

تصفیه شیرابه ورودی به دریا به روش فنتون (اکسایش پیشرفته) در محل دفن زباله‌ها در بندر امام خمینی (ره)

سید حشمت اله موسوی¹، آرش لرکی^{1*} و مهدی جلالی²

¹گروه شیمی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

²شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، منطقه ویژه اقتصادی بندر امام خمینی (ره)

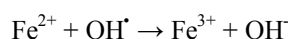
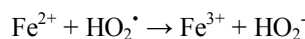
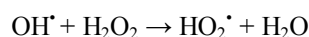
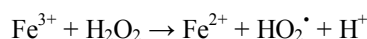
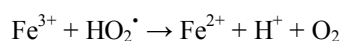
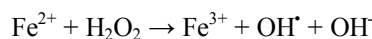
(تاریخ دریافت: 1397/8/18 تاریخ پذیرش: 1398/7/16)

شیرابه‌های حاصل از زباله‌های شهری به دلیل عواملی از قبیل اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) بالا و رنگ تیره، آلاینده بالقوه محیط‌زیست بوده و قابلیت تجزیه طبیعی پایینی دارند. هدف از این تحقیق، بررسی تصفیه‌پذیری شیرابه حاصل از محل دفن پسماندهای شهری بندر امام خمینی (ره)، با استفاده از فرآیند فنتون (اکسایش پیشرفته) می‌باشد. در این مطالعه، شیرابه از محل دفن زباله‌ها جمع‌آوری و با استفاده از فرآیند فنتون مورد تصفیه قرار گرفت و تأثیر پراسنجه‌های مهم از قبیل pH، مقادیر H_2O_2 و $Fe(II)$ و زمان‌های مختلف واکنش بررسی و بهینه شد. در شرایط بهینه، بیشترین میزان حذف COD شیرابه در pH برابر 3/5 و با افزودن 3/5 گرم آهن(II) سولفات و 10 میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید (30% w/w) برابر 84 درصد به دست آمد. داده‌ها نشان داد که وارد کردن چند مرحله‌ای هیدروژن پراکسید و یون آهن و افزایش زمان واکنش تا 120 دقیقه، سبب افزایش بازده فرآیند فنتون می‌گردد. نتایج این بررسی، قابلیت استفاده از روش فنتون در کاهش قابل توجه COD شیرابه زباله‌های دفن‌شده در بندر امام خمینی (ره) را نشان داد.

کلید واژه: اکسیژن خواهی شیمیایی، روش فنتون، تصفیه، آلودگی آب، شیرابه زباله

مقدمه

طی نموده باشد [4 و 5]. روش‌های تصفیه شیمیایی که بر پایه تولید رادیکال هیدروکسیل (OH^*) استوار می‌باشند، به عنوان روش‌های اکسایش پیشرفته یا AOP شناخته می‌شوند [6]. محبوب‌ترین فرآیند اکسایش پیشرفته شیمیایی، روش فنتون است که در آن از Fe^{2+} و H_2O_2 برای تجزیه مواد آلی مقاوم استفاده می‌شود. واکنش فنتون نخستین بار در سال 1894 در انگلستان توسط دکتر فنتون با اکسایش تارتاریک اسید با مخلوط آهن سولفات و هیدروژن پراکسید شناخته شد [7]. در فرآیند فنتون در حضور هیدروژن پراکسید و یون آهن دوظرفیتی، رادیکال هیدروکسیل جهت انجام اکسایش تولید می‌شود. رادیکال قوی هیدروکسیل با کربن موجود در مواد آلی ترکیب شده و با شکستن پیوند دوگانه در حلقه‌های بنزنی، سبب گسستن این حلقه و آزاد سازی مولکول‌های هیدروژن می‌گردد؛ به این ترتیب بسیاری از مواد آلی به موادی با سمیت کمتر (قابل تجزیه زیستی)، آب و کربن دی‌اکسید تبدیل می‌شوند. اکسایش فنتون یک روش منحصر بفرود است، زیرا روشی ساده است که به تجهیزات خاص نیاز نداشته و کارایی بالایی برای حذف آلاینده‌های آلی دارد. روابط ذیل، سازوکار پیشنهادی این فرآیند را نشان می‌دهد [8-10]:



در یک صد سال اخیر، افزایش رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی، تغییر در شیوه تولید محصولات و عادت‌های مصرفی مردم، همچنین توسعه صنعت و فناوری، سبب افزایش نرخ تولید زباله شهری و صنعتی گردیده است. دفن بهداشتی مواد زاید جامد، در زمره نخستین روش‌های رایج اقتصادی و قابل قبول دفع در اغلب کشورهای جهان می‌باشد. بر اساس مطالعه‌های سازمان بهداشت جهانی، دفن بهداشتی، بیشترین کاربرد را در بسیاری از کشورها مانند فرانسه، کانادا، امریکا، نروژ، انگلستان، اسپانیا و ایتالیا دارد [1 و 2]. در بسیاری از کشورها، استفاده از زباله‌گاه‌های بهداشتی، عمومی‌ترین روش برای دفع و زدودن این ضایعات جامد شهری است. اما آنچه از زباله‌گاه شهری خارج می‌شود، شیرابه‌ای است که به عنوان یک فاضلاب آلوده کننده قوی مورد توجه قرار گرفته است. شیرابه ممکن است حاوی غلظت بالای چندین آلاینده خطرناک به صورت همزمان باشد. ترکیب شیرابه محل‌های دفن، بسته به طبیعت مواد زاید جامد، ویژگی‌های خاک، الگوی ریزش باران و سن مکان دفن تغییر می‌کند. با افزایش سن مکان دفن، غلظت مواد مقاوم در برابر تجزیه زیستی با وزن مولکولی بالا مانند هیومیک و فلوویک افزایش می‌یابد [3-5]. این شیرابه‌ها شامل مقدار زیادی مواد آلی با قابلیت تجزیه زیستی، مواد آلی مقاوم در برابر تجزیه زیستی، آمونیاک، فلزات سنگین، مواد آلی کلردار و نمک‌های غیر آلی می‌باشند که در صورت عدم مدیریت صحیح، می‌تواند سبب آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی گردد. یکی از گزینه‌های مدیریت شیرابه، جمع‌آوری و تصفیه آنهاست. فرآیندهای متداول تصفیه شیرابه شامل انواع فرآیندهای بی‌هوازی و هوازی و فرآیندهای تصفیه شیمیایی است. شیرابه‌ها به دلیل داشتن ترکیبات آلی پیچیده مقاوم در برابر تجزیه زیستی، به تصفیه شیمیایی از جمله اکسایش پیشرفته نیاز خواهند داشت به ویژه اگر شیرابه قدیمی بوده و مرحله‌هایی از تجزیه زیستی را

روش انجام آزمایش

ابتدا، مقدار 100 میلی لیتر محلول شیرابه به یک بشر 500 میلی لیتری منتقل و به منظور جلوگیری از کف کردن، مقدار 2 میلی لیتر از محلول ضدکف به شیرابه افزوده و محلول به وسیله یک همزن مغناطیسی به هم زده شد. سپس در بازه زمانی 2 ساعت، 2 گرم آهن سولفات همراه با 10 میلی لیتر محلول هیدروژن پراکسید به آرامی و به عنوان کاتالیزور به محلول افزوده گردید. پس از اطمینان از اسیدی بودن محلول (با اندازه گیری pH)، مخلوط واکنش به مدت 30 دقیقه دیگر به هم زده شد تا واکنش فنتون کامل شود. پس از کامل شدن واکنش فنتون، با افزودن سدیم هیدروکسید 2 مولار، pH محلول به 10 رسانده شد تا تمام آهن موجود در محلول به شکل رسوب ته نشین شود. سپس با عبور دادن محلول از کاغذ صافی، میزان COD محلول باقیمانده، مطابق روش استاندارد رفلاکس دی کرومات اندازه گیری شد. نمایش تصویری از روش انجام آزمایش در شکل 1 آورده شده است.

نتایج و بحث در نتایج

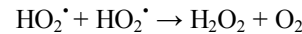
در فرآیند اکسایش پیشرفته با استفاده از فنتون، اثر pH، غلظت H_2O_2 ، مقدار $FeSO_4$ و زمان واکنش در حذف COD شیرابه مورد مطالعه و به روش یک متغییر در زمان، مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی اثر مقدار آهن (II)

غلظت یون های آهن (II) تأثیر بسزایی در بازدهی فرآیند فنتون دارد. بدون حضور یون های آهن، رادیکال های هیدروکسیل تشکیل نمی شوند، بنابراین غلظت یون های آهن (II)، هم از نظر افزایش تولید رادیکال هیدروکسیل و هم از نظر ایجاد پدیده انعقاد، در کاهش COD و کدورت موثر است [15-17]. به منظور بررسی تأثیر مقدار آهن بر این فرآیند، مقدارهای 0/5، 1، 1/5، 2، 2/5، 3، 3/5 و 4 گرم از نمک آهن (II) سولفات استفاده شد. همان گونه که از شکل 2 مشاهده می شود، با افزایش 0/5 گرم از آهن (II)، درصد حذف COD به بیش از 55% رسید و با افزایش مقدار آهن (II)، این روند افزایش یافت و در 3/5 گرم، بیشترین مقدار حذف مشاهده شد. با افزایش مقدار یون آهن به 4 گرم، بازده حذف COD کاهش یافت که این امر را می توان به تمایل رادیکال های هیدروکسیل به انجام واکنش اکسایش-کاهش با Fe^{2+} و H_2O_2 نسبت داد. از همین رو مقدار 3/5 گرم آهن (II) به عنوان مقدار بهینه در ادامه مراحل بهینه سازی انتخاب شد.

اثر غلظت هیدروژن پراکسید

به منظور بررسی غلظت H_2O_2 در فرآیند فنتون، حجم های مختلفی از هیدروژن پراکسید 30% (0 تا 15 میلی لیتر) به نمونه ها افزوده و بازده فرآیندها مطابق روش کار ذکر شده، به دست آمد. نتایج این مطالعه در شکل 3 گزارش شده است. همان طور که ملاحظه می شود، با افزایش حجم اولیه H_2O_2 تا 10 میلی لیتر، درصد حذف افزایش یافت. دلیل این امر می تواند افزایش مقدار رادیکال های هیدروکسیل تولیدی باشد. اما مقدارهای بالاتر از هیدروژن پراکسید، تأثیر چندانی در میزان حذف ندارد که به دلیل تجزیه H_2O_2 به اکسیژن و آب، ترکیب رادیکال های هیدروکسیل و جلوگیری از تشکیل آن ها است [18 و 19]. بنابراین، حجم 10 میلی لیتر از



ثابت شده است که این رادیکال ها به طور موثری با انواع مختلف ترکیب ها مانند الکل ها، اترها، فنل های کلرینه، آروماتیک ها، رنگ ها و سموم واکنش می دهند. H_2O_2 به تنهایی برای تجزیه ترکیب های مقاوم موجود در شیرابه تثبیت شده مناسب نیست که دلیل آن سرعت کند واکنش هیدروژن پراکسید با مواد آلی و سرعت کم تجزیه خودبه خودی آن می باشد. اما از فرآیند فنتون به شکل موفقیت آمیزی در تصفیه فاضلاب و پساب های مختلف استفاده شده است [11 و 12]. علاوه بر این در ایران نیز، این روش جهت تصفیه پساب های رنگرزی و نیز کاهش آلاینده های آلی مورد استفاده قرار گرفته است [13 و 14].

با توجه به اهمیت موضوع بیان شده، در این تحقیق تصفیه پذیری شیرابه تولیدشده در محل دفن پسماندها واقع در بندر امام خمینی (ره)، با استفاده از فرآیند فنتون در یک پایلوت آزمایشگاهی جهت کاهش COD کدورت شیرابه مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش ها

مواد

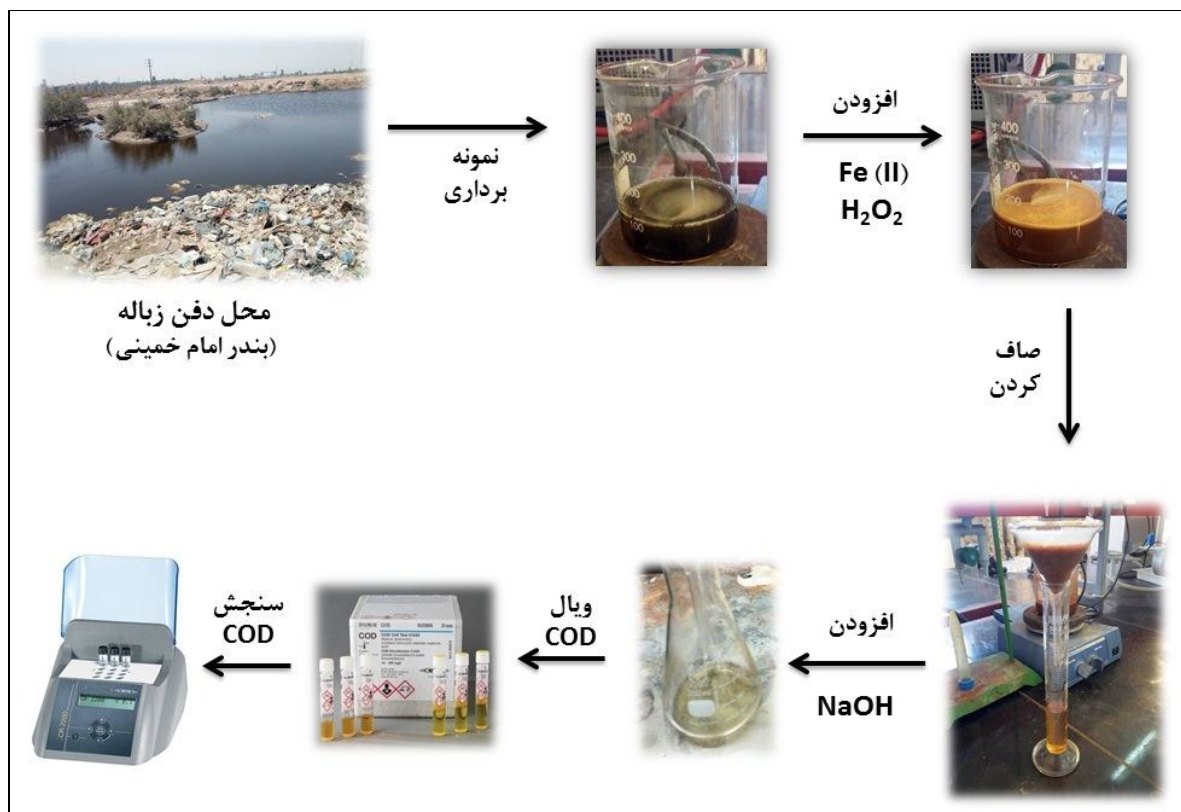
در تمام مرحله های انجام این مطالعه، جهت تهیه محلول های مورد نیاز از آب مقطر دوبار تقطیر استفاده شد. جهت تنظیم pH محلول ها، از سولفوریک اسید و سدیم هیدروکسید ساخت شرکت مرک آلمان استفاده گردید. در فرآیند فنتون، از نمک آهن (II) سولفات هفت آبیه ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) به منظور تهیه محلول حاوی Fe^{2+} ، و از هیدروژن پراکسید (30% w/w) ساخت شرکت مرک آلمان به عنوان اکسنده استفاده شد. به منظور جلوگیری از کف کردن محلول ها، از ماده ضد کف (دیفورم) شرکت کیمیا تهران اسید استفاده شد.

نمونه برداری

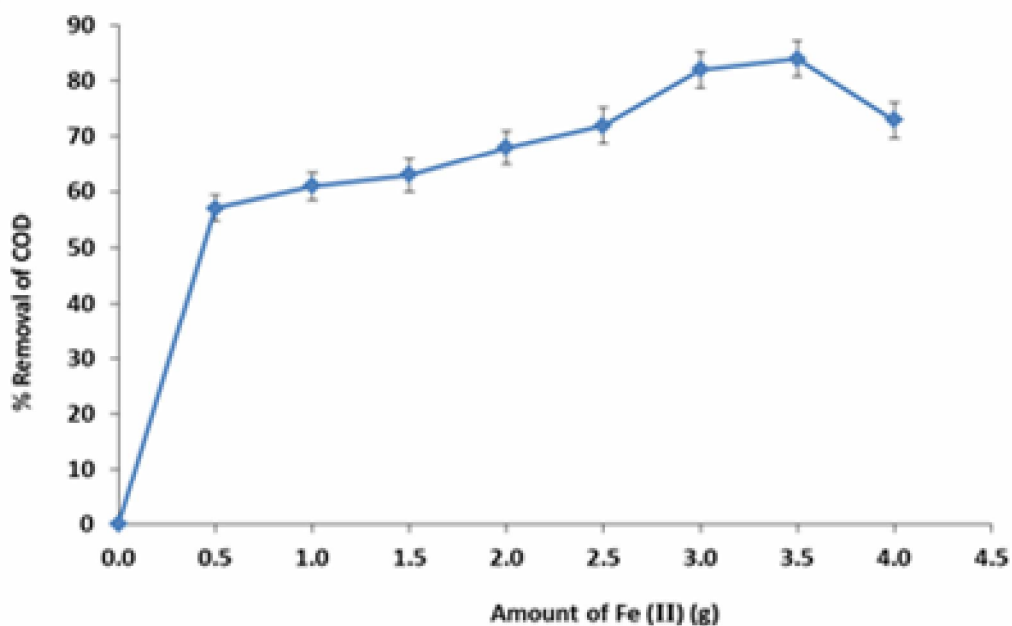
شیرابه مورد استفاده در این تحقیق، حاصل از فعالیت های صنعتی و کشاورزی و صنایع در بندر امام بود و از محل دفن زباله ها در فاصله 5 کیلومتری شهر بندر امام جمع آوری شد. نمونه برداری از شیرابه در دو فصل بارندگی و خشک (زمستان و تابستان) به صورت تصادفی انجام شد. نمونه ها در ظرف های پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و در یخچال نگهداری شدند. مقدار اولیه COD در نمونه های شیرابه، بیش از 65000 میلی گرم بر لیتر اندازه گیری شد.

دستگاه ها و وسایل

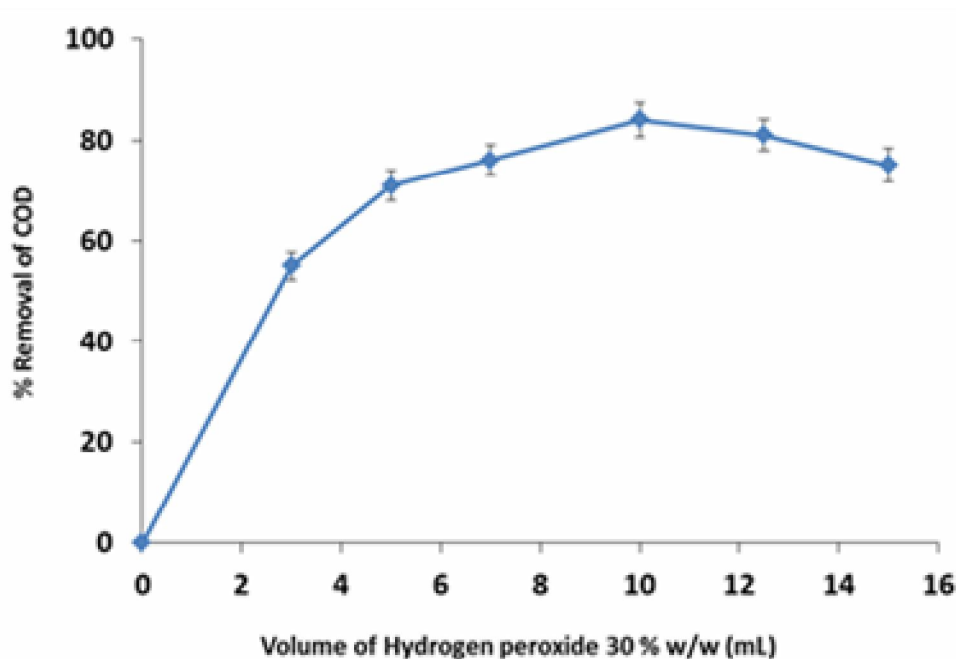
جهت اندازه گیری COD نمونه ها از ویال های COD شرکت Hach آمریکا، راکتور حرارتی مدل CR2200 شرکت WTW آلمان و دستگاه COD سنج شرکت WTW آلمان استفاده شد. جهت توزین نمونه ها از ترازوی دیجیتال شرکت Sartorius مدل TE124S و برای هم زدن نمونه ها، از دستگاه همزن مغناطیسی حرارتی مدل IKARHB2 استفاده شد. pH محلول ها نیز با استفاده از pH متر Suntex مدل SP-701 اندازه گیری شد.



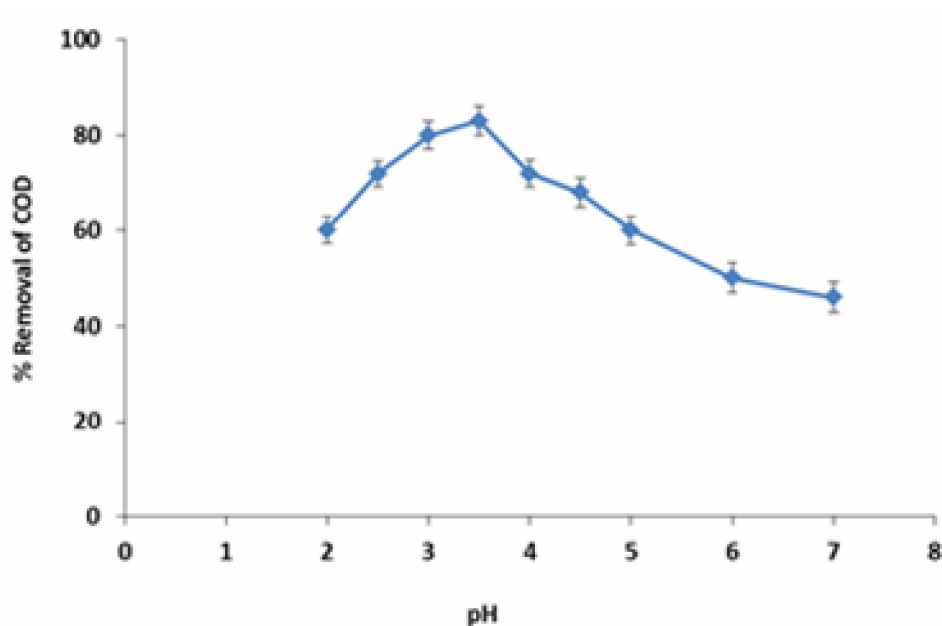
شکل 1. نمایش تصویری روش فنتون در تصفیه شیرآبه محل دفن زباله‌ها در بندر امام خمین (ره).



شکل 2. تاثیر مقدار آهن(II) در تصفیه شیرآبه به روش فنتون. شرایط آزمایش: حجم شیرآبه؛ 100 میلی‌لیتر، pH محلول؛ 3,5، حجم هیدروژن پراکسید (30% w/w)؛ 10 میلی‌لیتر، حجم ضد کف؛ 2 میلی‌لیتر، زمان واکنش؛ 120 دقیقه.



شکل 3. تاثیر حجم هیدروژن پراکسید در تصفیه شیرآبه به روش فنتون. شرایط آزمایش: حجم شیرآبه؛ 100 میلی‌لیتر، pH محلول؛ 3,5، مقدار آهن(II) سولفات؛ 3,5 گرم، حجم ضد کف؛ 2 میلی‌لیتر، زمان واکنش؛ 120 دقیقه.



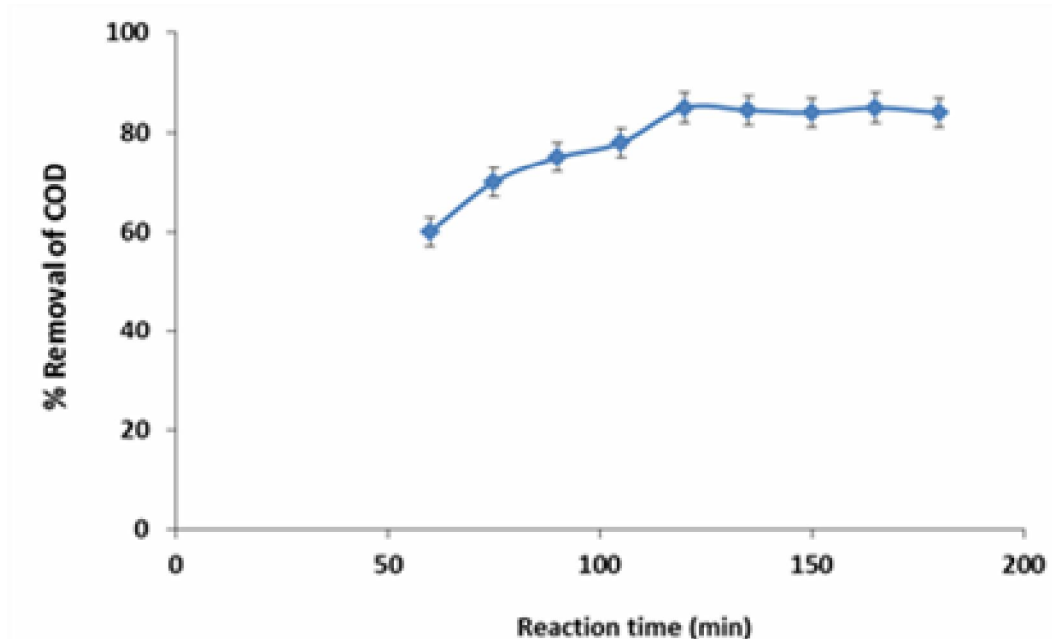
شکل 4. بررسی اثر pH محلول در تصفیه شیرآبه به روش فنتون. شرایط آزمایش: حجم شیرآبه؛ 100 میلی‌لیتر، حجم هیدروژن پراکسید (30% w/w)؛ 10 میلی‌لیتر، مقدار آهن(II) سولفات؛ 3,5 گرم، حجم ضد کف؛ 2 میلی‌لیتر، زمان واکنش؛ 120 دقیقه.

بنابراین کارایی اکسایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد [20]. از همین‌رو، اثر pH (در محدوده 2 تا 7) بر کارایی فرایند فنتون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده (شکل 4) نشان داد که بیشترین بازده حذف COD، در pH برابر 3/5 حاصل می‌شود و در محدوده بالاتر و پایین‌تر از این مقدار، بازده حذف به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. مشاهده

H_2O_2 (30% w/w) به عنوان مقدار بهینه هیدروژن پراکسید انتخاب شد.

تأثیر pH محلول

pH یکی از عامل‌های اصلی تأثیرگذار در بازده فرایند فنتون در حذف مواد غیر قابل تجزیه است. مقدار pH، تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و



شکل 5. تاثیر زمان واکنش در تصفیه شیرابه به روش فنتون. شرایط آزمایش: حجم شیرابه؛ 100 میلی‌لیتر، pH محلول؛ 3/5، حجم هیدروژن پراکسید (30% w/w)؛ 10 میلی‌لیتر، مقدار آهن(II) سولفات؛ 3/5 گرم، حجم ضد کف؛ 2 میلی‌لیتر.

جدول 1. مقایسه داده‌های حاصل شده در این تحقیق با سایر تحقیقات انجام شده در زمینه تصفیه شیرابه

مرجع	درصد حذف COD	pH	COD ورودی	نوع روش
[2]	76	-	4000	تخمیر بی‌هوازی
[19]	77	2/5	2530	تجزیه زیستی و فنتون
[20]	80	3/0	-	فنتون
[24]	15	8/1	6500	فنتون
[25]	56	7/8	14600	الکتروفنتون
[26]	60	7/5	1900	ازن‌زنی
[26]	59	7/4	22000	ازناسیون
تحقیق حاضر	85	3/5	65000	فنتون

نخواهد ماند. بنابراین این مسئله سبب تجزیه H_2O_2 و کاهش دسترسی به رادیکال‌های هیدروکسیل و در نهایت کاهش بازدهی فرآیند فنتون می‌شود [21و22]. بنابراین pH برابر 3/5 به عنوان pH بهینه انتخاب شد.

تاثیر زمان واکنش

زمان اکسایش یکی دیگر از پارسنجه‌هایی است که بر کارایی فرآیند فنتون تاثیر می‌گذارد. بهینه سازی زمان در واکنش‌های حذف، سبب

بیشترین درصد حذف COD در pH برابر 3/5 را می‌توان به تشکیل مقدار زیاد رادیکال هیدروکسیل در محیط‌های اسیدی نسبت داد. اما در pH‌های پایین‌تر و کاملاً اسیدی، $Fe(OH)^{2+}$ تشکیل شده به آرامی با هیدروژن پراکسید واکنش داده و سبب کاهش مقدار رادیکال‌های هیدروکسیل و در نتیجه کاهش بازده فرآیند می‌شود. در pH‌های قلیایی نیز، Fe^{2+} به Fe^{3+} تبدیل شده و به صورت $Fe(OH)_3$ رسوب و از چرخه کاتالیستی خارج می‌شود، و در نتیجه کاتالیست کافی در محیط باقی

مراتب تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌دارند.

مراجع

- 1) W. Zhao, D.E. Moilanen, E.E. Fenn, M.D. Fayer, J. Am. Chem. Soc. 130 (2008) 13927.
- 2) A.W. Adamson, Physical Chemistry of Surfaces (5th ed.) Interscience. New York, 1990.
- 3) K. Foo, B. Hameed, J. Hazard. Mater. 171 (2009) 54.
- 4) J. Bohdziewicz, A. Kwarciak, Desalination 222 (2008) 128.
- 5) D. Rabbani, M.R. Rezaeimofrad, A. Mazaheri, M. Mosayebi, Arak Med. Uni. J. 18 (2015) 49.
- 6) G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill, 1993.
- 7) J. Wiszniowski, D. Robert, J. Surmacz-Gorska, K. Miksch, J.V. Weber, Environ. Chem. Lett. 4 (2006) 51.
- 8) T.L.P. Dantas, H.J. Jose, F.P.M. Moreira, Acta Sci. Technol. 25 (2003) 91.
- 9) Y.H. Huang, R. Priambodo, Y.J. Shin, Y.J. Huang, Environ. Res. 21 (2011) 389.
- 10) N. Kishimoto, T. Nakagawa, M. Asano, Water Res. 42 (2008) 379.
- 11) L. Lu, Y. Ma, M. Kumer, J. Lin, Sustain. Environ. Res. 20 (2010) 293.
- 12) S. Yuan, M. Luo, M. Tong, P. Liao, W. Xie, X. Xu, Water Res. 48 (2013) 190.
- 13) C. Wang, J.L. Hu, W.L. Chou, Y.M. Kuo, J. Hazard. Mater. 152 (2008) 601.
- 14) W.Sh. Chen, S.Z. Lin, J. Hazard. Mater. 168 (2009) 1562.
- 15) A. Almasi, Y. Yousefi, M. Soltanian, A.H. Hashemian, A.R. Mousavi, Iran. J. Water Wastewater 4 (2015) 11. (in Persian).
- 16) M. Aliabadi, S.H. Fazel, F. Vahabzadeh, Iran. J. Water Wastewater 57 (2006) 30. (in Persian).
- 17) K.V. Padoley, S.N. Mudliar, S.K. Banerjee, S.C. Deshmukh, R.A. Pandey, J. Chem. Eng. 166 (2011) 1.
- 18) J. Meijide, J. Gómez, M. Pazos, M.A. Sanromán, J. Hazard. Mater. 319 (2016) 43.
- 19) A. J. Expósito, J. M. Monteagudo, A. Durán, I. San Martín, L. González, J. Hazard. Mater. 342 (2018) 597.
- 20) I. Gulkaya, G.A. Surucu, F.B. Dilek, J. Hazard.

صرفه‌جویی در هزینه‌های بهره‌برداری و انرژی مصرفی می‌شود. به منظور تعیین بهترین زمان و تاثیر آن در فرایند فنتون، آزمایش در زمان‌های بین 60 الی 180 دقیقه انجام گرفت. همان‌طور که از نتایج آرایه شده در شکل 5 مشخص است، بیشترین درصد حذف COD در زمان 120 دقیقه حاصل شد و پس از این زمان درصد حذف تغییر محسوسی نشان نداد. بنابراین زمان 120 دقیقه به عنوان زمان بهینه انجام واکنش انتخاب شد.

بررسی اثر شوری بر فرایند فنتون

با توجه به شوری بیش از حد محل نمونه برداری پساب در شهر بندر امام خمینی (ره)، اثر شوری محیط بر روی فرایند فنتون نیز مورد مطالعه قرار گرفت. به این ترتیب که در شرایط بهینه، فرایند فنتون روی نمونه‌هایی حاوی غلظت‌های مختلف نمک NaCl در محدوده 10 تا 40 گرم بر لیتر انجام و در پایان، مقدار COD محلول باقیمانده اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل از این بررسی نشان داد که با افزایش مقدار نمک، مقدار حذف COD تغییر قابل مشاهده‌ای نداشته است. بنابراین می‌توان بیان کرد که شوری محیط بر میزان کارایی فرایند فنتون تاثیر چندانی ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پروژه نشان داد که فرایند فنتون به عنوان یک روش مناسب با کارایی بالا برای حذف آلاینده‌های آلی و کاهش میزان COD شیرابه‌های غلیظ محل دفن زباله قابل استفاده است. انرژی و هزینه مورد نیاز فرایند فنتون در مقایسه با بسیاری از روش‌های فیزیکی و شیمیایی تصفیه شیرابه‌ها کمتر می‌باشد. در این تحقیق بازده حذف COD به میزان بیش از 84 درصد رسید. مقدار آهن(II)، غلظت هیدروژن پراکسید، pH محلول و زمان انجام واکنش از پراسنجه‌های مؤثر در تجزیه مواد آلی و فرایند فنتون است. در شرایط بهینه pH محلول برابر 3/5، مقدار آهن(II) 3/5 گرم، حجم هیدروژن پراکسید (30% w/w) 10 میلی‌لیتر و زمان تکمیل واکنش 2 ساعت تعیین گردید.

در جدول 1 مقایسه‌ای بین داده‌های به دست آمده در این تحقیق با سایر تحقیقات انجام شده در این زمینه، صورت گرفته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این روش پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها، از بازدهی بالایی برخوردار بوده و با توجه به اینکه میزان COD ورودی بسیار بالا است، درصد حذف COD قابل قبولی پس از انجام آزمایش به روش فنتون به دست آمد. بنابراین استفاده از فرایند فنتون به عنوان یکی از فرایندهای اکسایش پیشرفته، در تصفیه شیرابه‌های محل دفن زباله‌ها بسیار مفید خواهد بود و سبب می‌گردد که بار آلی ترکیبات موجود در شیرابه به میزان قابل توجهی کاهش یابد. بنابراین این روش می‌تواند به عنوان روشی مؤثر در کاهش اکسیدان‌خواهی شیمیایی شیرابه‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد که هم از لحاظ بازده و هم از لحاظ اقتصادی قابل توجیه می‌باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر و تحت عنوان پایان‌نامه دانشجویی انجام شد که به این وسیله نویسندگان



- (2012) 174.
- 25) J.J. Wu, C. Wu, H. Ma, C.C. Chang, Chemosphere, 54 (2004) 997.
- 26) I.M. Ramirez, M.T. Orta de Velasquez, Water Res. 38 (2004) 2359.
- 27) M. Shabani, E. Fatehifar, A. Baradar Khoshfetrat, D. Kahfroushan, J. Civ. Environ. Eng. 44 (2014) 76.
- Mater. 136 (2006) 763.
- 21) T. Mandal, D. Dasgupta, S. Mandal, S. Datta, J. Hazard. Mater. 180 (2010) 204.
- 22) B. Bianco, D.M. Ida, F. Vegli, J. Hazard. Mater. 186 (2011) 1733.
- 23) P. Ghosh, A.N. Samanta, S. Ray, Desalination 266 (2011) 213.
- 24) S.M. Susana, V.U. Edgar, Ultrason. Sonochem. 19