ارزیابی عملکرد انواع فرآیندهای فنتونی در ترکیب با فرآیند انعقاد و لخته‌سازی متداول در تصفیه شیرابه محل دفن

نویسندگان:محمدعلی زززولی * ذبیح‌اله یوسفی اکبر اسلامی*** مریم باقری اردبیلیان *****

*استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی مازندران

**نویسنده مسئول: دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی مازندران، E-mail: z.yousefi2004@gmail.com

***استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران

****دانش آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران

طلوع بهداشت

فصلنامهٔ علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد
سال یازدهم
شماره: دوم
تابستان ۱۳۹۱
شماره مسلسل: ۳۵

تاریخ وصول: ۱۳۹۰/۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۲

چکیده

سابقه و اهداف: فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته نظیر فنتون و فتو فنتون به طور موثری برای اکسیداسیون ترکیبات آلی مقاوم و تبدیل آنها به مواد بی‌خطر در شیرابه کاربرد دارند. با این حال ، اطلاعات اندکی در مورد استفاده از فرآیند فنتون اصلاح شده در تصفیه شیرابه وجود دارد. بنابراین، هدف از این مطالعه تصفیه شیرابه زباله های شهری توسط سه فرآیند فوق در ترکیب با فرآیند انعقاد و لخته‌سازی به عنوان پیش‌تصفیه می‌باشد.

روش بررسی: این مطالعه یک مطالعه تجربی است که با استفاده از سیستم پایلوت آزمایشگاهی انجام شد. شیرابه مورد استفاده از دفن زباله شهری قائم شهر جمع آوری شد. کلیه آزمایشات و آنالیز نمونه به روش کتاب استاندارد آزمایشهای آب و فاضلاب انجام شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که فرآیند انعقاد و لخته‌سازی متداول با کلرور فریک در شرایط بهینه حداکثر حدود۴۵ درصد COD را حذف می‌نماید. ترکیب فرآیند پیش‌تصفیه با فرآیندهای فنتونی راندمان حذف را بطور قابل توجهی افزایش می‌دهد. بطوریکه راندمان حذف COD در شرایط یکسان در سه فرایند فنتون، فتوفنتون و فنتون اصلاح شده به ترتیب ۸۹، ۸۵/۴۵ و ۸۱/۸۲ درصد بود. در هرسه فرایند میزان تجزیه‌پذیری شیرابه (BOD_5/COD) افزایش می‌یابد که در فرآیند فتوفنتون بیش از دو فرایند دیگر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: فرآیند فتو-فنتون با پیش‌تصفیه دارای بیشترین راندمان در تصفیه شیرابه می‌باشد. اما هزینه و مشکلات بهره‌برداری آن بیش از دو فرآیند دیگر می‌باشد. کارایی فنتون اصلاح شده کمتر از دو فرایند دیگر است اما این فرایند در pH بالاتری عمل می کند و مشکلات تنظیم pH آن کمتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه شیرابه، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، فنتون، فتو فنتون، فنتون اصلاح شده

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

مقدمه

امروزه روش دفن بهداشتی مواد زائد شهری و صنعتی، گسترده‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای دفع مواد زائد جامد می‌باشد. یکی از مشکلات اساسی و بزرگ دفع مواد زائد جامد به روش دفن بهداشتی تولید شیرابه می‌باشد. کمیت و کیفیت شیرابه در هر محل دفن و فصلهای مختلف، بسته به شیوه دفن و سن محل دفن، متفاوت خواهد بود(۱،۲). شیرابه حاوی غلظت‌های بالایی از ترکیبات آلی و غیر آلی می باشد. در صورت عدم مدیریت صحیح، می‌تواند موجب آلودگی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی گردد(۳). یکی از گزینه‌های مدیریت شیرابه، جمع‌آوری و تصفیه آنها می‌باشد. فرآیندهای متداول تصفیه شیرابه عبارتند از: انواع فرآیندهای بی‌هوازی و هوازی و فرآیندهای تصفیه شیمیایی(۴). شیرابه بدلیل داشتن ترکیبات آلی پیچیده که به روش زیستی غیرقابل تجزیه یا به سختی تجزیه می‌شوند، به تصفیه شیمیایی از جمله اکسیداسیون پیشرفته نیاز خواهند داشت بویژه اگر شیرابه قدیمی بوده و مراحلی از تجزیه زیستی را طی نموده باشد.

فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، روشهای شیمیایی، فتوشیمیایی، فتوکاتالیتیک و الکتروشیمیایی می‌باشند که توسط تولید رادیکال هیدروکسیل توصیف می‌شوند. انواع روش‌های اکسیداسیون پیشرفته از قبیل UV/O_3، UV/H_2O_2، فنتون، شبه فنتون، فرآیندهای التراسونیک و غیره، می‌توانند برای تصفیه و حذف بسیاری از آلاینده های سمی و مقاوم به تجزیه زیستی یا کم‌تجزیه پذیر کارآیی داشته باشند(۵،۶). این فرآیندها قادرند ترکیبات آلی مقاوم را اکسید و به مواد قابل تجزیه و غیر مضر تبدیل نمایند. این فرآیندها نهایتاً منجر به معدنی‌سازی و تولید محصولات نهایی نظیر دی اکسیدکربن و آب می‌شوند. بنابراین، این فرآیندها به عنوان یک گزینه مفید برای تصفیه پساب‌هایی با مقادیر زیاد مواد آلی پیشنهاد می‌گردند. در این فرآیندها معمولا رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل ($OH^{\bullet}$) تولید و مصرف می‌شوند. کارآیی فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته از افزایش میزان اکسیداسیون ناشی از رادیکال‌های هیدروکسیل $OH^{\bullet}$ منتج می‌گردد. این رادیکال‌های آزاد از اکسیدان‌های افزوده شده، تولید شده و دارای واکنش‌پذیری بالا، گزینش‌پذیری کم نسبت به ترکیبات آلی و پتانسیل اکسیداسیون بالا ($E^{\circ} = ۲/۸۰V$) می‌باشند(۷).

در سالهای اخیر، مطالعات تصفیه شیرابه توسط فرآیندهای فنتون متداول، فتو-فنتون و الکتروفنتون دلالت بر این دارد که این روش‌ها می‌توانند بطور موثری غلظت‌های آلاینده‌های آلی و رنگ را کاهش دهند. بعلاوه، این فرآیندها می‌توانند اجزای آلی قابل تجزیه زیستی را افزایش دهند. هم اکسیداسیون و هم انعقاد نقش مهمی را در حذف مواد آلی بازی می‌کنند. pH اولیه، غلظت معرف‌های فنتون، هوادهی، pH نهایی، شیوه افزودن معرف، درجه حرارت، و تابش UV می‌تواند بازدهی تصفیه نهایی را تحت تاثیر قرار دهد(۸). فنتون، یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته غیر فتوشیمیایی می باشد که عبارت است از مخلوط آبی آهن (II) و پراکسید هیدروژن. مزایای عمده معرف فنتون موجب شده است که این فرآیند درتصفیه فاضلابهای مقاوم و یا تصفیه شیرابه زباله استفاده گردد(۲،۹). فرآیند فتوفنتون ترکیبی از پراکسید هیدروژن و اشعه ماوراء بنفش با آهن (II) است. در فرآیند فتوفنتون رادیکالهای هیدروکسیل بیشتری در مقایسه با روش فنتون متداول تولید می‌شود، درنتیجه

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

تجزیه آلاینده‌های آلی را بهبود می‌بخشد. تولید بیشتر رادیکالهای هیدروکسیل در ترکیب با ترکیبات اکسیدان و کاتالیست‌های فلزی در حضور نور UV یکی از مزایای جذاب این روش محسوب می‌شود. قابلیت کاربرد فرآیند فتو-فنتون برای شیرابه زباله نیز گزارش شده است(۹). سیستم‌های فنتون اصلاح‌شده عبارت است از افزودن مرحله‌ای H_2O_2 و نمک آهن به محلول‌های آبی است(۱۰). واکنش فنتون اصلاح‌شده توسط Fe^{3+} و H_2O_2 آغاز می گردد(۸).

مطالعات مختلفی در زمینه اکسیداسیون پیشرفته شیرابه با فنتون(۱۵-۱۱، ۲) ، فتو فنتون(۱۶)، فتو الکتروفنتون(۱۷) سه فرآیند فنتون، فتوفنتون و شبه فنتون(۹) در خارج از کشور انجام گرفته است که دلالت بر راندمان موثر این روش‌ها در تصفیه شیرابه می‌باشد. اما بررسی متون نشان می‌دهد که در داخل کشور مطالعات محدودی انجام شده است نظیر مطالعه فرخی و همکارانش در سال ۱۳۸۸ در زمینه بهبود قابلیت تجزیه‌پذیری شیرابه زباله به روش اکسیداسیون فنتون(۱۸) و مطالعه ملکوتیان و همکارانش در زمینه بررسی تصفیه‌پذیری شیرابه تولیدی از پسماند جامد شهری کرمان با COD حدود ۳۸۱۰۰ میلی گرم بر لیتر با استفاده از فرآیند فنتون(۱۹). اغلب این مطالعات از فنتون استفاده نموده‌اند وکاربرد فرآیندهای فتو-فنتون و فنتون اصلاح‌شده جهت تصفیه شیرابه کمتر مورد توجه قرار نگرفته است. توجه به روش‌های جدید تصفیه شیرابه و کاربرد روش‌هایی نظیر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته در کشور ضروری می‌باشد. با توجه به بررسی‌های بعمل آمده و مطالعات گذشته، مطالعات زیادی در زمینه عملکرد فرآیند فنتون اصلاح‌شده در تصفیه شیرابه، در جهان انجام نگرفته و تعیین عملکرد فرآیندهای فنتون و فتو-فنتون نیز بر روی تصفیه شیرابه با شرایط ذکر شده در این مطالعه و مقایسه کارآیی این فرآیندها با فرآیند فنتون اصلاح‌شده، تاکنون انجام نگرفته است. لذا هدف از این مطالعه تعیین اثر فنتون، فنتون اصلاح‌شده و فتو-فنتون بدنبال پیش‌تصفیه با استفاده از انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه شیرابه و مقایسه این فرآیندها با یکدیگر و همچنین تعیین تاثیر پارامترهای مختلف بر راندمان تصفیه می‌باشد.

مشخصات راکتور فرآیند

جهت انجام فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی، فنتون و فنتون اصلاح‌شده از دستگاه جارتست شش پارویی و جهت انجام فرآیند فتو-فنتون از راکتوری که در شکل۱ نمایش داده شد با شرایط زیر استفاده شد: ابتدا راکتوری از جنس پیرکس با استفاده از یک بشر ۲ لیتری، به قطر ۱۴ سانتی متر و ارتفاع ۱۸ سانتی متر تهیه شد. سپس لامپ UV 150 وات فشار متوسط به طول ۶/۵ سانتیمتر و قطر ۱ سانتیمتر و پوشش کوآرتزی به قطر خارجی ۲۶ میلی‌متر، قطر داخلی ۲۳ میلی‌متر و طول ۱۲/۵ سانتی‌متر در وسط درب راکتور که از جنس فویل آلومینیومی چندلایه بود، نصب گردید. سوراخی نیز جهت نمونه‌برداری در درب راکتور تعبیه شد که در هنگام انجام فرآیند با فویل پوشانده می‌شد. از ترانس مخصوص لامپ UV 150 وات فشار متوسط استفاده گردید. پیک طول موج منتشره از لامپ UV مورد استفاده در این مطالعه ۲۴۷/۳ نانومتر و از نوع UV-C بود. اطراف راکتور شیشه‌ای جهت حفاظت در برابر اشعه لامپ UV با فویل آلومینیومی پوشانده شد. اختلاط در راکتور با استفاده از همزن مغناطیسی و مگنت انجام گرفت(۹). در داخل راکتور ۵/۵ سانتیمتر ارتفاع آزاد جهت حرکت مگنت در نظر

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

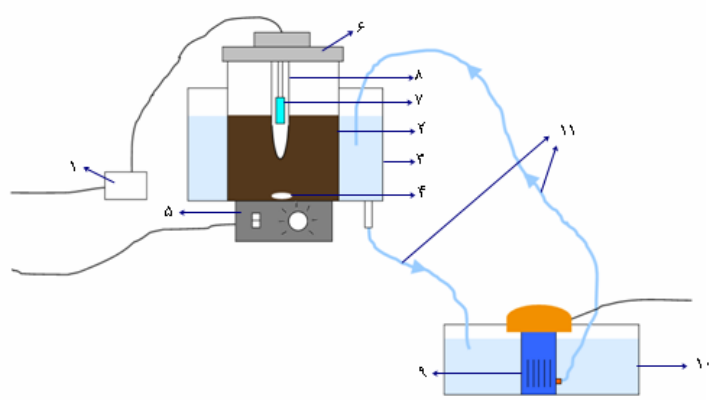
گرفته شد. جهت خنک‌سازی راکتور، از ظرفی با جنس روی، بعنوان مبرد آبی با قطر حدود دو برابر راکتور در اطراف آن استفاده گردید(۹،۱۶). جهت خنک‌سازی بیشتر شیرابه داخل راکتور، از قالب‌های یخ در اطراف راکتور و در مخزن پمپ آب استفاده گردید.

روش بررسی

این تحقیق یک نوع مطالعه تجربی بوده که شیرابه کهنه نمونه‌برداری شده از محل دفن زباله شهر قائم‌شهر واقع در استان مازندران تحت فرآیندهای زیر مورد تصفیه قرار گرفت. برای انجام پیش‌تصفیه به روش انعقاد و لخته‌سازی از کلرور فریک بعنوان ماده منعقدکننده استفاده شد. ابتدا غلظت و سپس pHآن بهینه گردید.جهت بهینه‌سازی غلظت کلرور فریک، از غلظت‌های ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرور فریک به شیرابه‌ای با pH ثابت افزوده شد و در دستگاه جارتست با سرعت تند ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه و با سرعت کند ۳۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد. پس از یک ساعت ته‌نشینی از سوپرناتانت رویی جهت اندازه‌گیری COD استفاده گردید. غلظتی که بهترین راندمان حذف را به همراه داشت به عنوان غلظت بهینه کلرور فریک در نظر گرفته شد. آنگاه آزمایش دیگری با ثابت نگه‌داشتن غلظت کلرور فریک (غلظت بهینه) و تغییر pH در مقادیر ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ عمل جارتست با شرایط فوق انجام شد(۲۰،۲۱). pH که بیشرین راندمان حذف را دارد به عنوان بهترین pH در فرآیندهای تصفیه استفاده خواهد شد.

برای انجام فرآیند فنتون و فتو فنتون از شیرابه‌ای که با کلرورفریک پیش‌تصفیه‌شد، با جارتست و رعایت شرایط لازم به ترتیب تحت تصفیه با $H_2O_2/\ Fe^{2+}$ و $H_2O_2/\ Fe^{3+}$ قرار گرفت. در این مطالعه آزمایشات کنترل با شرایط مشابه فرآیندهای مورد مطالعه انجام گرفت. این آزمایشتات عبارت بودند از: UV، UV/H_2O_2، H_2O_2 و هم زدن (اختلاط). در آزمایشات کنترل، میزان کاهش، عدم تغییر یا افزایش COD در آنها اندازه‌گیری و گزارش گردید. در آزمایشات کنترل جهت بدست‌آوردن حداکثر و حداقل تغییرات COD ناشی از افزودن H_2O_2، اسید سولفوریک (جهت تنظیم pH) و روشن‌بودن لامپ UV، از حداکثر دوز H_2O_2 مصرفی در فرآیندها (۶۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسید سولفوریک مصرفی جهت تنظیم pH در مقادیر بهینه ۳ و ۵ و همچنین غلظت صفر H_2O_2، اسید سولفوریک و لامپ UV خاموش، مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است، زمان هر آزمایش کنترل ۶۰ دقیقه و مدت زمان ته‌نشینی جهت نمونه‌برداری برای تعیین مقدار COD هم ۶۰ دقیقه بود. تمام نمونه‌ها از نظر COD، BOD، آهن، مس، سرب، کادمیوم، کروم، نیتروژن کجلدال و فسفات ، بر اساس کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب وفاضلاب آنالیز شدند(۲۲).جهت اندازه‌گیری شدت لامپ UV از دستگاه رادیومتر هگنر(Hagner) مدل EC1-X، جهت تنظیم pH و اندازه‌گیری دما از دستگاه pH متر مدل HANNA instruments 8521 ، جهت انجام فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی، فنتون و فنتون اصلاح‌شده ، از دستگاه جارتست مدل M.K. 2001، برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل Perkin Elmer استفاده شد.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]



شکل ۱: شماتیک راکتور مورد استفاده در فرآیند فتو-فنتون

(۱) ترانس لامپ ۱۵۰ وات، (۲) راکتور شیشه ای، (۳) مبرد آبی، (۴) مگنت، (۵) همزن مغناطیسی، (۶) درب راکتور، (۷) لامپ UV 150 وات فشار متوسط ، (۸) پوشش کوآرتز، (۹) پمپ، (۱۰) مخزن آب، (۱۱) لوله‌های انتقال آب.

یافته‌ها

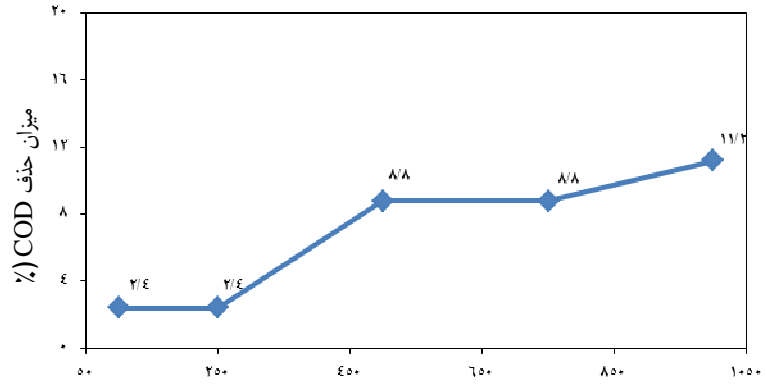
فرآیند انعقاد و لخته‌سازی(پیش‌تصفیه)

در این بخش اثر فرآیند پیش‌تصفیه در کاهش COD شیرابه مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت از مطالعه، کلرور فریک بعنوان ماده منعقدکننده در نظر گرفته شد و با استفاده از جارتست ابتدا غلظت آن بهینه گردید و سپس pH مناسب آن تعیین شد. همانطوریکه در شکل۲ دیده می‌شود بعد از عمل انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی غلظت بهینه کلرور فریک ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که توانست ۱۱/۲٪ از COD شیرابه را حذف نماید. پس از بهینه‌سازی غلظت کلرور فریک، با ثابت نگهداشتن غلظت کلرورفریک و تغییر pH ، آزمایش جار انجام شد. همانطوریکه در شکل۳ مشاهده می‌گردد، بهترین pH در فرآیند انعقاد و لخته‌سازی با کلرور فریک، pH برابر ۵ بود.

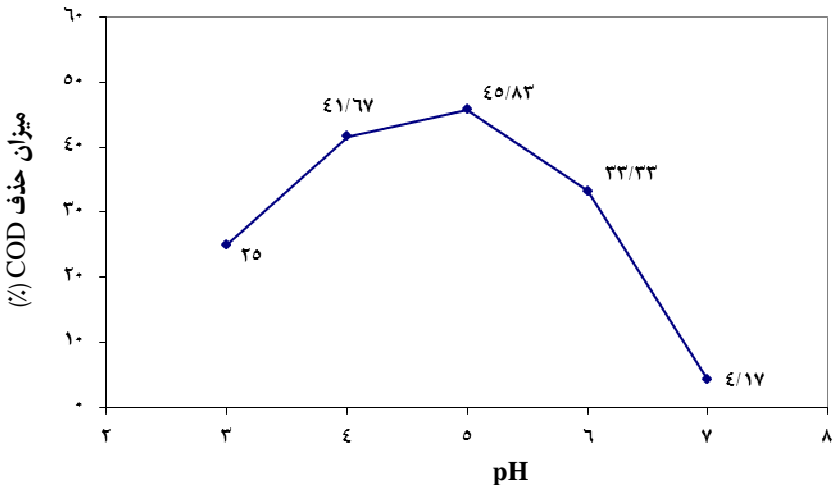
فرآیند فنتون با پیش‌تصفیه

در این بخش از مطالعه، از شیرابه تصفیه شده فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی متداول استفاده شد. جهت بهینه‌سازی غلظت H_2O_2 و غلظت Fe^{2+} در بشرهای ۲ لیتری ریخته شد و با تنظیم pH بر روی ۳ و پس از اندازه‌گیری دما (دما در این مرحله ۰/۰۲ ± ۲۵ درجه سانتیگراد بود) به مدت ۱۵۰ دقیقه، با غلظت‌های مختلف H_2O_2 و Fe^{2+} و نسبت H_2O_2 به Fe^{2+} برابر با ۸:۱ در دستگاه جارتست با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه تحت تصفیه قرار گرفت. پس از انجام فرآیند، یک ساعت زمان ته‌نشینی برای ترسیب لجن در نظر گرفته شد و از سوپرناتانت رویی جهت اندازه‌گیری COD خروجی استفاده گردید. نتایج این آزمایش در جدول۱ آمده است. لازم به ذکر است شرایط بهینه (pH=3 ، نسبت H_2O_2 به Fe^{2+} برابر با ۸:۱ و زمان واکنش ۱۵۰ دقیقه) در مطالعه دیگری تعیین شده بود. همانطوریکه در این جدول دیده می‌شود، با افزایش غلظت H_2O_2 و Fe^{2+} راندمان حذف افزایش می‌یابد ولیکن می‌توان گفت که شرایط بهینه حذف COD با فرایند فنتون در ترکیب با انعقاد و لخته‌سازی، در غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر H_2O_2، غلظت ۶۲۵ میلی‌گرم در لیتر Fe^{2+} و pH حدود ۳ اتفاق می‌افتد که در این شرایط راندمان حذف COD به ۷۲/۳۱ درصد می‌رسد.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]



شکل۲: اثر تغییر غلظت کلرور فریک برحذف COD شیرابه در فرآیند انعقاد/ لخته



شکل۳: اثر تغییر pH برحذف COD شیرابه در فرآیند انعقاد/ لخته‌سازی

(غلظت کلرور فریک برابر ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، COD اولیه برابر ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)

فرآیند فنتون با پیش‌تصفیه

در این بخش از مطالعه، از شیرابه تصفیه شده فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی متداول استفاده شد. جهت بهینه‌سازی غلظت H_2O_2 و غلظت Fe^{2+} در بشرهای ۲ لیتری ریخته شد و با تنظیم pH بر روی ۳ و پس از اندازه‌گیری دما (دما در این مرحله ۰/۰۲ ± ۲۵ درجه سانتیگراد بود) به مدت ۱۵۰ دقیقه، با غلظت‌های مختلف H_2O_2 و Fe^{2+} و نسبت H_2O_2 به Fe^{2+} برابر با ۸:۱ در دستگاه جارتست با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه تحت تصفیه قرار گرفت. پس از انجام فرآیند، یک ساعت زمان ته‌نشینی برای ترسیب لجن در نظر گرفته شد و از سوپرناتانت رویی جهت اندازه‌گیری COD خروجی استفاده گردید. نتایج این آزمایش در جدول۱ آمده است. لازم به ذکر است شرایط بهینه (pH=3 ، نسبت H_2O_2 به Fe^{2+} برابر با ۸:۱ و زمان واکنش ۱۵۰ دقیقه) در مطالعه دیگری تعیین شده بود. همانطوریکه در این جدول دیده می‌شود، با افزایش غلظت H_2O_2 و Fe^{2+} راندمان حذف افزایش می‌یابد ولیکن می‌توان گفت که شرایط بهینه حذف COD با فرایند فنتون در ترکیب با انعقاد و لخته‌سازی، در غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر H_2O_2،

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

غلظت ۶۲۵ میلی‌گرم در لیتر Fe^{2+} و pH حدود ۳ اتفاق می‌افتد که در این شرایط راندمان حذف COD به ۷۲/۳۱ درصد می‌رسد.

آزمایش‌های کنترل

در این مطالعه آزمایشات کنترل به ترتیب جدول ۴ انجام شد که میزان تغییر COD شیرابه خام در جدول آمده است. در این مرحله جهت تنظیم pH از اسید سولفوریک غلیظ و اسید سولفوریک ۱۰ مولار استفاده گردید. آزمایشاتی که در آنها اشعه UV وجود دارد، در راکتور UV و اختلاط آنها با مگنت و همزن مغناطیسی انجام گرفت و آزمایشات بدون UV، در دستگاه جارتست و با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه انجام شد. مدت زمان هر آزمایش کنترل ۶۰ دقیقه و مدت زمان ته‌نشینی جهت نمونه‌برداری برای آزمایش COD هم ۶۰ دقیقه بود. همانگونه که مشاهده می‌گردد، در ۲ مورد از فرآیندها درصد تغییر COD صفر بود و در ۶ مورد از این فرآیندها، نه تنها COD کاهش پیدا نکرد، بلکه مقدار آن افزایش یافت.

مقایسه عملکرد فرآیندها

از آنجائیکه در آزمایشات فوق غلظت آب اکسیژنه، یون فرو و فریک و همچنین خصوصیات شیرابه یکسان نبود، قضاوت در مورد تشخیص فرایند کارآمدتر مشکل می‌باشد. بنابراین در این مرحله عملکرد سه فرآیند در ترکیب با انعقاد، لخته‌سازی و ته‌نشینی(پیش‌تصفیه) در شرایط یکسان (غیر از pH بهینه) بصورت همزمان مورد بررسی قرار گرفتند تا بتوان این فرآیندها را از نظر حذف COD، BOD_5، نیتروژن کجلدال کل (TKN)، اورتوفسفات، آهن، مس، سرب، کادمیوم و کروم با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار داد. شرایط بهینه آزمایش هر فرآیند در جدول ۵ جهت آمده است. نتایج این مرحله آزمایش در جدول ۶ آمده است. لازم به ذکر است چون غلظت کادمیوم و سرب در نمونه‌های مورد آزمایش صفر بود، در جدول۶ گنجانده نشده است.

جدول ۱: میزان حذف کل COD شیرابه بعد از انجام فرآیند انعقاد/ لخته‌سازی و فرآیند فنتون

شرایط پیش‌تصفیه		شرایط فرآیند فنتون			خصوصیات شیرابه خام		خصوصیات شیرابه بعد از پیش‌تصفیه		خصوصیات شیرابه بعد از فرآیند فنتون	میزان حذف کل COD (درصد)
غلظت کلرور فریک (mg/L)	تنظیم pH	غلظت H_2O_2 (mg/L)	غلظت Fe^{2+} (mg/L)	تنظیم pH	COD (mg/L)	pH اولیه	COD (mg/L)	pH خروجی	COD (mg/L)	
۱۰۰۰	۵	۷۰۰۰	۸۷۵	۳	۵۲۰۰	۹/۲۵	۳۲۰۰	۳/۶۱	۱۲۸۰	۷۵/۳۸
۱۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۷۵۰	۳	۵۲۰۰	۹/۲۵	۳۲۰۰	۳/۶۱	۱۴۴۰	۷۲/۳۱
۱۰۰۰	۵	۵۰۰۰	۶۲۵	۳	۵۲۰۰	۹/۲۵	۳۲۰۰	۳/۶۱	۱۴۴۰	۷۲/۳۱
۱۰۰۰	۵	۴۰۰۰	۵۰۰	۳	۵۲۰۰	۹/۲۵	۳۲۰۰	۳/۶۱	۱۴۷۲	۷۱/۶۹
۱۰۰۰	۵	۳۰۰۰	۳۷۵	۳	۵۲۰۰	۹/۲۵	۳۲۰۰	۳/۶۱	۱۵۰۴	۷۱/۰۸

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۲: میزان حذف کل COD شیرابه بعد از انجام فرآیند انعقاد/ لخته‌سازی و فرآیند فنتون اصلاح‌شده

شرایط پیش‌تصفیه		شرایط فرآیند فنتون اصلاح شده			خصوصیات شیرابه خام		خصوصیات شیرابه بعد از پیش‌تصفیه		خصوصیات شیرابه بعد از فرآیند فنتون اصلاح شده	میزان حذف کل COD (درصد)
غلظت کلرور فریک (mg/L)	تنظیم pH	غلظت H_2O_2 (mg/L)	غلظت Fe^{3+} (mg/L)	تنظیم pH	COD (mg/L)	pH اولیه	COD (mg/L)	pH خروجی	COD (mg/L)	
۱۰۰۰	۵	۷۰۰۰	۸۷۵	۵	۵۶۰۰	۸/۳	۳۲۰۰	۴/۴	۱۲۸۰	۷۷/۱۴
۱۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۷۵۰	۵	۵۶۰۰	۸/۳	۳۲۰۰	۴/۴	۱۲۸۰	۷۷/۱۴
۱۰۰۰	۵	۵۰۰۰	۶۲۵	۵	۵۶۰۰	۸/۳	۳۲۰۰	۴/۴	۱۲۸۰	۷۷/۱۴
۱۰۰۰	۵	۴۰۰۰	۵۰۰	۵	۵۶۰۰	۸/۳	۳۲۰۰	۴/۴	۱۲۸۰	۷۷/۱۴
۱۰۰۰	۵	۳۰۰۰	۳۷۵	۵	۵۶۰۰	۸/۳	۳۲۰۰	۴/۴	۱۴۴۰	۷۴/۲۹

جدول۳: میزان حذف کل COD شیرابه بعد از انجام فرآیند انعقاد/ لخته‌سازی و فرآیند فتو-فنتون

شرایط پیش‌تصفیه		شرایط فرآیند فتو- فنتون			خصوصیات شیرابه خام		خصوصیات شیرابه بعد از پیش‌تصفیه		خصوصیات شیرابه بعد از فرآیند فتو- فنتون	میزان حذف کل COD (درصد)
غلظت کلرور فریک (mg/L)	تنظیم pH	غلظت H_2O_2 (mg/L)	غلظت Fe^{2+} (mg/L)	تنظیم pH	COD (mg/L)	pH اولیه	COD (mg/L)	pH خروجی	COD (mg/L)	
۱۰۰۰	۵	۷۰۰۰	۸۷۵	۳	۵۲۰۰	۹/۱۶	۳۲۰۰	۳/۸	۶۰۸	۸۸/۳۱
۱۰۰۰	۵	۶۰۰۰	۷۵۰	۳	۵۲۰۰	۹/۱۶	۳۲۰۰	۳/۸	۷۶۸	۸۵/۲۳
۱۰۰۰	۵	۵۰۰۰	۶۲۵	۳	۵۲۰۰	۹/۱۶	۳۲۰۰	۳/۸	۸۳۲	۸۴
۱۰۰۰	۵	۴۰۰۰	۵۰۰	۳	۵۲۰۰	۹/۱۶	۳۲۰۰	۳/۸	۸۸۰	۸۳/۰۸
۱۰۰۰	۵	۳۰۰۰	۳۷۵	۳	۵۲۰۰	۹/۱۶	۳۲۰۰	۳/۸	۹۲۸	۸۲/۱۵

جدول۴: میزان حذف COD در آزمایشات کنترل انجام‌شده

آزمایش کنترل	غلظت H_2O_2 (mg/L)	pH اولیه	تنظیم pH	COD اولیه (mg/L)	COD خروجی (mg/L)	تغییر COD (درصد)
H_2O_2	۶۰۰۰	۸/۴۱	۳	۵۶۰۰	۶۴۰۰	+۱۴/۲۹
H_2O_2	۶۰۰۰	۸/۴۱	۵	۵۶۰۰	۶۰۰۰	+۷/۱۴
H_2O_2	۶۰۰۰	۸/۴۱	بدون تنظیم	۵۶۰۰	۵۶۰۰	۰
هم زدن	–	۸/۴۱	۳	۵۶۰۰	۴۸۰۰	-۱۴/۲۹
هم زدن	–	۸/۴۱	۵	۵۶۰۰	۵۶۰۰	۰
هم زدن	–	۸/۴۱	بدون تنظیم	۵۶۰۰	۶۰۰۰	+۷/۱۴
UV	–	۸/۲۵	۳	۴۸۶۰	۳۷۸۰	-۲۲/۲۲
UV/ H_2O_2	۶۰۰۰	۸/۲۵	۳	۴۸۶۰	۵۲۲۰	+۷/۴۱
UV	–	۸/۳۸	بدون تنظیم	۳۹۶۰	۴۳۲۰	+۹/۰۹
UV/ H_2O_2	۶۰۰۰	۸/۳۸	بدون تنظیم	۳۹۶۰	۴۵۰۰	+۱۳/۶۴

* منظور مقدار باقیمانده برحسب واحد رایج در شیرابه تصفیه شده است

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

جدول۵: شرایط انجام همزمان فرآیندهای فنتون، فنتون اصلاح‌شده، فتو-فنتون، فنتون با پیش‌تصفیه

فرآیند	شرایط بهینه پیش‌تصفیه		شرایط بهینه تصفیه پیشرفته			
	تنظیم pH	غلظت کلرور فریک	تنظیم pH	غلظت H_2O_2 (mg/L)	غلظت Fe^{2+} یا Fe^{3+} (mg/L)	زمان فرآیند (min)
فنتون	۵	۱۰۰۰	۳	۵۰۰۰	۶۲۵	۱۵۰
فنتون اصلاح‌شده	۵	۱۰۰۰	۵	۵۰۰۰	۶۲۵	۹۰
فتو-فنتون	۵	۱۰۰۰	۳	۵۰۰۰	۶۲۵	۱۲۰

جدول۶: مقایسه عملکرد سه فرآیند ترکیبی در تصفیه شیرابه مطابق با شرایط جدول۵

پارامتر	واحد	مقدار در شیرابه خام	عملکرد فنتون با پیش‌تصفیه		عملکرد فنتون اصلاح شده با پیش‌تصفیه		عملکرد فتو- فنتون با پیش‌تصفیه	
			مقدار باقیمانده*	درصد حذف	مقدار باقیمانده	درصد حذف	مقدار باقیمانده	درصد حذف
COD	mg /L	۳۹۶۰	۴۳۲	۸۹/۰۹	۷۲۰	۸۱/۸۲	۵۷۶	۸۵/۴۵
BOD_5	mg /L	۴۷/۴	۱۵/۵	۶۷/۳	۲۲/۵	۵۲/۵۳	۱۱۴/۶	-۱۱۲
BOD_5/COD	-	۰/۰۱۲	۰/۰۳۶	-	۰/۰۳۱	-	۰/۱۹۹	-
TKN	mgN /L	۵۳۲	۳۳۳/۲	۳۷/۳۷	۳۳۰/۴	۳۷/۹	۴۲۰	۲۱/۰۵
اورتو فسفات	mg P /L	۹۱/۶۲	۳/۲۹	۹۶/۴۱	۳/۹۳	۹۵/۷۱	۲/۶۴	۹۷/۱۲
آهن	mg /L	۸۱/۹	۱۴۵	-۷۶/۶۴	۱۴۸	-۸۰/۹۲	۷۰/۹	۱۳/۴۴
مس	mg /L	۲	۰/۵۷	۷۱/۴۳	۱	۵۰	۰/۴۳	۷۸/۵۷
کروم کل	mg /L	۲/۷۵	۰/۵	۸۱/۸۲	۰/۵	۸۱/۸۲	۰	۱۰۰

* منظور مقدار باقیمانده برحسب واحد رایج در شیرابه تصفیه شده است

بحث و نتیجه گیری

در این قسمت ابتدا فرآیند انعقاد، لخته‌سازی و ته نشینی به عنوان فرایند پیش تصفیه و بدنبال آن فرایند فنتون، فنتون اصلاح‌شده فتو-فنتون در تصفیه شیرابه مورد بحث قرار می‌گیرند.

انعقاد/ لخته‌سازی یک فرآیند ضروری در تصفیه آب و فاضلاب صنعتی می‌باشد(۲۳). انعقاد می‌تواند جهت حذف آلاینده‌ها از شیرابه نیز مورد استفاده قرار گیرد و میزان اهمیت آن بستگی به مشخصات شیرابه و شرایط واکنش دارد(۸). چندین مطالعه به بررسی استفاده از انعقاد/ لخته‌سازی جهت تصفیه شیرابه محل دفن و تعیین شرایط آزمایش پرداخته‌اند. سولفات آلومینیوم (آلوم)، سولفات آهن، کلرید فریک، و فریک کلرو سولفات بطور رایج بعنوان منعقدکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمک‌های آهن در مقایسه با آلومینیوم دارای کارآیی بیشتری می‌باشند، بطوریکه میزان حذف COD با نمک آهن بیش از ۵۶٪ و در مورد آلوم یا آهک بترتیب کمتر از ۳۹ و ۱۸٪ است(۲۳).

در این مطالعه در COD۴۵۰۰ = میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف COD با ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرور فریک ۴۵/۸۳ درصد و در COD=۳۹۶۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف COD با ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کلرور فریک ۷۲/۷۳ درصد بود و بطور کلی با افزایش غلظت منعقدکننده، درصد حذف COD افزایش یافت. pH بهینه در فرآیند انعقاد/ لخته‌سازی با کلرور فریک، pH برابر ۵ بود. درحالیکه در مطالعه دیگر نتایج آزمایشات انعقاد/ لخته‌سازی بر روی شیرابه‌ای با COD برابر ۳۸۵۶۳ میلی‌گرم بر

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

لیتر نشان داد که در شرایط بهینه، بازدهی حذف COD با استفاده از آلوم ۲۱٪ بود. درحالیکه حذف COD توسط کلرید فریک ۲۸٪ بود. نتایج دلالت بر این داشت که pH بهینه برای منعقدکننده آلوم و کلرید فریک جهت تصفیه شیرابه بترتیب ۶/۵ و ۱۰ و غلظت منعقدکننده بترتیب ۱۴۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود(۲۴). البته در مطالعه کنونی دامنه pH مورد بررسی ۳ تا ۸ بود و pH بالاتر مورد بررسی قرار نگرفت. نسبت BOD_5 به COD بعد از تصفیه با فرایند تغییری نکرد(۲۵).

تاثیر منعقدکننده در تصفیه شیرابه به پارامترهای متعددی نظیر غلظت COD، نسبت BOD_5/COD، ..... بستگی دارد. مثلاً وانگ و همکارانش در مطالعه‌ای که جهت تصفیه شیرابه ای با COD اولیه ۵۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر توسط فرآیند انعقاد- فتو اکسیداسیون انجام دادند، با افزودن ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ به ۶۴٪ حذف COD دست یافتند. pH در محدوده ۸-۳ مورد بررسی قرار گرفت و مقدار pH کمتر دارای بازدهی تصفیه بیشتری بود(۲۶).

تاتسی و همکارانش به مطالعه پیش‌تصفیه شیرابه محل دفن زباله با فرآیند انعقاد- لخته‌سازی پرداختند. در این مطالعه، افزودن منعقدکننده‌های فریک یا آلوم به شیرابه تازه دارای COD برابر ۷۰۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، منجر به کاهش ۳۸-۲۵٪ از مقدار COD گردید. بهترین میزان حذف با افزودن ۳ گرم در لیتر آلوم به نمونه بدست آمد. ظرفیت‌های حذف بالاتر برای شیرابه نسبتاً تثبیت‌شده با COD حدود ۵۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد و بطور مشابه، کاهش از ۷۵٪ تجاوز نمود. در این مورد، بهترین میزان حذف COD با تنظیم pH بر روی ۱۰ و آهن با غلظت ۲ گرم در لیتر، حدود ۸۰٪ بود(۲۳). مطالعات دیگران نشان داد که میزان حذف COD در شیرابه‌هایی با مشخصات متفاوت و توسط منعقدکننده‌های مختلف از جمله کلرور فریک، آلوم، آهک، سولفات آهن و مخلوط این منعقدکننده‌ها در محدوده ۷۵-۲۴٪ قرار دارد(۲۷).

همانطور که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد، در شرایط یکسان و با غلظت H_2O_2 برابر ۵۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و Fe^{+2} یا Fe^{+3} برابر ۶۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، بازدهی فرآیند فنتون، فنتون اصلاح شده و فتو فنتون با پیش‌تصفیه در کاهش COD به ترتیب معادل با ۸۹/۰۹ ، ۸۱/۸۲ و ۸۵/۴۵ درصد می‌باشد. به عبارتی راندمان فنتون اصلاح شده کمتر از دو فرایند دیگر است. با مقایسه نتایج این جدول۷ با نتایج اشکال ۲ و ۳ و آزمایش‌های کنترلی(جدول ۴) می‌توان گفت، فرآیند پیش‌تصفیه در همه فرآیندها موجب کاهش بیشتر COD گردید. در تمامی فرآیندها نسبت BOD_5/COD در مقایسه با شیرابه خام افزایش یافت که این افزایش در فرآیند فتو-فنتون با پیش‌تصفیه از سایر فرآیندها بیشتر می‌باشد. نتایج این مطالعه مشابه سایر مطالعات از جمله مطالعه هرموسیلا و همکارانش که به بهینه‌سازی تصفیه شیرابه محل دفن توسط فرآیندهای فنتون و فتو-فنتون پرداختند. در این مطالعه، از لامپ ۴۵۰ وات جیوه‌ای با فشار بالا بصورت غوطه‌ور در فرآیند فتو-فنتون استفاده شد. در pH مساوی ۲/۵ و دمای محیط، میزان حذف COD عمدتاً بالا بود. حذف COD در غلظت‌های بالاتر آهن فروس بسیار سریعتر و بیشتر از وقتی بود که از غلظت‌های آهن فروس کم در غیاب اشعه UV استفاده گردید. تحت شرایط بهینه و در غیاب نور UV، فرآیند فنتون قادر به حذف حدود ۸۰٪ COD از شیرابه «تازه» بود، درحالیکه حذف COD در شیرابه‌های «کهنه» و «مخلوط» کمتر از ۷۰ درصد بود.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

تحت شرایط بهینه فرآیند فنتون متداول، کاربرد نور UV بطور قابل توجهی میزان حذف COD و TOC را افزایش نداد و همان مقدار ماند و نسبتاً مستقل از غلظت Fe^{2+} بود، اما غلظت آهن فروس مورد استفاده می‌تواند تا حدود ۳۲ برابر جهت رسیدن به مقدار حذف COD و TOC در فرآیند فنتون، کاهش یابد. استفاده از Fe^{2+} کمتر دلالت بر این داشت که چرخه تولید نوری بیشتری برای تولید همان مقدار رادیکال هیدروکسیل جهت حذف مقدار مشابهی از COD و TOC مورد نیاز خواهد بود. بطور خلاصه، با تعریف یکسری شرایط از نظر مقدار پراکسید هیدروژن و آهن فروس، چه در فرآیند فنتون و چه در فرآیند فتو-فنتون می‌توان به درصد حذف COD و TOC مشابه دست یافت. از نظر هزینه تصفیه، فرآیند فنتون متداول نیاز به مواد شیمیایی بیشتر داشته و هزینه‌های دفع لجن بیشتر است و در فرآیند فتو-فنتون هزینه تجهیزات و انرژی بالاتر است(۱۶). مطابق مطالعه رنو و همکارانش، فرآیندهای فنتون و فتو-فنتون بترتیب دارای بازدهی حذفی برابر با ۷۵-۴۵٪ و ۷۸-۷۰٪ می‌باشند. نسبت BOD/COD پس از اکسیداسیون با استفاده از فرآیند فنتون، در مطالعات اخیر، به ۰/۵ رسیده است. بهرحال، اشکال اصلی فرآیند فتو-فنتون نیاز به انرژی الکتریکی بالا جهت لامپ UV و در نتیجه افزایش هزینه تصفیه می‌باشد(۲۷).

مطالعات دیگران نشان داد که میزان حذف COD شیرابه محل دفن‌های مختلف توسط فرآیندهای فنتون، فنتون اصلاح‌شده و فتو-فنتون در نسبت مولی $H_2O_2:Fe^{2+}/Fe^{3+}$ متفاوت از ۴۵ تا ۸۵ درصد متغیر می‌باشد که احتمالاً بدلیل تفاوت در مشخصات شیرابه ورودی، نوع پیش‌تصفیه و پیچیدگی ترکیبات شیرابه می‌باشد(۸). میزان حذف TKN در فرآیند فنتون اصلاح‌شده از سایر فرآیندها بیشتر بود. اورتو فسفر در فرآیند فتو-فنتون و فنتون اصلاح‌شده بترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد حذف بود. بطور کلی میزان حذف اورتو فسفر در همه فرآیندها با بیش از ۹۵٪، از همه پارامترها بیشتر بود. آهن در فرآیند بدون نور UV افزایش یافت. بطور کلی بدلیل افزودن آهن به همه فرآیندها بعنوان کاتالیزور، آهن هم در پساب خروجی و هم در لجن تولیدی افزایش می‌یابد که یکی از محدودیت‌های فرآیندهای با پایه فنتون محسوب می‌گردد. استفاده از نور UV می‌تواند هم میزان لجن آهن و هم میزان آهن در پساب خروجی را کاهش دهد. مس هم در فرآیندهای فنتون و فتو-فنتون دارای حذف بیش از ۷۰٪ بود و کمترین میزان حذف مس در فرآیند فنتون اصلاح‌شده و حدود ۲۸٪ بود. میزان حذف کروم هم در فرآیند فتوفنتون ۱۰۰٪ بود .

در مجموع با توجه به درصدهای حذف بدست‌آمده در فرآیندهای انجام‌گرفته، می‌توان گفت که در تصفیه شیرابه، فرآیند فتو-فنتون با پیش‌تصفیه دارای بیشترین کارآیی می‌باشد. با وجود مصرف آهن کمتر و درنتیجه تولید لجن آهن کمتر در فرآیند فتو-فنتون که از مزایای این فرآیند محسوب می‌گردد، در عمل نگهداری و بهره‌برداری از لامپ UV، بدلیل جرم گرفتن بسیار مشکل بوده و هزینه‌های بهره‌برداری فرآیند فتو-فنتون نیز بدلیل مصرف برق بسیار بالاست. همچنین استفاده از لامپ UV بدون درنظرگرفتن موارد ایمنی در طولانی‌مدت سبب ایجاد خطرات سلامتی می‌گردد. با این شرایط بنظر می‌رسد که نتوان از فرآیند فتو-فنتون در مقیاس وسیع استفاده نمود.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

در عمل، انتخاب یک طرح مناسب برای تصفیه شیرابه توسط فنتون فرآیندی پیچیده است که توجه به بسیاری از عوامل وابسته نظیر بازدهی تصفیه موردنیاز، دفع نهایی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، و پیچیدگی عملیاتی را می‌طلبد. واکنش فنتون می‌تواند بطور موثری جهت تصفیه شیرابه محل دفن بکار رود و مخصوصاً می‌تواند برای شیرابه بالغ مناسب باشد. فرآیندهای فنتون جهت تصفیه شیرابه با سمیت بالا قابل کاربرد بوده و بطور قابل توجهی سینتیک‌های سریعتری را در مقایسه با فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی ارائه می‌دهد.همچنین تصفیه فنتون در مقایسه با سایر تکنولوژی‌های فیزیکی/ شیمیایی شامل انعقاد و جذب سطحی کربن فعال، بطور قابل توجهی دارای بازدهی بالاتری جهت حذف ترکیبات آلی موجود در شیرابه می‌باشد. خصوصاً در تصفیه فنتون در مقایسه با فیلتراسیون غشایی و سایر فرآیندهای جداسازی، بجای انتقال آلاینده از یک فاز به فاز دیگر، ماده شیمیایی تخریب می‌گردد. از همه مهمتر اینست که هزینه‌های سرمایه‌گذاری تصفیه فنتون می‌تواند بسیار کمتر از سایر فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته باشد. تصفیه فنتون نیاز به انرژی کمی دارد و هزینه‌های بهره‌برداری نیز اصولاً بستگی به غلظت معرفها خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران در تامین هزینه این تحقیق طی طرح تحقیقاتی به شماره ۸۸-۸ قدردانی می‌گردد.

References

1-Neczaj E, Okoniewska E, Kacprzak M. Treatment of landfill leachate by sequencing batch reactor. Desalination. 2005; 185(1-3):357-62.

2-Lopez A, Pagano M, Volpe A, et al. Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. Chemosphere. 2004; 54(7):1000-1005.

3-Aktas O, Cecen F. Addition of activated carbon to batch activated sludge reactors in the treatment of landfill leachate and domestic wastewater. J Chem Technol Biotechnol. 2001; 76:793-802.

4-Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. Integrated solid waste management. McGrow-Hill; 1993: 417-444.

5-Guinea E, Arias C, Cabot PL, et al. Mineralization of salicylic acid in acidic aqueous medium by electrochemical advanced oxidation processes using platinum and boron-doped diamond as anode and cathodically generated hydrogen peroxide. Water Research. 2008;42(1-2):499-511.

6-Kishimoto N, Nakagawa T, Asano M, et al. Ozonation combined with electrolysis of 1,4-dioxane using a two-compartment electrolytic flow cell with solid electrolyte. Water Research. 2008;42(1-2):379-85.

7-Wang LK, Hung Y-T, Lo HH, et al. Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment. 2nd ed. United states of America: Marcel Dekker; 2004. 1155-1209.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

8-Deng Y, Englehardt JD. Treatment of landfill leachate by the Fenton process. Water Research. 2006;40(20):3683-94.

9-Primo O, Rivero MJ, Ortiz I. Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. Journal of Hazardous Materials. 2008;153(1-2): 834-42.

10-Turan-Ertas T, Gurol MD. Oxidation of diethylene glycol with ozone and modified Fenton processes. Chemosphere. 2002;47(3):293-301.

11-Morais JLd, Zamora PP. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. Journal of Hazardous Materials. 2005;123(1-3):181-6.

12-Zhang H, Choi HJ, Canazo P, et al. Multivariate approach to the Fenton process for the treatment of landfill leachate. Journal of Hazardous Materials. 2009;161(2-3):1306-12.

13-Goi A, Veressinina Y, Trapido M. Fenton Process for Landfill Leachate Treatment: Evaluation of Biodegradability and Toxicity. Journal of Environmental Engineering. 2010;136(1):46-53.

14-Batarseh ES, Reinhart DR, Daly L. Liquid Sodium Ferrate and Fenton's Reagent for Treatment of Mature Landfill Leachate. Journal of Environmental Engineering. 2007;133(11):1042-50.

15-Lau IWC, Wang P, Fang HHP. Organic Removal of Anaerobically Treated Leachate by Fenton Coagulation. Journal of Environmental Engineering. 2001;127(7):666-9.

16-Hermosilla D, Cortijo M, Huang CP. Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes. Science of The Total Environment. 2009;407(11):3473-81.

17-Altin A. An alternative type of photoelectro-Fenton process for the treatment of landfill leachate. Separation and Purification Technology. 2008;61:391-7.

18-Farrokhi M, Kouti M, Mousavi Gh.R, Takdastan A. The Study on Biodegradability Enhancement of Landfill Leachate by Fenton Oxidation. Iran. J. Health & Environ., 2009;2(2) [In Persian].

19-Malakootian M, Jafarzadeh Haghighi fard N, Ahmadian M, et al. Influence of Fenton Process on Treatability of Kerman City Solid Waste Leachate. Iranian Journal of Health and Environment. 2010;3(2) : 123-134[In Persian].

20-Wang Z-P, Zhang Z, Lin Y-J, et al. Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process. Journal of Hazardous Materials. 2002;95:153-9.

21-Tatsi AA, Zouboulis AI, Matis KA, et al. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. Chemosphere,. 2003;53: 737-44.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

22-APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation; 2005.

23-Tatsi AA, Zouboulis AI, Matis KA, et al. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. Chemosphere. 2003;53 737-44.

24-Zazouli MA, Yousefi Z. Removal of Heavy Metals from Solidwastes Leachates Coagulation-Flocculation Process. Journal of Applied Sciences2008; 8(11):2142-7.

25-Wang Z-p, Zhang Z, Lin Y-j, et al. Landfill leachate treatment by a coagulation-photo oxidation process. Journal of Hazardous Materials. 2002;95(1-2):153-9.

26-Rivas FJ, Beltrán F, Carvalho F, et al. Stabilized leachates: sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process. Journal of Hazardous Materials. 2004;116(1-2):95-102.

27-Renou S, Givaudan JG, Poulain S, et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Materials. 2008;150(3):468-93.

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]

Evaluation of the Different Fenton Processes Combined with Coagulation- Flocculation Pretreatment in Landfill Leachate Treatment

Zazouli MA (Ph.D)[*] Yousefi Z (Ph.D)[**] Eslami A(Ph.D)[***]Bagheri Ardebilian M (MSc)[****]

[*]Assistant professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

[**] Corresponding Author; Associate professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

[***]Assistant professor,Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Shahid Behashti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[****]MSc in Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran.

Abstract

Background: Advanced oxidation processes such as Fenton and photo-Fenton that have been applied effectively to oxide the persistent organic compounds in leachate and converts them to unharmful materials and final products. However, there are a few data about application of Fenton-like process in leachate treatment. Therefore, the aim of this study was to treat the municipal landfill leachate by above processes..

Methods: This study was an experimental study that was conducted with set up a pilot system. The used leachate collected from a municipal unsanitary landfill of Qaem-shahr city that located in Mazandaran province. All examinations and samples were analyzed according to Stndard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Results: The results showed that the conventional coagulation & flocculation process with chloride ferric removed about 45% of COD in optimum conditions. The combining of pretratment with AOPs significantly increased removal efficiency so that the removal efficiency COD for Fenton, photo-Fenton and modified fenton processes was 89, 85.45 and 81.82 percent in the same conditions, respectively. After all processes, the biodegradability (BOD_5/COD ratio) of treated leachate compared to raw leachate was increased and the highest increasing of BOD_5/COD ratio was in the photo-Fenton process.

Conclusion: The efficiency of the Fenton-like process is less than Fenton and photo-Fenton processes. Instead, the Fenton-like process was done at the higher pH and will not have these problems.

Keywords: leachate treatment, advanced oxidation processes, photo-Fenton, Fenton, Fenton-like, landfill

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-25]