

Optimization of factors affecting the application of Fenton process in sofa and detergent wastewater treatment

H.A. Jamali, PhD¹ K. Dindarloo Inaloo, PhD² H.R. Ghaffari, MSc³ Z. Kheradpishe, MSc³ A. Nikpay, PhD¹

Assistant Professor Department of Health¹, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran. Assistant Professor Department of Health², Environmental and Occupational Health Engineering Research Center, Instructor Department of Health³, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.

(Received 10 May, 2012 Accepted 22 Dec, 2012)

ABSTRACT

Introduction: Most commercial surfactants used for cleaning (as detergents) are part of xenobiotic compounds. These compounds and products due to its toxic effects on aquatic organisms may interfere with hormonal system and consequently change the echo system. Since the biodegradation of those compounds are weak, ordinary methods are unable to break down conventional purification. Therefore, the study on the efficiency of Fenton oxidation process and optimization of the effective factors on industrial wastewater treatment detergents was investigated.

Methods: This is an experimental study which was carried out on samples of detergent industrial waste water. Ph level, duration, concentration of hydrogen peroxide, concentration of Iron sulfate of the samples were investigated. Using one-factor experiment plans, each factor separately with three time repeat and 95% confidence interval. The experiments were conducted based on Standard method book on water and wastewater, the data analysis was done using SPSS 11 and EXCEL Software.

Results: Results showed that efficacy of contamination removal was 70% and BOD to COD ratio increased from 0.2 to 0.6. Statistical analysis showed that PH, contact time, Iron sulfate concentration, and hydrogen peroxide are all effective factors ($P < 0.001$) and their optimum levels are 3, 90 minutes, 90 mg/L, and 70 mg/L, respectively.

Conclusion: The process of advanced Fenton treatment based on production of very active radicals of hydroxyl, as a new emerging technology, can be efficient for industrial wastewater pre-treatment which contains substances resistant to biodegradation.

Key words: Fenton – Surfactant - Industrial Wastewater

Correspondence:

*K. Dindarloo Inaloo, PhD.
Environmental and Occupational
Health Engineering Research
Center Faculty of Health,
Hormozgan University of Medical
Sciences.*

*Bandar Abbas, Iran
Tel: +98 761 6670723
Email:
kdindarloo@yahoo.com*

بررسی کارایی فرآیند فنتون در تصفیه فاضلاب صنایع شوینده

دکتر حمزه‌علی جمالی^۱ دکتر کاووس دیندارلو اینالو^۲ حمیدرضا غفاری^۳ زهره خردپیشه^۳ دکتر احمد نیک‌پی^۱
^۱ استادیار گروه بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین ^۲ استادیار گروه بهداشت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در ارتقاء سلامت، ^۳ مربی گروه بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان

مجله پزشکی هرمزگان سال هفدهم شماره چهارم مهر و آبان ۹۲ صفحات ۲۹۰-۲۸۴

چکیده

مقدمه: اغلب سورفاکتانتهای تجاری مورد استفاده در شوینده‌ها جزء ترکیبات گزنوبیوتیک محسوب می‌شوند. این ترکیبات و محصولات ناشی از آنها دارای اثرات سمی روی موجودات آبی هستند. همچنین این مواد با ایجاد اختلال در سیستم هورمونی آنها باعث تغییر در اکوسیستم می‌گردند. به دلیل اینکه این ترکیبات قابلیت تجزیه بیولوژیکی ضعیفی دارند، روشهای متداول تصفیه در تجزیه آنها ناتوان است. به همین دلیل توانائی فرآیند اکسیداسیون پیشرفته با استفاده فنتون با بهینه سازی فاکتورهای مؤثر بر آن در تصفیه فاضلاب صنایع شوینده مورد مطالعه قرار گرفت.

روش کار: این مطالعه یک پژوهش تجربی است که بر روی فاضلاب صنایع شوینده انجام شده است. سطوح pH، مدت زمان، غلظت پراکسید هیدروژن، غلظت سولفات آهن بررسی شد. با استفاده از طرحهای آزمایش یک عاملی، هر عامل به طور جداگانه و به صورت سه بار تکرار (۶۳ نمونه) و با ضریب اطمینان ۹۵٪ بررسی و سطح بهینه آن تعیین شد. تجزیه و تحلیل داده با استفاده از آزمون تحلیل واریانس و آزمون شفه و با نرم‌افزار SPSS 11 و Excel صورت گرفت.

نتایج: راندمان حذف بار آلودگی در شرایط بهینه برابر با ۷۰٪ و نسبت BOD₅/COD از ۰/۲ به ۰/۶ افزایش یافت. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد pH زمان واکنش، غلظت سولفات آهن و غلظت پراکسید هیدروژن از عوامل مؤثر در این فرآیند هستند ($P < 0/01$) که سطح بهینه آنها به ترتیب برابر با ۰/۳، ۹۰ دقیقه، ۹۰ mg/L و ۷۰ mg/L بدست آمد.

نتیجه‌گیری: فرآیند تصفیه پیشرفته فنتون که بر پایه تولید رادیکالهای بسیار فعال هیدروکسیل است، به عنوان یک تکنولوژی مناسب در پیش تصفیه فاضلاب صنایع شوینده که حاوی مواد آلی مقاوم به تجزیه بیولوژیکی هستند، راندمان مناسبی دارد.

کلیدواژه‌ها: فنتون - سورفاکتانت - فاضلاب صنعتی

نویسنده مسئول:
 دکتر کاووس دیندارلو اینالو
 مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی در
 ارتقاء سلامت دانشکده بهداشت
 دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان
 بندرعباس - ایران
 تلفن: ۰۷۲۲-۶۶۷۰۷۶۱+۹۸
 پست الکترونیکی:
 kdindarlo@yahoo.com

دریافت مقاله: ۹۱/۲/۲۱ اصلاح نهایی: ۹۱/۹/۲۵ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۰/۲

مقدمه:

جایگزینی آنها با گروههایی که قابلیت تجزیه بیولوژیکی بهتری دارند، وجود ندارد. مطالعات اخیر نشان داده است که بعضی از سورفاکتانتهای سنتتیک و محصولات ناشی از تجزیه آنها دارای اثرات زیست محیطی و بهداشتی هستند. اثرات زیست محیطی آنها شامل سمیت برای مهره‌داران و بی‌مهرگان آبی و ایجاد اختلال در سیستم هورمونی آنها می‌باشد که نهایتاً منجر به تغییراتی در اکوسیستم آبی می‌گردد (۴). بنابراین بایستی قبل از ورود اینگونه فاضلابها به تصفیه خانه‌های متعارف فاضلاب شهری، روشهای پیش تصفیه مناسبی بکار گرفته شود تا امکان تخلیه ایمن این ترکیبات به تصفیه خانه‌های معمول فاضلاب و در نهایت به محیط زیست فراهم گردد. یکی از روشهای پیش تصفیه در تجزیه این ترکیبات مقاوم، اکسیداسیون پیشرفته است. فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته بر پایه تولید رادیکالهای بسیار

سورفاکتانت‌ها به طور گسترده‌ای در تولید انواع پاک‌کننده‌ها به عنوان جزء فعال بکار می‌روند (۱،۲). این مواد نقش مهمی در فرآیندهای تولید محصولات، در صنایع مختلفی از قبیل کاغذ سازی، غذایی، پلیمر، مواد آرایشی، داروسازی و بازیافت روغن دارند (۳). بیشتر سورفاکتانت‌های تجاری که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، جزء ترکیبات گزنوبیوتیک محسوب می‌شوند. فاضلاب‌های خانگی و صنعتی حاوی مقادیر قابل توجهی سورفاکتانت هستند که باعث ایجاد مشکلاتی در بهره‌برداری از تأسیسات تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌گردند. همچنین بسیاری از آنها دارای قابلیت تجزیه‌پذیری بیولوژیکی ضعیفی هستند. در نتیجه، همراه با پساب وارد محیط زیست می‌گردند. در اکثر موارد مصرف، به لحاظ اقتصادی امکان

روش کار:

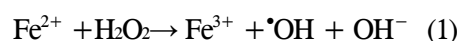
در این تحقیق فاضلاب مورد نیاز از فاضلاب خط تولید یک کارخانه تولید مواد شوینده و آرایشی واقع در تهران استفاده شد. فاضلاب تازه پس از برداشت (نمونه‌برداری مرکب) به آزمایشگاه حمل و مورد آنالیز کیفی قرار می‌گرفت و تا قبل از استفاده در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شد. آزمایشات COD, TOC, BOD₅ بر اساس کتاب روشهای استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام شد (۱۶). در این تحقیق یک ظرف ۲ لیتری پیرکس به عنوان راکتور انتخاب گردید. جهت انجام فرآیند فنتون از H₂O₂ با درجه خلوص ۳۰٪ و FeSO₄.7H₂O با درجه خلوص ۹۸٪ هر دو ساخت شرکت MERK استفاده شد. جهت توقف واکنش‌ها نیز از محلول سود 6N استفاده شد. همچنین جهت تنظیم pH از اسید سولفوریک و سود 1N استفاده گردید. در هر مرحله از انجام تحقیق یک لیتر از فاضلاب مورد نظر به راکتور اضافه شد و پس از اضافه کردن نمک آهن و آب اکسیژنه، محتویات راکتور توسط همزن مغناطیسی مخلوط گردید و در زمانهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه توسط پیپت از سطح راکتور نمونه‌گیری شده و پس از اضافه کردن سود به مدت یک روز در داخل بن ماری ۴۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و سپس مقادیر پارامترهای مورد نظر مورد اندازه‌گیری و یادداشت شد.

در این مطالعه نمونه آماری نمونه‌های فاضلاب هستند و فاکتورهای pH، مدت زمان، غلظت پراکسید هیدروژن، غلظت سولفات آهن مورد بررسی قرار گرفتند. هر متغیر دارای سطوح مختلف می‌باشد که با استفاده از طرحهای آزمایش یک عاملی، هر عامل به طور جداگانه و به صورت سه بار تکرار (۶۳ نمونه) و با ضریب اطمینان ۹۵٪ سطح بهینه آنها تعیین شد (۱۷). تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون تحلیل واریانس و آزمون شفه و با نرم‌افزار SPSS 11 و Excel صورت گرفت.

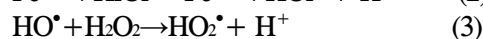
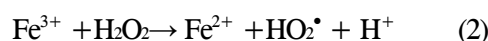
نتایج:

خصوصیات کیفی فاضلاب مورد مطالعه در این تحقیق در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

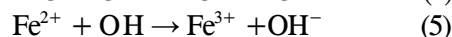
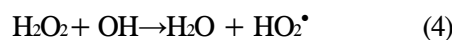
فعال هیدروکسیل می‌باشند. این فرآیندها برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی مواد آلی با قابلیت تجزیه‌پذیری بیولوژیکی ضعیف گزینه بسیار خوبی هستند. یکی از این فرآیندها استفاده از فنتون است. در این فرآیند، از واکنش بین نمک‌های آهن و پراکسید هیدروژن، رادیکال هیدروکسیل تولید می‌گردد که واکنش آن به شرح زیر است (۷-۵).



همچنین تجزیه کاتالیتیکی پراکسید هیدروژن با تولید رادیکال هیدروکسیل طبق معادلات زیر ادامه می‌یابد:



بدین ترتیب اکسیداسیون زنجیره‌ای رادیکالی با رادیکال هیدروکسیل که نسبت به ترکیبات آلی خاصیت انتخابی ندارد آغاز می‌گردد (۸). با این حال بعضی عوامل، مصرف‌کننده رادیکال هیدروکسیل بوده و اثر آن را کاهش می‌دهند که از این عوامل می‌توان به پراکسید هیدروژن (۹) و آهن (۱۰) اشاره کرد که اثر آنها به ترتیب در معادلات ۴ و ۵ نشان داده شده است.

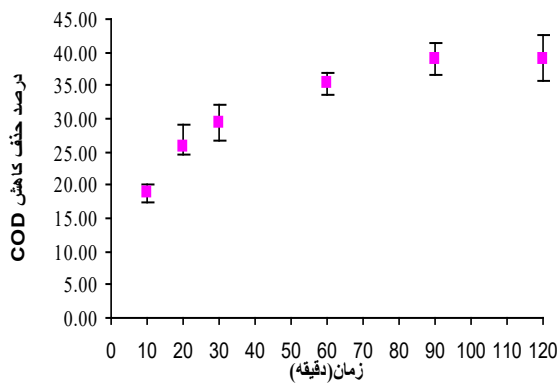


از مزایای این فرآیند می‌توان به انجام این واکنش در دما و فشار معمول محیطی و زمان واکنش نسبتاً کوتاه اشاره نمود (۱۱). ژائو جتن وانگ و همکاران، فاضلاب شوینده حاوی سولفات بالا را با فرآیند فنتون تصفیه نمودند و مقدار بهینه مصرف آهن را ۶۰۰ mg/L اعلام کردند (۱۲). در مطالعات لین و همکارانش اثر pH در این فرآیند بسیار قابل توجه بوده و مقدار بهینه آن در محدوده ۳-۵ بوده است (۱۳، ۱۴). اریک و همکاران نیز زمان ماند ۶۰ min را در فرآیند فنتون مناسب اعلام کردند.

در این تحقیق استفاده از فرآیند اکسیداسیون فنتون جهت پیش تصفیه فاضلاب صنایع شوینده و افزایش تصفیه‌پذیری بیولوژیکی اینگونه فاضلابها مورد مطالعه قرار گرفت و با توجه به اثر فاکتورهای pH، زمان واکنش، غلظت آهن و پراکسید هیدروژن، در پیشرفت واکنش تجزیه، تأثیر این عوامل در سطوح مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

جدول شماره ۳- مقایسه سطوح مختلف فاکتور زمان جهت تعیین حد بهینه با اطمینان ۹۵٪

فاصله اطمینان ۹۵٪	P-value		S.E	میانگین انحرافات (I-J)	زمان (J)	زمان (دقیقه) (I)
	حداقل	حداکثر				
۴۰/۹۸	۳۶/۹۴	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۳۸/۹۶ (*)	۰	۹۰
۲۲/۸۵	۱۸/۰۹	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۲۰/۱۱ (*)	۱۰	
۱۵/۸۵	۱۱/۱۱	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۱۳/۱۳ (*)	۲۰	
۱۱/۶۵	۷/۶۱	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۹/۶۳ (*)	۳۰	
۵/۶۵	۱/۶۱	۰/۰۰۱	۰/۵۴	۳/۶۳ (*)	۶۰	
۱/۹۲	-۲/۳۱۲	۰/۰۰۱	۰/۵۴	-۰/۱۰	۱۲۰	



نمودار شماره ۲- تغییرات COD در زمانهای مختلف با غلظت ثابت $H_2O_2 = 60 \text{ mg/L}$ و $pH = 3$ و 90 mg/L آهن

نتایج تغییرات COD در غلظتهای مختلف سولفات آهن در جدول شماره ۴ و نمودار شماره ۳ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، با افزایش غلظت آهن در محیط، سرعت واکنش و در نتیجه راندمان فرآیند افزایش می‌یابد و این افزایش تا غلظت 90 mg/L ادامه می‌یابد اما بعد از این غلظت راندمان کاهش یافته است.

نتایج تغییرات COD در غلظتهای مختلف پراکسید هیدروژن در جدول شماره ۵ و نمودار شماره ۴ ارائه شده است.

جدول شماره ۴- مقایسه سطوح مختلف فاکتور $FeSO_4$ جهت تعیین حد بهینه با اطمینان ۹۵٪

فاصله اطمینان ۹۵٪	P-value		S.E	میانگین انحرافات (I-J)	سولفات آهن (mg/l) (J)	سولفات آهن (mg/l) (I)
	حداقل	حداکثر				
۴۱/۳۹	۳۶/۱۴	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۳۹/۷۶ (*)	۳۰	۹۰
۳۹/۵۵	۳۶/۳	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۳۷/۹۳ (*)	۶۰	
۱۰/۳۵	۷/۱	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۸/۷۳ (*)	۱۲۰	
۱۴/۲۵	۱۱	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۱۲/۶۳ (*)	۱۵۰	
۱۵/۰۲	۱۱/۷۷	۰/۰۰۱	۰/۴۴	۱۳/۴۰ (*)	۱۸۰	

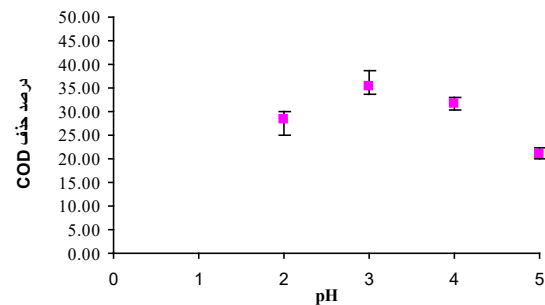
جدول شماره ۱- کیفیت فاضلاب مورد مطالعه

پارامتر	محدوده	میانگین
COD	۸۷۰-۷۵۰	۱۰±۸۵۰
BOD5	۳۰۰-۲۴۰	۸±۲۵۰
TSS	۵۰-۲۰	۵±۳۵
TDS	۲۵۰-۲۲۵	۱۰±۳۰۰
pH	۵/۷-۸	۶/۰±۷/۲
TOC	۳۶۰-۳۳۵	۵±۳۴۰

نتایج تغییرات COD در pH های مختلف در جدول شماره ۲ و نمودار شماره ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، در این تحقیق pH بهینه معادل ۳ بدست آمد که با سطوح دیگر اختلاف معنی‌دار است، در مقادیر pH های بالاتر و پایین‌تر از مقدار بهینه راندمان فرآیند فنتون به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت.

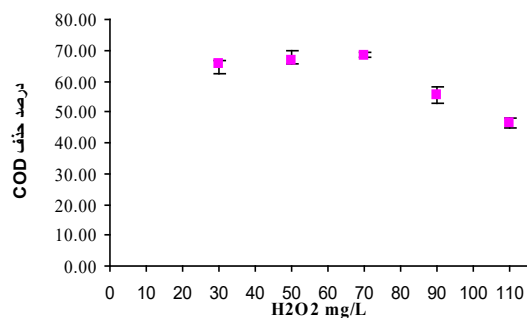
جدول شماره ۲- مقایسه سطوح مختلف فاکتور pH جهت تعیین حد بهینه با اطمینان ۹۵٪

فاصله اطمینان ۹۵٪	P-value		S.E	میانگین انحرافات (I-J)	pH (J)	pH (I)
	حداقل	حداکثر				
۸/۷۳	۵/۴۰	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۷/۰۶۶۷ (*)	۲	۳
۵/۳۳	۱/۹۰	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۲/۵۶۶۷ (*)	۴	
۱۵/۹۴	۱۲/۶۱	۰/۰۰۱	۰/۴۷	۱۴/۳۷۶۷ (*)	۵	

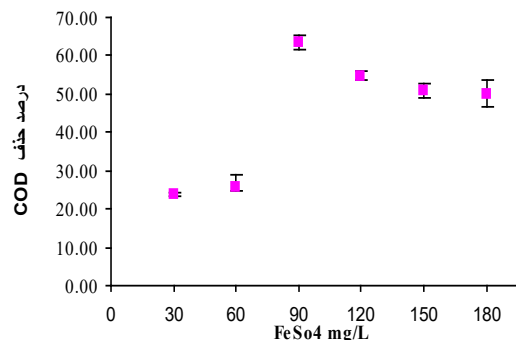


نمودار شماره ۱- نمودار تغییرات COD در pH مختلف با غلظت ثابت $H_2O_2 = 60 \text{ mg/L}$ و آهن 90 mg/L در زمان ۶۰ دقیقه

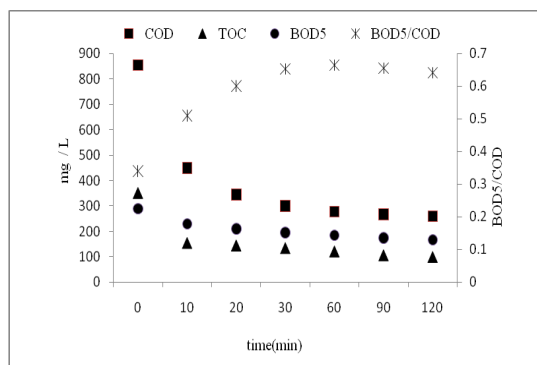
نتایج تغییرات COD در زمانهای مختلف در جدول شماره ۳ و نمودار شماره ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول شماره ۳ با افزایش زمان ماند غلظت شاخص‌های آلاینده‌گی کاهش می‌یابد. در زمانهای اولیه سرعت کاهش مواد آلی بالا بوده اما با گذشت زمان این سرعت کاهش می‌یابد به طوری که تفاوت کاهش مواد آلی بین زمانهای ماند 90 min و 120 min معنی‌دار نیست.



نمودار شماره ۴- نمودار تغییرات COD در غلظت ثابت $\text{FeSO}_4 = 90 \text{ mg/L}$ و $\text{pH} = 3$ و غلظت های مختلف H_2O_2 در زمان ۹۰ دقیقه



نمودار شماره ۳- نمودار تغییرات COD در غلظت ثابت $\text{H}_2\text{O}_2 = 60 \text{ mg/L}$ و $\text{pH} = 3$ و غلظت های مختلف سولفات آهن در زمان ۹۰ دقیقه



نمودار شماره ۵- تغییرات COD, TOC, BOD5 و نسبت BOD5/COD در شرایط بهینه طی زمان فرآیند

نتایج تغییرات COD در غلظت های مختلف پراکسید هیدروژن در جدول شماره ۵ و نمودار شماره ۴ ارائه شده است. با توجه به موارد مذکور، مقدار بهینه H_2O_2 برابر با 70 mg/L بدست آمد. در مرحله بعد با ایجاد شرایط بهینه حاصل از مراحل قبلی در داخل راکتور، ضمن بررسی مجدد تغییرات COD, BOD5 و TOC، نسبت BOD5/COD مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در نمودار شماره ۵ ارائه شده است.

جدول شماره ۵- مقایسه سطوح مختلف فاکتور پراکسید هیدروژن جهت تعیین حد بهینه با اطمینان ۹۵٪

فاصله اطمینان ۹۵٪	حداقل	P-value	S.E	انحرافات (I-J)	پراکسید هیدروژن (mg/l) (I)	پراکسید هیدروژن (mg/l) (J)
۱/۱۵	-۲/۳۵	۱	۰/۴۸	-۰/۶	۵۰	
-۰/۹۸	-۴/۴۸	۰/۰۰۲	۰/۴۸	-۲/۷۳ (*)	۷۰	۳۰
۱۱/۹۵	۸/۴۵	۰/۰۰۱	۰/۴۸	۱۰/۲ (*)	۹۰	
۲۱/۱۹	۱۷/۶۹	۰/۰۰۱	۰/۴۸	۱۹/۴۴ (*)	۱۱۰	

بحث و نتیجه‌گیری:

نتایج بدست آمده نشان داد pH در فرآیند اکسیداسیون فنتون نقش بسیار مهم و قابل توجهی دارد. ضمن اینکه در مقادیر خارج از محدوده بهینه تجزیه مواد آلی به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. در مطالعات گذشته نیز اثر pH در این فرآیند بسیار قابل توجه بوده و مقدار بهینه آن در محدوده $3-2/5$ بوده است که با نتایج این تحقیق همخوانی داشته و نتایج بدست آمده را تأیید می‌کند (۱۳، ۱۴). معمولاً pH بالاتر از ۴ باعث تجزیه H_2O_2 به اکسیژن مولکولی شده و یدین ترتیب راندمان سیستم تصفیه کاهش می‌یابد (۱۸). با عنایت به pH در بهره‌برداری سیستم بایستی ملاحظات لازم در انتخاب مصالح مورد مصرف، برای ساخت راکتور مدنظر قرار داده شود و آنها را در مقابل خوردگی مقاوم نمود. در غیر این صورت صدمات فنی و اقتصادی زیادی به سیستم تصفیه وارد خواهد شد. چنانچه

بازده فرآیند می‌شود. زیرا سولفات یکی از مصرف کنندگان رادیکال هیدروکسیل محسوب می‌گردد (۱۲).

بر اساس نتایج بدست آمده، غلظت سولفات پراکسید هیدروژن یک عامل مؤثر در این فرآیند است. با افزایش غلظت H_2O_2 به بیش از این مقدار راندمان فرآیند کاهش می‌یافت که بیانگر خاصیت مصرف کنندگی رادیکال هیدروکسیل توسط H_2O_2 است. هرچند تشکیل سایر رادیکالها مثل HO_2^\bullet که پتانسیل اکسیداسیون کمتری نسبت به رادیکال هیدروکسیل دارند نیز از عوامل مؤثر در کاهش راندمان فرآیند اکسیداسیون فنتون است. این نتایج با مقدار بدست آمده توسط شنگ و همکاران که برابر با 60 mg/L است، تقریباً همخوانی دارد (۱۸،۲۱). اگرچه این مقدار حد بهینه معرفی می‌گردد ولیکن با توجه به جدول شماره ۵ و مقایسه سایر سطوح، تفاوت معنی‌داری در غلظت‌های ۳۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده نمی‌شود و در مقایسه غلظت‌های ۳۰ و ۷۰ به دلیل اینکه درصد کاهش آلاینده اندک است، لذا به نظر می‌رسد غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر پراکسید هیدروژن از نظر اقتصادی مناسب‌تر است.

همانگونه که در نمودار شماره ۵ قابل مشاهده است، نسبت BOD_5/COD با گذشت زمان واکنش افزایش می‌یابد و این افزایش در زمان 60 min به نقطه اوج می‌رسد و پس از آن روند نزولی دارد، بنابراین با توجه به نتایج حاصله فرآیند فنتون تجزیه‌پذیری بیولوژیکی را افزایش می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک فرآیند پیش تصفیه و قبل از فرآیند بیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد. از این رو فرآیند تصفیه پیشرفته فنتون بر پایه تولید رادیکالهای بسیار فعال هیدروکسیل، می‌تواند به عنوان یک تکنولوژی جدید برای پیش تصفیه فاضلاب صنایع حاوی مواد مقاوم در مقابل تجزیه بیولوژیکی کارآیی مناسب داشته باشد.

فرآیند بعدی یک فرآیند بیولوژیکی باشد، بایستی واحد خنثی‌سازی پیش‌بینی گردد تا از ورود شوک به سیستم بیولوژیکی جلوگیری نمود.

زمان واکنش یک عامل مؤثر دیگر در این فرآیند است. بنابراین بر اساس نتایج بدست آمده زمان ماند 90 min برای این فرآیند کافی بوده و شاید از لحاظ هزینه‌ای، سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری زمان ماند طولانی‌تر اقتصادی نباشد. اریک و همکاران نیز زمان ماند 60 min را مناسب دانسته که با نتایج این تحقیق تا حدودی همخوانی دارد (۱۵). در حالی که جان برجندال و همکاران زمان ماند 250 min را برای حذف آلاینده‌های آبهای زیرزمینی مناسب اعلام نموده‌اند که با توجه به نتایج این تحقیق زمان ماند نسبتاً طولانی است اما با توجه به اینکه معیارهای شاخص آلودگی آب شرب به دلیل ارتباط مستقیم با سلامتی انسان بسیار محافظه کارانه است، بنابراین زمانهای ماند به این میزان قابل قبول می‌باشد (۱۸).

نتایج نشان داد که غلظت سولفات آهن یک عامل مؤثر در این فرآیند است. مقدار بهینه سولفات آهن معادل 90 mg/L بدست آمد که با سایر سطوح این فاکتور تفاوت معنی‌دار است. شنگ و همکاران نیز در مطالعه‌ای روی فاضلاب صنایع شوینده، این غلظت را مقدار بهینه بیان نموده‌اند (۱۹). با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق برای استفاده موثرتر از این فرآیند بایستی توجه بیشتری به غلظت آهن نمود. این مطلب را شنگ و همکاران و باتیستا و همکاران نیز تأکید نموده‌اند (۱۹،۲۰). از طرفی مصرف بیش از حد آهن ضمن اینکه باعث افزایش هزینه‌های فرآیند تصفیه می‌گردد، بلکه هزینه‌های تصفیه و دفع لجن تولیدی ناشی از مصرف بی‌رویه آهن نیز به سیستم تحمیل می‌گردد. ژائو جتن وانگ و همکاران فاضلاب شوینده حاوی سولفات بالا را با فرآیند فنتون تصفیه نمودند و مقدار بهینه مصرف آهن را 600 mg/L اعلام نمودند که با نتایج این تحقیق متفاوت است. یکی از دلایل آن COD بالای فاضلاب (1500 mg/L) بکار رفته در آن تحقیق است در حالی که در تحقیق حاضر مقدار COD به مراتب پایین‌تر است. همچنین غلظت بالای سولفات باعث کاهش

References

منابع

1. Neyens E, Baeyens J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *J Hazard Mater*. 2003;98:33-50.
2. De Laat J, Le GT, Legube B. Effects of chloride ions on the iron (III)-catalyzed decomposition of hydrogen peroxide and on the efficiency of the Fenton-like oxidation process. *Appl Catal*. 2006;66:137-146.
3. Walling CH. Fenton's reagent revisited. *Accounts of Chemical Research*. 1975;8:125-131.
4. Guedes AM, Madeira LM, Boaventura RA, Costa CA. Fenton oxidation of cork cooking wastewater—overall kinetic analysis. *Water Res*. 2003;37:3061-3069.
5. Jerábková H, Krávola B, Nahlik J. Biofilm of *Pseudomonas C12B* on glass support as catalytic agent for continuous SDS removal. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 1999;44:233-241.
6. Blanco J, Torrades F, Varga M, Montano JG. Fenton and biological–fenton coupled processes for textile wastewater treatment and reuse. *Desalination*. 2012;286:394-399.
7. Karthikeyan S, Titus A, Gnanamani A, Mandal AB, Sekaran G. Teratment of textile wastewater by homogeneous and heterogeneous fenton oxidation processes. *Desalination*. 2011;281:438-445.
8. Urum K, Pekdemir T. Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing. *Chemosphere*. 2004;57:1139-1150.
9. Deshpandse S, Shiau BJ, Wade D, Sabatini DA, Harwell JH. Surfactant selection for enhancing ex situ soil washing. *Water Res*. 1999;33:351-360.
10. Kehata K, El-Din MG. Degradation of recalcitrant surfactants in wastewater by ozonation and advanced oxidation processes: a review. *Ozone*. 2004;26:327-343.
11. Guedes AM, Madeira LM, Boaventura RA, Costa CA. Fenton oxidation of cork cooking wastewater—overall kinetic analysis. *Water Res*. 2003;37:3061-3069.
12. Wang XJ, Song Y, Mai JSH. Combined Fenton oxidation and aerobic biological processes for treating a surfactant wastewater containing abundant sulfate. *J Hazard Mater*. 2008;160:344-348
13. Lin SH, Chen M. LPurification of textile wastewater treatment by combined Fenton process and ion exchange. *Desalination*. 1997;109:121-131.
14. Lin SH, Lo CC. Fenton process for treatment of desizing wastewater. *Water Res*. 1997;31:2050-2056.
15. Bandala ER, Pelàez MA, Salgado MJ, Torres L. Degradation of sodium dodecyl sulphate in water using solar driven Fenton-like advanced oxidation processes. *J Hazard Mater*. 2008;151:578-584.
16. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and wastewater, 20th ed. Washington DC: American Public Health Association Press; 1998.
17. Montgomery DC. Design and Analysis of experiments. New York: John Willy and Sons Press; 2001.
18. Bergendahl J, Hubbard S, Grasso D. Pilot-scale Fenton's oxidation of organic contaminants in groundwater using autochthonous iron. *J Hazard Mater*. 2003;99:43-56.
19. Lin ShH, Lin chM, Leu HG. Operating characteristics and kinetic studies of surfactant wastewater treatment by fenton oxidation. *Water Res*. 1999;7:1735-1741.
20. Bautista P, Mohedano AF, Gilarranz MA, Casas JA, Rodriguez JJ. Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewater treatment. *J Hazard Mater*. 2007;143:128-134.
21. Pignatello J. Dark and photoassisted Iron (3+) catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide. *Environ Sci Technol*. 1992;26:944-951.