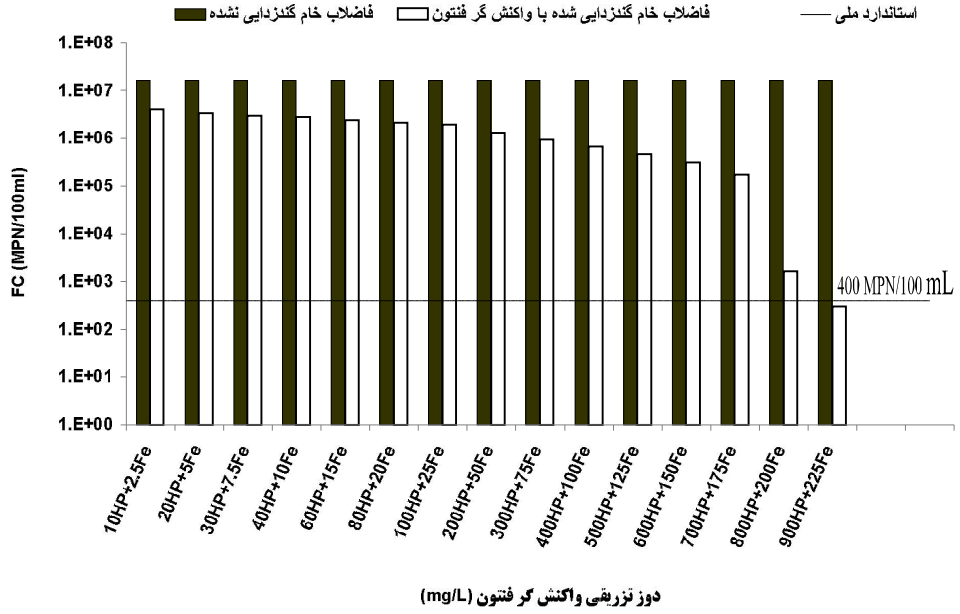
خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی فاضلاب خام مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ آمده است.

شکل ۱ نمودار تاثیر واکنش‌گر فنتون و مقایسه آن با نمودار تاثیر محلول HP در گندزدایی فاضلاب خام را نشان می‌دهد. در شکل ۲ روند کاهش تعداد باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی در فاضلاب خام، در اثر گندزدایی با واکنش‌گر فنتون نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ ملاحظه می‌گردد حداکثر تاثیر بالاترین غلظت HP (۹۰۰ mg/L) به کار برده شده در این مطالعه برابر ۰/۶۶ لگاریتم کاهش در تعداد باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی بوده است.



شکل ۱: مقایسه قدرت واکنش‌گر فنتون و پراکسیدهیدروژن در گندزدایی فاضلاب خام

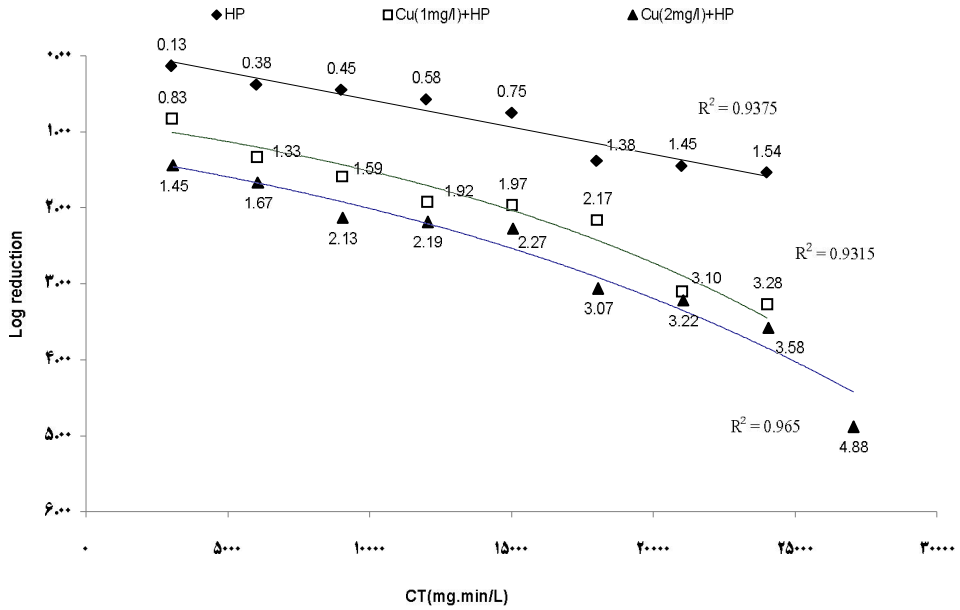
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]



شکل ۲:تاثیر واکنش‌گر فنتون در گندزدایی فاضلاب خام

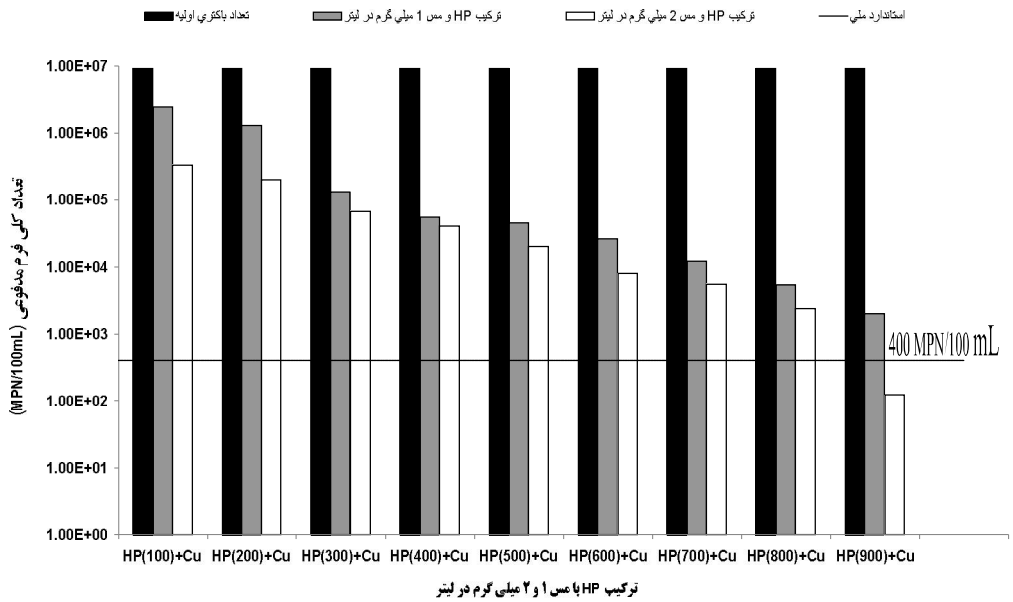
شکل ۳ نمودار تاثیر واکنش‌گر فنتون تغییر یافته و مقایسه آن با نمودار تاثیر محلول HP در گندزدایی فاضلاب خام و شکل ۴ روند کاهش تعداد باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی در فاضلاب خام در اثر گندزدایی با ترکیب HP و غلظت‌های mg/L ۱و ۲ مس را نشان می‌دهد.

شکل ۵ نمودار مقایسه‌ای تاثیر واکنش‌گر فنتون و فنتون تغییر یافته با غلظت‌های mg/L ۰/۵، ۱ و ۲ مس را در گندزدایی فاضلاب خام نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود مس mg/L ۰/۵ هیچ اثر سینرژیستی در قدرت گندزدایی HP نداشته است.



شکل ۳: مقایسه قدرت پراکسیدهیدروژن و ترکیب پراکسیدهیدروژن با مس ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر در گندزدایی فاضلاب خام

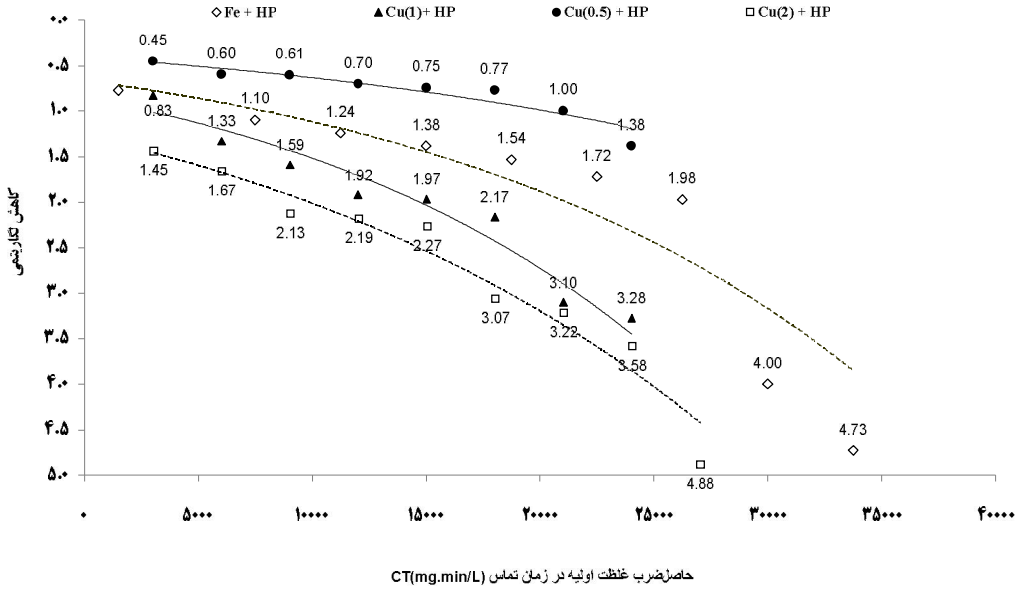
[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]



شکل ۴: تاثیر ترکیب غلظت‌های مختلف HP با غلظت‌های ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر مس در گندزدایی فاضلاب خام

بحث

با دقت در نتایج شکل ۱ملاحظه می‌شود که کارایی HP در گندزدایی فاضلاب خام (از بین بردن کلی‌فرم‌های مدفوعی فاضلاب خام) از ۰/۰۲ تا ۰/۶۶ لگاریتم کاهش، متغیر است. نتایج این شکل به روشنی نشان می‌دهد که غلظت‌های پایین‌تر HP اثر قابل‌توجهی در از بین‌بردن کلی‌فرم‌های مدفوعی فاضلاب خام نداشته و تنها با به کار بردن غلظت‌های حدود ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و بالاتر میزان کاهشی در حدود ۰/۵ لگاریتم قابل مشاهده است. در این مرحله ملاحظه گردید که HP در غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تعداد باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی فاضلاب خام را از حدود ۱/۰۵ E + ۰۷MPN/100mL به ۲/۳۱ E + ۰۶MPN/100mL کاهش داد که این میزان کاهش معادل ۰/۶۶ لگاریتم حذف است. با توجه به این که زمان تماس



شکل ۵: مقایسه تاثیر واکنشگر فنتون و فنتون تغییر یافته در گندزدایی فاضلاب خام

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

در این مطالعه در کلیه فازها ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده است می‌توان این گونه بیان نمود که HP در زمان تماس کمتر از ۳۰ دقیقه و غلظت تا mg/L ۸۰۰ اثر چندانی در گندزدایی فاضلاب خام ندارد.

نتایج به دست آمده در این بخش از آزمایشات با نتایج مطالعات آریامالار سلولواکومار۲۰۰۹، ولاکوئز ۲۰۰۸ و دبووسکی ۲۰۰۷، کاملا هم‌خوانی دارد(۹،۱۰و۱۴). سلواکومار و همکاران در مطالعه خود با عنوان استفاده از واکنش‌گر فنتون به عنوان گندزدا در سال ۲۰۰۹ نشان دادند که پس از زمان تماس ۰/۵ دقیقه و نسبت‌های مولی ۱به۲ تا ۱ به ۱۸ آهن به HP، باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی در فاضلاب مرکب (مخلوط فاضلاب و سیلاب) به حدی کاهش پیدا کردند که قابل شمارش نبودند. متوسط تعداد باکتری اولیه در این مطالعه $3/8\times10^{6}$ CFU/100 mL بود. بنظر می‌رسد به دلیل این تاثیر فوق‌العاده فنتون در مدت زمان کمتر تغییر pH به شرایط اسیدی بوده است که با توجه به اسیدفاست نبودن باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی این عمل به عنوان یک مداخله‌گر نامطلوب تلقی می‌شود. در این مطالعه مشخص شد که پس از زمان تماس ۳۰ دقیقه عوامل اکسیدکننده هنوز در راکتورها وجود داشته‌اند. این مواد اکسیدکننده همانند کلر آزاد باقی‌مانده در گندزدایی با کلر سبب جلوگیری از رشد باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی می‌شود (۱۴). در سال ۲۰۰۰ پداهزور و همکاران به بررسی کارایی گندزدایی HP، نقره و مخلوط این دو در غیرفعال‌سازی باکتری کلی‌فرم مدفوعی نوع B و ویروس MS-2 پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی HP در حذف کلیفرم مدفوعی نوع B کم اما در حذف ویروس MS-2 بسیار زیاد است (۲۰). بوگان و توربوویچ در سال ۲۰۰۳ و موری و پارسون در سال ۲۰۰۴ بیان کردند که حضور مواد آلی از طریق مصرف رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل تولید شده در فرایند فنتون و شلاته کردن یون‌های آهن ۲ و ۳ ظرفیتی سبب کاهش کارایی واکنش‌گر فنتون در از بین بردن کلی‌فرم‌ها می‌شوند (۲۱و۲۲). بر اساس یافته‌های Ksibi در سال ۲۰۰۶ مشخص شد که فنتون علاوه بر قدرت باکتری‌کشی، توان اکسیداسیون آلاینده‌های آلی و معدنی موجود در فاضلاب را داشته و COD فاضلاب خام را از ۳۳۰ به کمتر از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌دهد که این امر سبب افزایش قابلیت استفاده آن در موارد مختلف می‌شود. همچنین، مواد تولیدکننده کف و بوی نامطلوب نیز کاهش پیدا می‌کنند (۲۳).

شکل ۱ مقایسه قدرت واکنش‌گر فنتون و HP را در گندزدایی فاضلاب خام نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود کاهش کلیفرم‌های مدفوعی فاضلاب در استفاده از HP به عنوان عامل گندزدا به صورت یک تابع خطی است در حالی‌که در استفاده از واکنش‌گر فنتون به عنوان گندزدا نمودار کاهش به صورت یک تابع نمایی تغییر می‌کند. همان گونه که در نمودار واضح است در میزان CT حدود ۱۷۰۰۰ واکنش‌گر فنتون سبب ۱/۳۸ و HP سبب ۰/۴۴ لگاریتم کاهش در تعداد کلیفرم‌های مدفوعی می‌شوند. بنابراین واضح است که استفاده از یون آهن اثر سینرژیستی قابل توجهی بر قدرت گندزدایی HP دارد. همان گونه که در شکل مشخص است شیب نمودار کاهش کلی‌فرم‌های مدفوعی در مورد HP در CTهای مختلف یکنواخت و کم بوده در حالی که در مورد واکنش‌گر فنتون شیب نمودار کاهش در CTهای بالاتر از ۲۰۰۰۰ آهنگ تندتری به خود می‌گیرد.

شکل ۲ نمودار تاثیر واکنش‌گر فنتون در گندزدایی فاضلاب خام را نشان می‌دهد. همان گونه که در نمودار دیده می‌شود، فنتون در میزان CT حدود ۳۴۰۰۰ میتواند کلی‌فرم‌های مدفوعی فاضلاب را به زیر استاندارد ملی(۴۰۰ عدد در ۱۰۰ میلی‌لیتر) برساند. با دقت در این شکل ملاحظه می‌شود که شیب نمودار کاهش در غلظت‌های بالاتر فنتون بسیار تندتر می‌شود و این مطلب بیان‌گر این نکته است که غلظت‌های پایین واکنش‌گر فنتون در از بین بردن کلی‌فرم‌های مدفوعی فاضلاب خام تاثیر چندانی ندارد. نتایج این بخش از مطالعه با نتایج مطالعات آریامالار سلواکومار(۱۴) همسو بوده اما بر خلاف یافته‌های مطالعه دبووسکی و همکاران (۱۰) که تاثیر واکنش‌گر فنتون را بر گندزدایی لجن خام بررسی کرده‌اند، است. چنین به نظر می‌رسد که تفات در زمان تماس‌های مختلف در نظر گرفته شده در دو مطالعه سبب ایجاد اختلاف در نتایج به دست آمده است. در مطالعه حاضر به هنگام گندزدایی فاضلاب خام با واکنش‌گر فنتون، فرایند انعقاد نیز به دلیل استفاده از ترکیب سولفات آهن که به طور بالقوه یک منعقدکننده است به طرز

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

و همکاران است در آن مطالعه کارایی ترکیب HP و مس در گندزدایی پساب فرایند تصفیه پیشرفته در سال ۲۰۰۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب HP ، ۵۰ mg/L با مس ۱ mg/L (CT= ۱۵۳۰) ۳/۹ لگاریتم کاهش در تعداد باکتری‌ها به وجود آورد که حاکی از اثر سینرژیستی مس بر روی کارایی HP بود در حالی که کاربردHP به صورت تنها فقط ۰/۶ لگاریتم کاهش نشان داده بود (۹).

شکل ۵ نمودارهای مقایسه‌ای گندزدایی فاضلاب خام توسط واکنش‌گر فنتون و فنتون تغییر یافته با مس در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر مس را نشان می‌دهد. با دقت در این شکل ملاحظه می‌شود که کاربرد مس در غلظت‌های کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر (غلظت ۰/۵ mg/L) اثر سینرژیستی قابل قبولی بر قدرت گندزدایی فاضلاب خام توسط HP ندارد. نکته موید این مطلب مشاهده شکل ۳ است. چنانچه در این شکل دیده می‌شود اگر نمودار مربوط به خط کاهش باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی توسطHP را با خط کاهش باکتری‌ها توسط ترکیب مس۰/۵ mg/L و HP در شکل ۵ مقایسه کنیم، مشاهده می‌شود که در CT حدود ۲۴۰۰۰، راندمان کاهش هر دو نمودار تقریبا مشابه هم است. با دقت بیشتر به این شکل ملاحظه می‌شود که در یک میزان CT برابر برای تمام واکنش‌گرها (به عنوان مثال CT برابر ۱۵۰۰۰) قدرت گندزدایی ترکیب آهن ۱۰۰ با HP، ۴۰۰ mg/L، مس ۰/۵ mg/L، ۱ و ۲ با HP، ۵۰۰ mg/L در کاهش کلی‌فرم‌های مدفوعی فاضلاب خام به ترتیب برابر ۱/۳۸، ۰/۷۵، ۱/۹۷ و ۲/۲۷ لگاریتم است. بنابراین می‌توان این گونه بیان کرد که در غلظت‌های بیش از ۱mg/L مس، توان گندزدایی ترکیب مس و HP بسیار بیشتر از ترکیب آن با آهن بوده ولی در غلظت‌های کمتر از۱mg مس قدرت گندزدایی فنتون بیشتر از فنتون تغییر یافته است. آنچه که از این نمودارها برداشت می‌شود این است که شیب نمودار کاهش در مورد مس ۰/۵ mg و فنتون تقریبا ثابت و یکنواخت بوده اما در مورد مس ۲ mg در لیتر شیب نمودار در میزان CT بالای ۲۵۰۰۰ بسیار تندتر می‌شود. نقطه مشترک تمامی نمودارها در این است که تغییرات همه آنها به صورت یک تابع نمایی است.

مطلوبی انجام می‌گرفت به گونه‌ای که پساب رویی تولید شده در راکتور گندزدایی بسیار زلال بود، این نکته از این نظر قابل توجه است که احتمال به دام افتادن تخم انگل‌ها در لخته‌های تشکیل شده افزایش یافته و در نتیجه نگرانی‌ها در مورد ورود تخم انگل به محصولات آبیاری شده، کاهش پیدا می‌کند.

در شکل ۳ کارایی HP و ترکیب آن با مس در گندزدایی فاضلاب خام را به صورت مقایسه‌ای نشان داده شده است. با دقت در این شکل به روشنی دیده می شود که در میزان CTبرابر ۲۴۰۰۰، توان کاهش واکنش‌گر ترکیبی بیشتر از HP تنها است. ملاحظه می‌شود که در این CT حداکثر کاهشی که توسط HP ایجاد می‌شود برابر ۱/۵۴ لگاریتم است در حالی که ترکیب آن با مس ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب سبب ۳/۲۸ و ۳/۵۸ لگاریتم کاهش می‌شود. و همچنین غلظت مس به کاربرده شده در ترکیب نیز بر راندمان گندزدایی فاضلاب توسط این محلول تاثیر دارد. همان طور که ملاحظه می‌شود در یک CT برابر میزان لگاریتم کاهش ترکیب مس ۲mg/L و HP ۸۰۰ mg/L (۳/۵۸ لگاریتم) بیشتر از ترکیب مس۱mg/L با همان غلظت HP (۳/۲۸ لگاریتم) است. آنچه که در این شکل مشهود است نوع تغییرات نمودارهاست. چنانچه در مورد گندزدایی فاضلاب با واکنش‌گر فنتون نیز ذکر شد نوع تغییرات خط کاهش لگاریتمی در استفاده از HP به عنوان تنها عامل گندزدا، به صورت یک تابع خطی است در حالی که در گندزدایی فاضلاب خام با واکنش‌گر فنتون تغییر یافته (ترکیبHP با مس) تغییرات خط کاهش لگاریتمی به صورت یک تابع نمایی است.

شکل ۴ تاثیر ترکیب غلظت‌های مختلف HP با غلظت‌های ۱mg/L و ۲ مس در گندزدایی فاضلاب خام را نشان می‌دهد. با دقت در این شکل ملاحظه می‌شود که غلظت مس به کار برده شده در ترکیب بر میزان تاثیر آن در از بین بردن باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی فاضلاب تاثیر قابل توجهی دارد. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود ترکیب مس ۱ mg/L با HP قادر به کاهش باکتری‌ها تا حد استاندارد ملی است. در حالی که ترکیب مس ۲ mg/L با همان غلظت‌های HP توانسته است تعداد باکتری‌های کلی‌فرم مدفوعی را به زیر استاندارد ملی برساند. نتایج این بخش از مطالعه تاییدکننده نتایج ولاکوئز

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این مطالعه را این گونه می توان بیان کرد که:

• استفاده از HP خالی برای گندزدایی فاضلاب خام تاثیر قابل قبولی نداشته و کاربرد آن برای این منظور توصیه نمی شود.

• ترکیب HP و یون آهن (واکنش گر فنتون)، قدرت گندزدایی محلول HP را به میزان قابل توجهی افزایش داده و اثر سینرژیستی قابل توجهی روی گندزدایی این محلول دارد. اما کاربرد آن برای گندزدایی فاضلاب خام تنها در دوزهای بالا موثر است که بایستی از نظر توجیه پذیری اقتصادی بررسی شود.

• در ترکیب HP و یون آهن فرایند انعقاد نیز به طور مطلوبی انجام می شد که این امر احتمال حذف تخم انگل ها را (یکی از شاخص های سازمان حفاظت محیط زیست در آبیاری محصولات کشاورزی) بسیار بالا می برد.

• ترکیب HP و یون مس (واکنش گر فنتون تغییر یافته)، قدرت گندزدایی محلول HP را به میزان بسیار زیادی افزایش داده و اثر سینرژیستی قابل توجهی روی گندزدایی این محلول دارد.

• ترکیب یون مس با HP نسبت به ترکیب یون آهن با این محلول بسیار قوی تر بوده و دوزهای پایین تری از HP برای گندزدایی فاضلاب مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرحی با عنوان "تعیین نقش یون مس، یون آهن، اسید آسکوربیک و اکسیژن محلول تحت فشار در افزایش کارایی گندزدایی فاضلاب و پساب با محلول آب اکسیژنه" در مقطع کارشناسی ارشد سال ۱۳۸۹ و کد ۸۹-۰۳-۲۷-۱۱۱۰۶ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران اجرا شده است که بدینوسیله از پشتیبانی آن قدردانی می شود.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

منابع

1-Oller I, Malato S, Snchez-Pérez JA. Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination-A review. Science of The Total Environment. 2011;409(20):4141-66.

2-Liberti L, Lopez A, Notarnicola M, Barnea N, Pedahzur R, Fattal B. Comparison of advanced disinfecting methods for municipal wastewater reuse in agriculture. Water Science and Technology. 2000;42(1-2):215-20.

3-Luna-Pabello VM, Miranda Rios M, Jimenez B,Orta de Velasquez MT. Effectiveness of the use of Ag, Cu and PAA to disinfect municipal wastewater. Environmental Technology. 2009;30(2):129-39.

4-Official Mexican Standard. Establishes the maximum permitted limits of pollutants in the wastewater discharges into water and onto national property. The Official Federal Gazette; 1997 Jan. Report No.: NOM-001-ECOL/1996.

5-Hammer MJ. Water and Wastewater Technology. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall Inc; 2004.

6-Gyürék LL, Finch GR. Modeling water treatment chemical disinfection kinetics. Journal of Environmental Engineering.1998;124(9):783-93.

7-Liberti L, Notarnicola M. Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. Water Science and Technology.1999;40(4-5):235-45.

8-Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw- Hill; 2003.

9-Orta de Velasquez MT, Yanez-Noguez I, Jimenez-Cisneros B, Luna Pabello VM. Adding silver and copper to hydrogen peroxide and peracetic acid in the disinfection of an advanced primary treatment effluent. Environmental Technology. 2008;29(11):1209-17.

10-Debowski M, Krzemieniewski M. The influence of Fenton's reagent on the raw sludge disinfection. Environment Protection Engineering. 2007;33(1):65-76.

11-Ragab-Depre NJ. Water disinfection with the hydrogen peroxide-ascorbic acid-copper(II) system. Applied and Environmental Microbiology.1982;44(3):555-60.

12-Omidbakhsh N. A new peroxide-based flexible endoscope-compatible high-level disinfectant. American Journal of Infection Control. 2006; 34(9):571-7.

13-Pedahzur R, Shuval HI, Ulitzur S. Silver and hydrogen peroxide as potential drinking water disinfectants: Their bactericidal effects and possible modes of action. Water Science and Technology. 1997;35(11-12):87-93.

14-Selvakumar A, Tuccillo ME, Muthukrishnan S, Ray AB. Use of Fenton's reagent as a disinfectant. Remediation. 2009;19(2):135-42.

15-Farokhi M, Mousavi GR, Takdastan A. The study on biodegradability enhancement of landfill leachate by Fenton oxidation. Iranian Journal of Health and Environment. 2009;2(2):114-23 (in Persian).

16-Malakootian M, Jafarzadeh Haghighi Fard N, Ahmadian M, Loloei M. Influence of Fenton process on treatability of Kerman city solid waste leachate. Iranian Journal of Health and Environment. 2010;3(2):123-34 (in Persian).

17-Nabizadeh R, Alimohammadi M, Aslani H, Mesdaghinia A, Naddafi K, Nemati R, et al. Comparative study of Fenton's reagent performance in disinfection of raw wastewater and activated sludge effluent. Desalination and Water Treatment. 2012;37(1-3):108-13.

18-Manshouri M, Yazdanbakhsh AR, Sardar M, Sheykh Mohammadi A. Investigation of effective factors for Fenton like process in para-chlorophenol removal from aqueous solutions. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;3(4):381-8 (in Persian).

19-APHA. AWWA. WEF. APHA. Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association (APHA); 2005.

20-Pedahzur R, Katzenelson D, Barnea N, Lev O, Shuval HI, Fattal B, et al. The efficacy of long-lasting residual drinking water disinfectants based on hydrogen peroxide and silver. Water Science and Technology. 2000;42(1-2):293-8.

21-Bogan BW, Trbovic V. Effect of sequestration on PAH degradability with Fenton's reagent:

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

Roles of total organic carbon, humin, and soil porosity. Journal of Hazardous Materials. 2003;100(1-3):285-300.
22-Murray CA, Parsons SA. Removal of NOM from drinking water: Fenton's and photo-Fenton's processes. Chemosphere. 2004;54(7):1017-23.
23-Ksibi M. Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. Chemical Engineering Journal. 2006;119(2-3):161-65.

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]

Performance Comparison of Fenton and Fenton Modified with Copper in Raw Wastewater Disinfection for reuse in Agriculture

Ramin Nabizadeh Nodehi[1],*Hassan Aslani[1], Mahmood Alomohammadi[1], Reza Nemati[2] , Kazem Naddafi[1], Maryam Ghany[1]

[1]Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Science, Tehran, Iran

[2]Department of Environmental Health Engineering, School of Paramedical and Health, Semnan University of Medical Science, Aradan, Iran

Received; 20 August 2011 Accepted; 13 November 2011

ABSTRACT

Background and Objectives: Irrigation of agricultural crops using wastewater will increase, in some cases, their growth by 40 to 60 percent. However, this has a high risks for human health because of the presence of higher number of pathogenic organisms. The main purpose of this study was to investigate the feasibility use of Fenton and modified Fenton with copper for the disinfection of raw wastewater.

Materials and Methods: After primarily laboratory physicochemical and biological analysis, the disinfection process was performed in three different phases in each process. First, the disinfectants were injected separately, then we performed disinfection using Fe++ and cu++ ions combined with hydrogen peroxide in order to determine synergistic effect of each catalyst. Direct method was used for fecal coliforms counting.

Results: Hydrogen peroxide maximum efficiency for inactivation of fecal coliforms was only 0.66log inactivation. Fenton and modified Fenton with copper ions showed a remarkable effect on the bacterial inactivation so that Fenton and modified Fenton with 1 and 2 mg/l of Cu++ inactivated coliforms by 4.73, 3.28, and 4.88 log respectively.

Conclusion: Application of HP alone for the disinfection of raw wastewater is not practicable due to low observed efficiency. However, its combination with ions such as Fe++ and Cu++ increases HP performance in disinfection and has a notable synergistic effect on HP disinfection power, where, in the presence of each catalyst, hydrogen peroxide can reduce the fecal coliforms of raw wastewater to meet the Iranian Environmental Protection Agency Standards.

Keywords: Raw wastewater, Disinfection, Fenton, Hydrogen peroxide, Iron, Modified Fenton with copper

***Corresponding Author**: *Aslani.ha@gmail.com*
Tel: +98 21 88954914, Fax: +98 21 88950188

[Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2024-05-28]