

Evaluation of Floating Diesel Fuel Removal from Water by Using Ferrate(VI) Oxidation Method

Amirreza Talaiekhosani^{1*}, Tahereh Ghorbani²,
Mahsa Ami² and Marzieh Bagheri²

1- Department of Civil Engineering, Jami Institute of Technology, Isfahan, Iran

2- Department of Chemical Engineering, Jami Institute of Technology, Isfahan, Iran

* Corresponding Author, Email: amirtkh@yahoo.com

Received: 8/6/2017

Revised: 5/5/2018

Accepted: 6/5/2018

Abstract

Although several studies have been carried out to use ferrate (VI) for wastewater treatment, there is no study on removal of floating diesel fuel from water by using ferrate (VI) oxidation process. The aim of this study is to remove floating diesel fuel from water by using ferrate (VI) oxidation process. In this study electrochemical method is utilized to generate ferrate (VI). With changing hydraulic retention time (HRT), pH and ferrate (VI) concentration, the optimum conditions of diesel fuel removal are determined. The results show that the optimum HRT for diesel fuel removal from water by using ferrate (VI) oxidation process is 10 min. Although increasing of HRT to more than 10 min can increase the performance of diesel fuel removal, this increment is not significant. The usage of ferrate (VI) in the range of 0.05 to 20 mg/L is able to remove 90 to %100 of diesel fuel from water. Acidic environment is the optimum condition for diesel fuel removal by ferrate (VI) oxidation process. However, decreasing pH to acidic condition do not have a big effect on the diesel fuel removal. This study reveals that diesel fuel can be removed by using ferrate (VI) oxidation process with high efficiency. However, more studies are needed to understand whether removal of diesel fuel by using ferrate (VI) oxidation process is an economic process.

Keywords: Advance oxidation process, Diesel fuel, Ferrate (VI), Wastewater treatment.

بررسی حذف گازوئیل شناور بر روی آب به روش اکسیداسیون با کمک آهن شش ظرفیتی

امیر رضا طلائی خوزانی^{۱*}، طاهره قربانی^۲، مهسا اعمی^۲ و مرزیه باقری^۲

۱- گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی جامی، اصفهان، ایران

۲- گروه مهندسی شیمی، موسسه آموزش عالی جامی، اصفهان،

ایران

* نویسنده مسئول، ایمیل: amirtkh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۸

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۶

چکیده

اگرچه تاکنون گام‌هایی برای استفاده از آهن شش ظرفیتی در تصفیه فاضلاب برداشته شده است، لیکن تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه حذف گازوئیل از آب توسط آهن شش ظرفیتی انجام نشده است. هدف از این مطالعه بررسی حذف گازوئیل شناور بر روی آب با کمک فرایند اکسیداسیون آهن شش ظرفیتی می‌باشد. در این مطالعه آهن شش ظرفیتی به کمک روش الکتروشیمیایی تولید شد. با تغییر دادن زمان ماند هیدرولیکی، pH و غلظت آهن شش ظرفیتی، شرایط بهینه حذف گازوئیل از آب تعیین شد. نتایج نشان داد که زمان ماند بهینه برای حذف گازوئیل از آب توسط فرایند اکسیداسیون آهن شش ظرفیتی حدود ۱۰ دقیقه است. افزایش زمان ماند به بیش از ۱۰ دقیقه منجر به افزایش راندمان حذف گازوئیل از آب می‌شد، لیکن این افزایش چندان محسوس نبود. استفاده از آهن شش ظرفیتی در محدوده ۰/۰۵ الی ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر قادر بود که ۹۰ الی ۱۰۰ درصد از گازوئیل را از آب حذف کند. محیط اسیدی، شرط بهینه حذف گازوئیل از آب توسط فرایند اکسیداسیون آهن شش ظرفیتی محسوب می‌شد. با این وجود کاهش pH و ایجاد شرایط اسیدی تاثیر بزرگی نیز بر حذف گازوئیل از آب نداشت. این مطالعه مشخص نمود که حذف گازوئیل به کمک فرایند اکسیداسیون آهن شش ظرفیتی با راندمان بالا امکان‌پذیر است. هرچند برای اینکه مشخص شود استفاده از این فرایند برای حذف گازوئیل از آب اقتصادی است یا خیر، نیاز به مطالعات بیشتری وجود دارد.

کلمات کلیدی: گازوئیل، تصفیه فاضلاب، آهن شش ظرفیتی، فرایند اکسیداسیون پیشرفته.

در اکثر این روش‌ها از یک عامل اکسیدکننده استفاده می‌شود که می‌تواند ترکیبات آلی را اکسید نموده و بی‌خطر سازد (Jorfi et al., 2017; Talaiekhosani et al., 2016c; Talaiekhosani et al., 2017b; Talaiekhosani et al., 2016b). در میان اکسندده‌های مختلف می‌توان از کلر، دی‌اکسید کلر و ازن نام برد که کاربردهای زیادی در زمینه حذف آلاینده‌ها از آب پیدا نموده‌اند (Legrini et al., 1993). کلر ترکیبی ارزان‌قیمت و موثر بوده که به راحتی می‌تواند باعث اکسیداسیون ترکیبات آلی در آب شود (Tchobanoglous and Burton, 1991). کلر در واکنش با ترکیبات آلی موجود در آب می‌تواند منجر به تولید تری‌هالومتان‌ها شود که ترکیباتی سرطان‌زا هستند (Musikavong et al., 2005). حذف کردن تری‌هالومتان‌ها از آب به مراتب سخت‌تر از سایر ترکیبات آلی است. بنابراین استفاده از کلر برای حذف آلاینده‌های آلی اصولاً پیشنهاد نمی‌شود. اگرچه دی‌اکسید کلر و ازن اکسیدکننده‌هایی پر قدرت بوده که ترکیبات جانبی خطرناکی تولید نمی‌کنند، لیکن آن‌ها بسیار گران قیمت هستند و این امر موجب کاهش کاربرد آن‌ها در تصفیه شیمیایی آب شده است. در میان اکسیدکننده‌های مختلف به آهن شش‌ظرفیتی اشاره شده است که به راحتی توسط روش الکتروشیمیایی تولید می‌شود و در شرایط اسیدی قدرتمندترین ماده اکسیدکننده جهان محسوب می‌شود (Talaiekhosani et al., 2017c). آهن شش‌ظرفیتی ناپایدار بوده و پس از مدتی به آهن سه‌ظرفیتی تبدیل می‌شود که ماده منعقدکننده پر قدرتی محسوب می‌شود (Talaiekhosani et al., 2016a). از آنجایی که آهن شش‌ظرفیتی می‌تواند به میکروارگانیزم‌ها نیز صدمه جدی وارد کند، به عنوان یک ماده گندزدای قوی نیز شناخته می‌شود (Talaiekhosani et al., 2017c). بنابراین با کمک آهن شش‌ظرفیتی می‌توان سه فرآیند اکسیداسیون، انعقاد و گندزدایی را در یک مرحله به انجام رسانید که باعث کاهش هزینه‌های تصفیه می‌شود.

هدف از انجام این مطالعه بررسی امکان پذیری حذف گازوئیل شناور بر روی آب با کمک آهن شش‌ظرفیتی است. در این مطالعه تاثیر زمان ماند، pH و غلظت آهن شش‌ظرفیتی بر روی راندمان حذف گازوئیل شناور بر روی آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور آهن شش‌ظرفیتی به کمک روش الکتروشیمیایی تولید و با مقدار مشخصی از آب آلوده به گازوئیل مخلوط می‌شود. با تغییر دادن زمان ماند، pH و غلظت آهن شش‌ظرفیتی تاثیرات آن بر روی حذف آلاینده‌ها از آب بررسی می‌شود.

گازوئیل به عنوان سوخت موتورهای دیزلی و تأسیسات حرارتی به کار می‌رود. محدوده تعداد کربن‌های آن بین C14 الی C20 و حتی C25 با دامنه نقطه جوش ۳۸۵ الی ۲۵۰۰ درجه سانتیگراد است (Talaiekhosani, 2008). نفت گاز عمدتاً از سه گروه پارافینیک، نفتنیک و آروماتیک تشکیل شده، دارای حداقل نقطه اشتعال ۵۴ درجه سانتیگراد و حداکثر نقطه ریزش صفر درجه سانتیگراد است. گازوئیل می‌تواند در هنگام تولید، توزیع و یا مصرف وارد آب شده و آلودگی آب را ایجاد نماید. در بسیاری از موارد رهاسازی گازوئیل در آب به صورت تصادفی صورت می‌پذیرد. به طور مثال نشت گازوئیل از یک منزل مسکونی در شهر باغبهداران در رودخانه زاینده‌رود منجر به خارج شدن تصفیه‌خانه باباشیخعلی اصفهان از مدار در روز ۳۱ مردادماه شد (چشمه‌خبر، ۱۳۹۳). چنین اتفاقاتی در شهر اصفهان قبلاً نیز رخ داده است. همچنین سقوط یک تانکر حاوی گازوئیل در رودخانه زاینده‌رود نیز منجر به آلوده شدن آن شده و امکان توزیع آب آشامیدنی در این شهر را با اختلال همراه نمود (ایرنا، ۱۳۹۳). با وجود چنین تجربیاتی مطالعه در زمینه یافتن راه‌کاری موثر و سریع جهت حذف گازوئیل از آب بسیار ضروری می‌نماید. گازوئیل در آب حل نمی‌شود، بنابراین تجزیه بیولوژیکی آن اگرچه غیرممکن نیست لیکن بسیار سخت است. خوزانی و همکاران (۱۳۸۸) اقدام به بررسی تجزیه بیولوژیکی گازوئیل از آب با کمک باکتری سودوموناس آئروژنوزا نمودند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که زمان ماند هیدرولیکی زیادی مورد نیاز است تا حذف گازوئیل از آب انجام گیرد (Talaie et al., 2009). همچنین این‌گونه روش‌های بیولوژیکی نیازمند راهبری طولانی مدت برای رسیدن راکتور بیولوژیکی به اوج راندمان خود است (Talaiekhosani et al., 2015b). از آنجایی که باکتری‌هایی همچون سودوموناس آئروژنوزا گونه‌های بیماری‌زا محسوب می‌شوند (Talaiekhosani et al., 2015a)، جداسازی و بی‌خطر سازی آن‌ها از آب نیز خود معضل دیگری محسوب می‌شود. بنابراین امکان استفاده سریع از این‌گونه روش‌ها در شرایط اضطراری وجود ندارد. روش‌های جذب سطحی نیز اگرچه راندمان خوبی را در غلظت‌های اندک ارائه می‌دهند لیکن برای جداسازی مقادیر زیاد از یک آلاینده در آب مناسب نیستند (Talaiekhosani et al., 2016d; Mohan et al., 2014). برای حل چنین مشکلاتی روش‌های شیمیایی پیشنهاد شده‌اند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تولید آهن شش‌ظرفیتی

در این مطالعه برای تولید آهن شش‌ظرفیتی از دو الکتروود آهنی با ابعاد ۶۰ در ۳۰ میلی‌متر و ضخامت ۰/۶۴ میلی‌متر استفاده شد. منبع تغذیه مورد استفاده برای تهیه برق مورد نیاز یک آداپتور مدل سیناطب ساخت کشور ایران بود. این آداپتور قادر بود تا برق AC با ولتاژ ۲۲۰ ولت را به برق DC با ولتاژ مابین ۱ الی ۲۴ ولت و آمپراژ ۶ آمپر تبدیل نماید. برای تولید آهن شش‌ظرفیتی سیستمی مطابق شکل ۱ تهیه شد. (Talaiekhosani et al. (2017b) گزارش نمودند که بالاترین راندمان تولید آهن شش‌ظرفیتی در محلولی حاوی آب مقطر و هیدروکسید سدیم با مولاریته ۱۴ مولار ایجاد خواهد شد. در این مطالعه ابتدا با حل کردن ۵۶ گرم هیدرواکسید سدیم در آب مقطر محلول ۱۴ مولار مربوطه تهیه شد. سپس ظرف الکترولیز نمایش داده شده در شکل ۱ با ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول مذکور پر شد. سپس جریان برق با ولتاژ ۷ ولت برای مدت زمان ۳۰ دقیقه وصل شده تا آهن شش‌ظرفیتی تولید شود. به محض اتصال جریان الکترولیسته رنگ بنفشی در محلول ظاهر شد که هر لحظه پررنگ‌تر می‌شد. این رنگ نشانه تولید آهن شش‌ظرفیتی بود. از آنجایی که به‌مرور زمان آهن شش‌ظرفیتی به آهن سه‌ظرفیتی تبدیل می‌شود و آهن سه‌ظرفیتی نیز توانایی اکسیداسیون ندارد، محلول حاوی آهن شش‌ظرفیتی بلافاصله پس از تولید در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که در حین فرایند الکترولیز لایه غیرفعال بر روی سطح الکتروودها تشکیل می‌شد (اسکندری، ۱۳۹۵)، قبل از هر بار شروع الکترولیز سطح الکتروودها به کمک سمباده صیقل داده می‌شد.

۲-۲- بررسی اثر غلظت آهن شش‌ظرفیتی

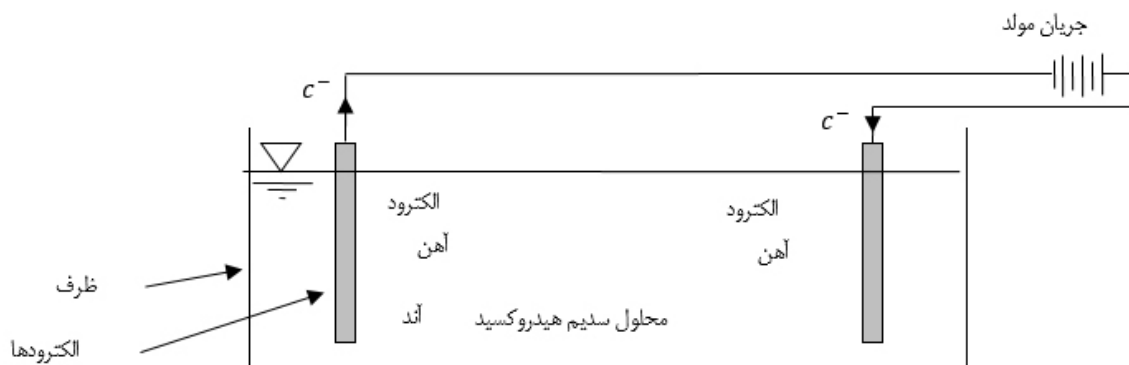
برای بررسی اثر غلظت آهن شش‌ظرفیتی بر راندمان حذف گازوئیل شناور بر روی آب ۹ ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر از آب مقطر آلوده به گازوئیل با غلظت ۴۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر با ۲ آماده شد. سپس آهن شش‌ظرفیتی با غلظت‌های ۰/۳، ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر به هر یک از ارلن‌مایرها اضافه شد. هر ارلن‌مایر برای مدت زمان ماند ۱۵ دقیقه به حال خود رها شد و پس از این زمان مقدار گازوئیل باقی‌مانده در آن مورد سنجش قرار گرفت. این آزمایشات جهت اطمینان دوبرار تکرار شد و متوسط نتایج آزمایشات گزارش شد.

۲-۳- بررسی اثر زمان ماند

برای بررسی تاثیر زمان ماند بر راندمان حذف گازوئیل از آب ۸ ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر آلوده به گازوئیل با غلظت ۴۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر با ۲ به آن اضافه شد. در نهایت آهن شش‌ظرفیتی به ارلن‌مایر اضافه شد تا غلظت آن در ارلن‌مایر به ۱ میلی‌گرم در لیتر برسد. سپس غلظت گازوئیل در ارلن‌مایرهای ۱ الی ۸ به ترتیب در زمان‌های ۰/۱، ۵، ۱۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۶۵ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایشات جهت اطمینان دو بار تکرار شد و متوسط نتایج آزمایشات گزارش شد.

۲-۴- بررسی تاثیر pH

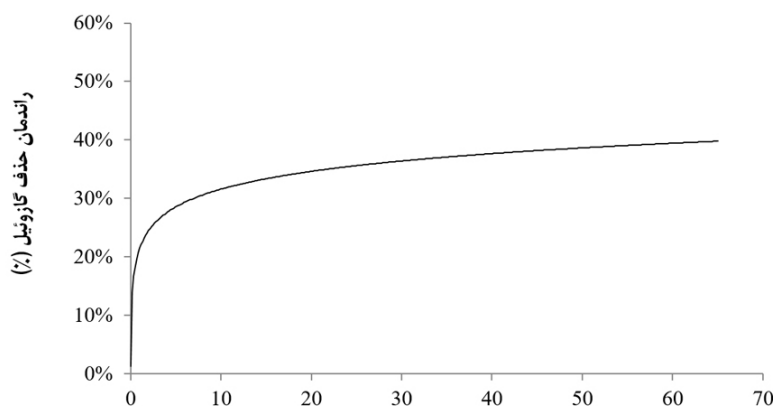
برای بررسی تاثیر pH محیط بر راندمان حذف گازوئیل از ۶ ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر آلوده به گازوئیل با غلظت ۴۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر استفاده شد.



شکل ۱- نمایش شماتیک از سلول الکتروشیمیایی برای تولید آهن شش‌ظرفیتی

۳- نتایج و بحث

آهن شش ظرفیتی در محیط‌های اسیدی یکی از قدرت‌مندترین اکسیدکننده‌های شیمیایی است که می‌تواند برای هر سه فرآیند تصفیه فاضلاب شامل اکسیداسیون مواد آلی، انعقاد و ضدعفونی مورد استفاده قرارگیرد. زمان ماند هیدرولیکی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد نیاز در طراحی راکتورهای شیمیایی محسوب می‌شود. تعیین حجم حوضچه‌های اکسیداسیون در گرو مشخص بودن زمان ماند بهینه است. بنابراین در این مطالعه به بررسی تاثیر زمان ماند هیدرولیکی بر حذف گازوئیل از فاضلاب توسط آهن شش ظرفیتی پرداخته شد. در این مطالعه مشخص شد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی مقدار راندمان حذف گازوئیل از آب به شدت افزایش می‌یابد. لیکن این افزایش تنها مابین زمان‌های صفر الی ۱۰ دقیقه بوده و با افزایش زمان ماند به بیش از ۱۰ دقیقه تغییرات راندمان با افزایش زمان ماند نامحسوس بود (شکل ۲). در گزارش Talaiekhosani et al. (2018) اعلام شد که واکنش میان آهن شش ظرفیتی و رنگ آبی ۲۰۳ یک واکنش آبی بوده و این واکنش در کسری از ثانیه تکمیل می‌شود. آن‌ها نشان دادند که تنها عاملی که نرخ این واکنش را محدود می‌کند سرعت اختلاط هم‌زن‌ها است. آهن شش ظرفیتی باید با سرعت بالا در تمام بخش‌های راکتور پخش شود تا واکنش در کم‌ترین زمان ممکن به اتمام رسیده و نیاز به راکتور بزرگی نباشد. طولانی‌تر بودن زمان ماند بهینه در مطالعه حاضر می‌تواند به دلیل نامحلول بودن گازوئیل در آب باشد. در این شرایط آهن شش ظرفیتی باید از فاز مشترک مابین آب و قطرات ریز گازوئیل عبور کرده تا امکان اکسیداسیون آن را فراهم نماید که مطابق نتایج، این امر در زمانی حدود ۱۰ دقیقه انجام می‌شود. از آنجایی که بررسی زمان ماند هیدرولیکی در pH و غلظت آهن شش ظرفیتی بهینه نبوده است، بنابراین راندمان حذف گازوئیل حداکثر ۴۰ درصد بود. بدیهی است با راهبری فرآیند در شرایط بهینه راندمان حذف افزایش خواهد یافت.



شکل ۲- راندمان حذف گازوئیل در برابر تغییرات زمان ماند هیدرولیکی با غلظت اولیه گازوئیل ۴۲۲۰ میلی گرم بر لیتر و pH برابر با ۲

با کمک اضافه کردن مقدار مناسبی از اسید هیدروکلوریک و یا هیدروکسید سدیم pH ارلن‌مایرهای شماره ۱ الی ۶ به ترتیب برابر با ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ تنظیم شد. در نهایت آهن شش ظرفیتی به ارلن‌مایر اضافه شد تا غلظت آن در ارلن‌مایر به ۱ میلی‌گرم در لیتر برسد. سپس غلظت گازوئیل در ارلن‌مایرها در زمان‌های ۱۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایشات جهت اطمینان دو بار تکرار و متوسط نتایج آزمایشات گزارش شد.

۲-۵- روش انجام آزمایشات

در این مطالعه pH محلول‌ها به کمک یک pH متر دیجیتالی رومیزی تعیین شد. همچنین برای اندازه‌گیری غلظت گازوئیل در آب از روش ارائه شده توسط خوزانی (۱۳۸۶) استفاده شد.

در این روش ابتدا مقدار ۲۰ میلی‌لیتر تتراکلرید کربن به ارلن‌مایر حاوی آب آلوده به گازوئیل اضافه شد. سپس ارلن‌مایر به مدت ۱۵ دقیقه بر روی شیکر با دور ۱۵۰ دور در دقیقه گرفت تا گازوئیل از فاز آب وارد فاز تتراکلرید کربن شود. سپس تتراکلرید کربن توسط قیف جداکننده از آب شد. تتراکلرید کربن ابتدا سانتریفیوژ شد و سپس مقدار گازوئیل موجود در آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۰۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت (خوزانی، ۱۳۸۶).

در این مطالعه برای تعیین راندمان حذف گازوئیل در آزمایشات از معادله (۱) استفاده شد.

$$RE = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad (1)$$

که RE: راندمان حذف گازوئیل از آب (برحسب درصد)، C_1 : غلظت اولیه گازوئیل و C_2 : غلظت گازوئیل پس از تصفیه به کمک آهن شش ظرفیتی هستند.

حذف گازوئیل از آب توسط آهن شش ظرفیتی در شرایط اسیدی را می‌توان به صورت زیر توجیه کرد. آهن شش ظرفیتی در آب می‌تواند به دو شکل FeO_4^{2-} و $HFeO_4^-$ ظاهر شود. نوع آهن شش ظرفیتی موجود در آب به صورت معادله (۳) توصیف شده است.

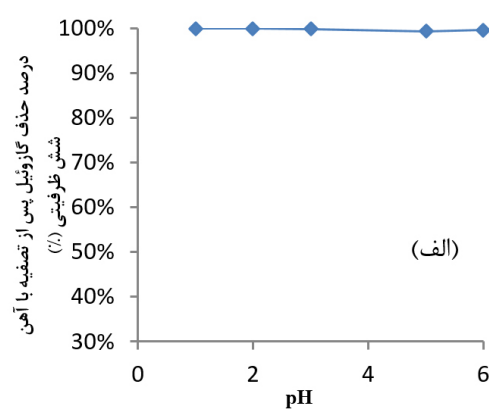
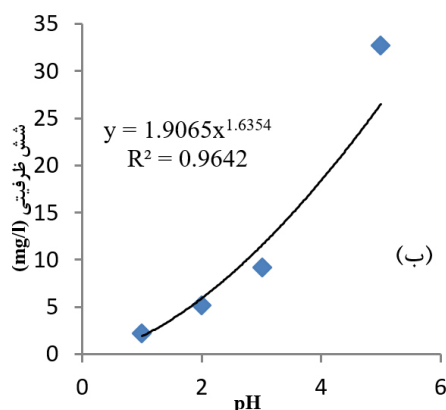
$$K[Ferrate] = K_1[HFeO_4^-] + K_2[FeO_4^{2-}] \quad (3)$$

که K_1 و K_2 : به ترتیب ضریب ثابت نرخ تولید $HFeO_4^-$ و FeO_4^{2-} هستند. مقدار K_1 برابر است با 1.24×10^7 M/S و مقدار K_2 نیز برابر 8.4×10^2 M/S است. مطابق ضرایب ذکر شده نرخ واکنش مابین $HFeO_4^-$ و گازوئیل بیشتر از نرخ واکنش مابین این آلاینده و FeO_4^{2-} است (Rush and Bielski, 1994). بنابراین $HFeO_4^-$ مسئول اصلی حذف گازوئیل از فاضلاب است. در شرایط اسیدی شکل غالب آهن شش ظرفیتی $HFeO_4^-$ می‌باشد و در شرایط خنثی شکل غالب آهن شش ظرفیتی FeO_4^{2-} است. بنابراین در شرایط اسیدی به دلیل نرخ واکنش حضور بیشتر $HFeO_4^-$ و نرخ بالاتر واکنش آن با گازوئیل در مقایسه با FeO_4^{2-} سرعت اکسیداسیون گازوئیل بیشتر است. گزارش‌های متعددی در زمینه راندمان بهتر حذف آلاینده‌های مختلف توسط آهن شش ظرفیتی از آب ارائه شده و نتایج این مطالعه را تایید می‌کند (Talaiekhosani et al., 2016c, Talaiekhosani et al., 2017a, Malik et al., 2017). مطالعات فراوانی در این زمینه انجام شده است که اشاره نموده‌اند استفاده از آهن شش ظرفیتی تولید فرآورده‌های جانبی خطرناک نمی‌کند (Jiang, 2007; Gan et al., 2015). همچنین آهن شش ظرفیتی به مرور زمان به آهن سه ظرفیتی تبدیل شده که یک منعقدکننده قدرت مند محسوب می‌شود (Talaiekhosani et al., 2017c). این ترکیب در حین فرآیند

pH از مهم‌ترین پارامترهای موثر بر واکنش‌های شیمیایی است. هر واکنش شیمیایی در برابر تغییرات pH واکنش‌های مختلفی از خود بروز می‌دهد. بنابراین بررسی تاثیر pH می‌تواند در راهبری بهینه راکتور شیمیایی حذف گازوئیل از آب به کمک آهن شش ظرفیتی حائز اهمیت باشد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات pH به طور محسوسی موثر بر حذف گازوئیل از آب نیست. شکل‌های ۳ (الف و ب) نشان می‌دهند که در pH های اسیدی راندمان حذف گازوئیل از آب اندکی بیشتر می‌شود. هرچند این افزایش زیاد نبوده و تنها در حد ۱ درصد راندمان حذف در pH های اسیدی افزایش می‌یابد. معادله (۲) رابطه مابین pH و غلظت گازوئیل باقی مانده در محیط پس از تصفیه توسط آهن شش ظرفیتی را نمایش می‌دهد. طلایی و همکاران (۱۳۹۵) گزارش نمودند که کاهش pH می‌تواند به شدت بر راندمان تجزیه مواد آلی و گاز هیدروژن سولفید محلول در فاضلاب شهری توسط آهن شش ظرفیتی موثر باشد. برخلاف این گزارش، تغییرات pH نمی‌تواند تاثیر زیادی بر حذف گازوئیل از آب توسط آهن شش ظرفیتی داشته باشد.

$$Y = 1.9065x^{1.6354} \quad (2)$$

که Y : غلظت گازوئیل باقی مانده پس از اکسیداسیون توسط آهن شش ظرفیتی بر حسب میلی گرم بر لیتر و x : مقدار pH محیط هستند. اسکندری (۱۳۹۵) در مطالعه خود گزارش کرد که برای کاهش pH یک مترمکعب فاضلاب خانگی به زیر ۲ مقدار ۲/۵۲ دلار هزینه باید پرداخت شود. از آنجایی که در این مطالعه مشخص شده که تغییرات pH تاثیر محسوسی بر راندمان حذف گازوئیل از آب نمی‌گذارد، بنابراین هزینه سنگین کاهش pH آب نیز مورد نیاز نخواهد بود. دلیل افزایش راندمان



شکل ۳- تغییرات غلظت گازوئیل باقی مانده در اثر اکسیداسیون با آهن شش ظرفیتی در pH های مختلف با غلظت اولیه گازوئیل ۴۲۲۰ میلی گرم بر لیتر و زمان ماند ۱۰ دقیقه

انعقاد و در قالب لخته‌های ایجاد شده رسوب نموده و از محیط خارج می‌شود. در ضمن با وجود اکسیژن حتی در مقادیر اندک، باقی‌مانده آهن محلول را به آهن نامحلول تبدیل نموده، بنابراین باقی‌مانده بسیار ناچیزی از آن در آب وجود خواهد داشت (Tchobanoglous et al., 1991).

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه از آهن شش‌ظرفیتی که روش الکتروشیمیایی تولید شده بود برای حذف گازوئیل شناور در سطح آب استفاده شد. این مطالعه مشخص نمود که آهن شش‌ظرفیتی می‌تواند در شرایط بهینه تا نزدیک به ۱۰۰ درصد گازوئیل را از آب حذف کند. همچنین مشخص شد که علی‌رغم گزارش‌هایی در زمینه بالاتر بودن قدرت اکسندگی آهن شش‌ظرفیتی در pHهای پایین، کاهش این پارامتر تاثیر مثبت محسوسی بر روی حذف گازوئیل از آب نداشت. همچنین زمان ماند بهینه برای دستیابی به حذف اقتصادی گازوئیل از آب در حدود ۱۰ دقیقه است. از آنجایی که تولید آهن شش‌ظرفیتی به روش الکتروشیمیایی بسیار ساده است و این ماده در حین اکسیداسیون خود تولید ترکیبات جانبی نمی‌کند، می‌تواند برای تصفیه آب‌های حاوی گازوئیل مورد استفاده قرار گیرد. آهن شش‌ظرفیتی می‌تواند پس از یک ساعت تولید آهن سه‌ظرفیتی کند که منعقدکننده قدرت‌مندی است. بنابراین این ماده علاوه بر اکسیداسیون گازوئیل قادر به ایجاد فرآیند انعقاد و لخته‌سازی نیز هست. برای این‌که بتوان اظهار نظر قطعی نمود که آیا استفاده از این روش علاوه بر اینکه موثر است اقتصادی نیز می‌باشد یا خیر، باید مطالعات تکمیلی در این زمینه صورت پذیرد.

۵- تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل پایان‌نامه‌های خانم‌ها طاهره قربانی و مهسا اعمی در گروه مهندسی شیمی موسسه آموزش عالی جامی در مقطع کارشناسی است. نویسندگان این مقاله از موسسه آموزش عالی جامی که با حمایت‌های مالی و معنوی خود موجبات انجام این مطالعه را فراهم آورد تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶- مراجع

اسکندری، ز.، (۱۳۹۵)، «بررسی حذف سولفید هیدروژن و ترکیبات آلی از فاضلاب شهری با کمک آهن شش‌ظرفیتی و تابش اشعه فرابنفش»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی جامی.

ایرنا، (۱۳۹۳)، "سقوط تانکر سوخت به زاینده‌رود آب اصفهان را قطع کرد"، خبرگزاری جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران، <http://www.irna.ir/fa/News/81282366>.

چشمه‌خبر، (۱۳۹۳)، «نشت گازوئیل به رودخانه زاینده‌رود موجب قطع آب اصفهان شد»، اصفهان، ایران، <http://cheshmeborkhar.ir/41492>.

خوزانی، ا.ر.ط.، (۱۳۸۶)، «بررسی حذف نفت خام شناور بر روی آب با کمک میکروارگانسیم‌های خالص‌سازی شده»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

خوزانی، ا.ر.ط.، و طلائی، م.ر.، حقیقی‌فر، ن.ا.ج.ح.، (۱۳۸۸)، «بهینه‌سازی، حذف بیولوژیکی فاضلاب‌های حاوی گازوئیل شناور بر روی سطح آب به کمک روش تاگوچی»، *مجله آب و فاضلاب*، ۲۰(۳)، ۵۷-۶۸.

Gan, W., Sharma, V.K., Zhang, X., Yang, L., and Yang, X., (2015), "Investigation of disinfection byproducts formation in ferrate (VI) pre-oxidation of NOM and its model compounds followed by chlorination", *Journal of Hazardous Materials*, 292, 197-204.

Jiang, J., (2007), "Research progress in the use of ferrate (VI) for the environmental remediation", *Journal of Hazardous Materials*, 146(3), 617-623.

Jorfi, S., Samaei, M.R., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., Talaie Khozani, A., Ahmadi, M., Barzegar, G., Reshadatian, N., and Mehrabi, N., (2017), "Enhancement of the bioremediation of pyrene-contaminated soils using a hematite nanoparticle-based modified fenton oxidation in a sequenced approach", *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 26(2), 141-156.

Legrini, O., Oliveros, E., and Braun, A., (1993), "Photochemical processes for water treatment" *Chemical Reviews*, 93(2), 671-698.

Malik, S.N., Ghosh, P.C., Vaidya, A.N., Waindeskar, V., Das, S., and Mudliar, S.N., (2017), "Comparison of coagulation, ozone and ferrate treatment processes for color, COD and toxicity removal from complex textile wastewater" *Water Science and Technology*, 76(5-6), 1001-1010.

Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y.S., and Pittman, C.U., (2014), "Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent—a critical review", *Bioresour Technol*, 160(5), 191-202.

Musikavong, C., Wattanachira, S., Marhaba, T.F., and

7-14.

- Talaiekhosani, A., Talaei, M.R., and Rezaia, S., (2017c), "An overview on production and application of ferrate (VI) for chemical oxidation, coagulation and disinfection of water and wastewater", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 1828-1842.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D., (1991), *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, Metcalf & Eddy, Inc., USA, McGraw-Hill Education.
- Pavasant, P., (2005), "Reduction of organic matter and trihalomethane formation potential in reclaimed water from treated industrial estate wastewater by coagulation", *Journal of Hazardous Materials*, 127(1), 48-57.
- Rush, J.D., and Bielski, B.H., (1994), "Decay of ferrate (V) in neutral and acidic solutions, A premix pulse radiolysis study", *Inorganic Chemistry*, 33(24), 5499-5502.
- Talaiekhosani, A., Alaei, S., and Ponraj, M., (2015a), "Guidelines for quick application of biochemical tests to identify unknown bacteria", *Accounts of Biotechnology Research*, 2(2), 65-82.
- Talaiekhosani, A., Jafarzadeh, N., Fulazzaky, M.A., Talaie, M.R., and Beheshti, M., (2015b), "Kinetics of substrate utilization and bacterial growth of crude oil degraded by *Pseudomonas aeruginosa*", *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(64), 1-8.
- Talaiekhosani, A., Bagheri, M., Talaei, M.R., and Jaafarzadeh, N., (2016a), "An overview on production and applications of ferrate (VI)", *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 8(3), e34904.
- Talaiekhosani, A., Eskandari, Z., Bagheri, M., and Talaie, M.R., (2016b), "Removal of H₂S and COD using UV, Ferrate and UV/Ferrate from municipal wastewater", *Journal of Human Environment and Health Promotion*, 2(1), 1-8.
- Talaiekhosani, A., Salari, M., Talaei, M.R., Bagheri, M., and Eskandari, Z., (2016c), "Formaldehyde removal from wastewater and air by using UV, ferrate (VI) and UV/ferrate (VI)", *Journal of Environmental Management*, 184(2), 204-209.
- Talaiekhosani, A., Talaei, M.R., Yazdan, M., and Mir, S.M., (2016d), "Investigation of formaldehyde removal from synthetic contaminated air by using human hair", *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 3(4), 191-196.
- Talaiekhosani, A., Eskandari, Z., Rodpeyma, S., and Bagheri, M., (2017a), "Design and development of municipal Wastewater treatment systems by Fe (VI) and computation of system's economic navigation", *Journal of Advanced Medical Sciences and Applied Technologies*, 3(3), 169-174.
- Talaiekhosani, A., Eskandari, Z., Talaei, M.R., and Salari, M., (2017b), "Hydrogen sulfide and organic compounds removal in municipal wastewater using ferrate (VI) and ultraviolet radiation", *Environmental Health Engineering and Management Journal*, 4(1),