

بررسی اثر فرآیند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آهن و استیل بر روی حذف ترکیبات نفتی از آب های زیرزمینی

رسول خسروی^۱، سید غلامرضا موسوی^{۲*}، مهدی فرزادکیا^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران

* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱۸۲۸۳۵۲۷ - فکس: ۰۲۱۸۲۸۳۸۲۵ - ایمیل: moussavi@modares.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: امروزه ترکیبات نفتی در سرتاسر جهان به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ترکیبات با ریزش‌های عمده و تصادفی به راحتی وارد محیط زیست شده و به اکوسیستم آبی از جمله آب‌های زیرزمینی آسیب می‌رسانند. بنابراین جداسازی ترکیبات نفتی از آب‌ها به دلایل بهداشتی و محیط زیستی امری ضروری می‌باشد. بنابراین هدف این تحقیق بررسی اثر فرآیند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آهن و استیل بر روی حذف ترکیبات نفتی از آب‌های زیرزمینی بوده است.

روش کار: نمونه‌های مورد نیاز از یکی از چاه‌های پایش پالایشگاه نفت تهران به صورت نمونه‌برداری یک‌باره فراهم شد. در این مطالعه که به صورت ناپیوسته انجام شد، با تعیین COD و کدورت اثر فرآیند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آهن و استیل بر روی حذف ترکیبات نفتی از آب‌های زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. متغیرهای مورد بررسی اثر جنس آند و کاتد، pH اولیه محلول، اثر دانسیته جریان و اثر زمان واکنش بوده است. در این مطالعه آزمایش COD به روش تقطیر باز و اندازه گیری کدورت با توربیدیمتر HACH ۲۱۰۰N انجام شد.

یافته‌ها: حالت بیپنه برای آند و کاتد به ترتیب جنس استیل و آهن مشخص شد. با افزایش دانسیته جریان و زمان واکنش راندمان فرآیند افزایش می‌یابد و بهترین pH برای واکنش (۹-۷) حالت خنثی و کمی قلیایی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده نشان داد که فرآیند انعقاد الکتریکی می‌تواند یک سیستم مناسب و قابل اطمینان برای حذف آلاینده‌های نفتی از آب‌های زیرزمینی آلوده باشد.

واژه‌های کلیدی: COD، انعقاد الکتریکی، آب‌های زیرزمینی، الکترودهای آهن و استیل

دریافت: ۹۰/۲/۲۸

پذیرش: ۹۰/۷/۱۲

مقدمه

نفت خام ترکیب پیچیده‌ای از تعداد زیادی از هیدروکربن‌هایی است که شامل بنزن، تولوئن، اتیلن بنزن، زایلن، نفتالن، فنانتین، دی بنزوتیوفین، هیدروکربن‌های پلی آروماتیک و فنل‌ها می‌باشد. وجود ترکیبات نفتی در آب می‌تواند مشکلات زیادی

را برای محیط ایجاد کند [۱]. امروزه مشکلات مربوط به حضور مشتقات نفتی در محیط رو به افزایش است. این مشتقات گروهی از ترکیبات بسیار خطرناک برای محیط زیست است، که حتی تعدادی از آنها سرطان‌زا بوده و علاوه بر آن دارای زمان تجزیه‌پذیری بسیار طولانی می‌باشند [۲، ۳]. نشت‌ها و

ریزش‌های مزمن عمدی و تصادفی ترکیبات نفتی توسط صنایع و کارخانه‌های مختلفی از جمله پالایشگاه‌های نفت، پتروشیمی‌ها، کارخانه‌های فلزکاری، تخلیه‌ی پساب‌های نفتی، سکوها‌ی نفتی، پایانه‌های نفتی و مخازن و تانکرهای ذخیره می‌توانند به‌طور مداوم مقدار زیادی از این ترکیبات را وارد منابع آبی نمایند که این ترکیبات شیمیایی خطرناک پتانسیل تخریب ساختار و عملکرد سیستم‌های طبیعی را دارا می‌باشند [۱، ۴، ۵] و از طرفی کنترل نشت و پخش این ترکیبات به‌دلیل گستردگی استفاده جهانی و داشتن توانایی جابجایی بالا، کاری بسیار مشکل بوده و قادرند به‌راحتی وارد اکوسیستم آبی از قبیل رودخانه‌ها، دریاها، اقیانوس‌ها و آب‌های زیرزمینی شوند و اثرات مضر و خطرناکی بر محیط زیست وارد نمایند [۲]. آب زیرزمینی یکی از مهمترین منابع قابل اعتماد و حیاتی برای مقاصد آب شرب، صنعت و آبیاری در اکثر کشورهای جهان می‌باشد، آب آشامیدنی وقتی به دست مصرف‌کنندگان می‌رسد باید سالم، ایمن، بدون طعم و بوی نامطبوع و بدون رنگ و کدورت باشد [۶]. تکنیک‌های زیادی برای تمیز کردن آب‌های زیرزمینی آلوده وجود دارد که روش پمپ و تصفیه یکی از متداول‌ترین روش‌های کاربردی برای این امر می‌باشد، در این روش آب‌های آلوده به‌وسیله‌ی پمپ به سطح زمین آورده شده و پس از تصفیه به آب‌های تمیز وارد می‌شود [۷]. روش‌های متعددی برای تصفیه آب‌های آلوده به نفت وجود دارد که شامل جداسازی ثقیلی، انواع فیلترها، اسمز معکوس، فرآیند بیولوژیکی، بیوراکتورهای ممبرانی، جذب با کربن فعال، انعقاد شیمیایی، انعقاد الکتریکی، شناورسازی الکتریکی و سایر موارد می‌باشد [۳، ۸]. یک روش استاندارد برای تصفیه‌ی این امولسیون‌ها افزودن مواد شیمیایی و ته‌نشینی بعد از آن می‌باشد. در این فرآیند نیاز به طیف وسیعی از مواد شیمیایی بوده و جهت جدا کردن فاز آبی نیاز به یک زلال‌ساز ثانویه می‌باشد. بنابراین نیاز به انرژی اضافی و به دنبال آن هزینه‌ی

بالا می‌باشد. ته‌نشینی ثقیلی و سانتریفیوژ کردن می‌توانند بعضی از امولسیون‌ها را بشکنند. سانتریفیوژ کردن برای بعضی از امولسیون‌ها موثر بوده اما هزینه‌های راه اندازی و نگهداری آن بسیار بالاست [۹]. روش‌های رایج برای تصفیه امولسیون‌های نفتی رضایتبخش نیستند، حتی غلظت‌های کم نفت برای میکرواورگانیزم‌های مسئول تجزیه در فرآیندهای تصفیه ای متعارف سمی هستند [۱۰]. اکثر فرآیندهای رایج به دلیل کارایی محدود و اثربخشی کم، ایجاد لجن زیاد، نیاز داشتن به افزودنی‌های شیمیایی، پرهزینه بودن، نیاز به پیش‌تصفیه و راهبری مشکل نتوانسته نیاز یک تصفیه‌ی اقتصادی و کارآمد را فراهم نماید [۳، ۱۱]. تکنولوژی انعقاد الکتریکی برای اولین بار در سال ۱۹۰۶ به‌عنوان یک تکنولوژی جدید در آمریکا به ثبت رسید. اما تصفیه‌ی فاضلاب در قرن ۲۰ با موفقیت‌ها و طرفداری‌های محدودی انجام گرفت، در اواخر قرن ۲۰ این تکنولوژی به‌طور افزایشی برای تصفیه‌ی فاضلاب‌های صنعتی حاوی فلزات مورد استفاده قرار گرفت، در مجموع انعقاد الکتریکی برای تصفیه‌ی آب‌های حاوی زائدات مواد غذایی، زائدات نفتی، رنگ‌ها، مواد معلق، زائدات صیقل کاری‌های مکانیکی و شیمیایی، شیرابه‌های لندفیل‌ها، زائدات معدن و محلول‌های حاوی فلزات سنگین به کار رفته است [۱۲]. در ساده‌ترین شکل یک راکتور انعقاد الکتریکی ممکن است از یک سلول الکترولیتی با یک آند و یک کاتد با استفاده از یک مولد برق مستقیم ایجاد شود [۱۳، ۱۴]. در انعقاد الکتریکی، منعقدکننده با خورده‌شدن آند در محل ایجاد می‌شود و طی سه فرآیند عمده زیر عمل تصفیه را انجام می‌دهد: ۱- واکنش الکترولیت در سطح الکترود و شکل‌گیری منعقدکننده‌ها به‌وسیله‌ی اکسیداسیون الکترولیتی در فاز آبی؛ ۲- جذب ذرات کلوئیدی بر روی منعقدکننده‌ها؛ و ۳- حذف آن به وسیله‌ی ته‌نشینی یا شناورسازی [۸]. همزمان با خورده‌شدن آند، در کاتد گازهای الکترولیت (عموماً H_2) تولید می‌شوند. فلزاتی از قبیل آهن و

نصب شده در بالای چاه پایش استفاده شد. نمونه توسط ظرف ۲۰ لیتری با جنس پلی اتیلن به صورت یکباره به آزمایشگاه منتقل شد و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. سیستم آزمایشی مورد مطالعه متشکل از یک مولد DC (با ولتاژ بین ۰ تا ۳۰ ولت و ۲ آمپر)، یک سلول استوانه‌ای مدرج با حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر، یک پمپ هوادهی، فلزهای آهن و استیل با سطح فعال 40 cm^2 به عنوان الکترودهای آند و کاتد، لوله‌ها و سیم‌ها و اتصالات بوده و تمام مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در این آزمایش، محصول شرکت مرک بوده است.

در این مطالعه، فرآیند به صورت بسته^۳ در راکتوری که شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده است به صورت تجربی در آزمایشگاه انجام گردید. قبل از هر روز آزمایش مقدار مورد نیاز نمونه به ظرفی دیگر منتقل شده و پس از رسیدن به دمای آزمایشگاه از آن برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. ابتدا مقدار ۲۰۰ سی سی نمونه برداشته و در صورت نیاز به تنظیم pH نمونه، ابتدا pH تنظیم گردید و به داخل راکتور ریخته شد، سپس مولد DC روشن شد و قطب مثبت به الکتروود آند و قطب منفی به الکتروود کاتد متصل گردید. سپس استارت مولد DC زده شد و میزان آمپر و زمان واکنش تنظیم گردید. در این آزمایش از هوادهی به میزان ۰/۵ لیتر بر دقیقه جهت انجام اختلاط و وارد کردن اکسیژن مورد نیاز جهت اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی استفاده شد. پس از پایان زمان واکنش جریان قطع شد و محلول از کاغذ صافی عبور داده شد تا لخته‌های تشکیل شده حذف گردد و سپس آنالیزهای لازم انجام گردید. متغیرهای مورد مطالعه در این آزمایش، جنس آند و کاتد (آهن و استیل)، pH اولیه محلول (۱۱ و ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴) دانسیته جریان (18 mA/cm^2 و ۱۴، ۹، ۵، ۲) و زمان واکنش (دقیقه ۶۰ و ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۵) بوده است.

آلومینیوم معمولاً به عنوان آند استفاده می‌شوند که با اکسید شدن، هیدروکسیدها، اکسی هیدروکسیدها و هیدروکسیدهای پلیمریک را تولید می‌کنند [۱۲]. هیدروکسیدهای فلزی شکل گرفته به عنوان منعقدکننده ناخالصی‌های مایع عمل کرده و حباب‌های هیدروژن شکل گرفته در سمت کاتد شکل‌گیری کف را فراهم می‌سازد [۱۵]، این محصولات معمولاً بسیار موثرتر از مواد شیمیایی اضافه شده می‌باشند و قادر به ناپایداری سوسپانسیون‌های کولوئیدی و امولسیون‌ها هستند [۱۲]. ال ناس^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، از فرآیند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آهن، آلومینیوم و استیل برای تصفیه فاضلاب پالایشگاه نفت استفاده کردند و نتایج نشان داد که این فرآیند می‌تواند یک روش مناسب جهت کاهش غلظت سولفات و COD از فاضلاب پالایشگاه‌های نفت باشد [۱۶]. همچنین در تحقیقی که اسلین^۲ و همکاران (۲۰۰۸)، برای تصفیه پساب‌های نفتی کشتی‌ها از فرآیند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آلومینیوم و استیل استفاده کردند، مشخص شد که حالت بهینه با الکترودهای استیل به دست آمده و حذف ۹۳٪ برای BOD، بالای ۹۵٪ برای روغن و گریس و حدود ۶۸٪ برای COD در شرایط بهینه حاصل می‌گردد [۱۷]. بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که تاکنون هیچ مطالعه‌ای روی حذف ترکیبات نفتی با استفاده از فرآیند انعقاد الکتریکی صورت نگرفته است. لذا با توجه به ضرورتی که در بالا بیان شد، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر فرآیند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آهن و استیل بر روی حذف ترکیبات نفتی از آب‌های زیرزمینی بوده است.

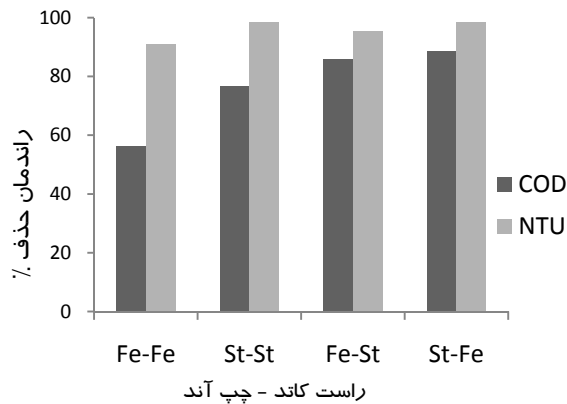
روش کار

در این مطالعه نمونه‌های مورد نیاز از یکی از چاه‌های پایش پالایشگاه نفت تهران واقع در باقرشهر فراهم گردید. برای انجام نمونه برداری از پمپ سانتریفیوژ

1. El. Nass
2. Asselin

3. Batch

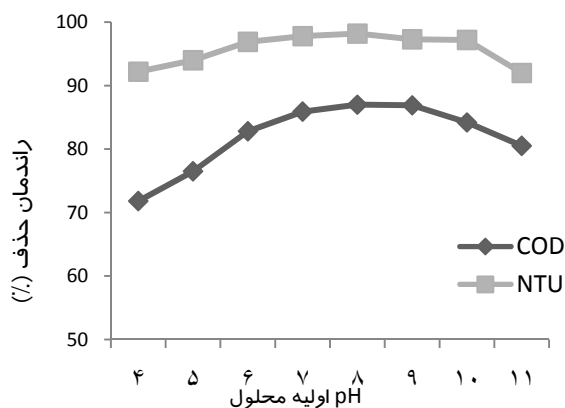
عنوان کاتد (St-Fe) مورد استفاده قرار گرفت، که در این حالت راندمان حذف COD و کدورت به ترتیب ۸۸/۸ و ۹۸/۶٪ به دست آمد.



شکل ۲. اثر جنس الکترود (pH اولیه محلول ۸، زمان واکنش ۳۰ دقیقه، هوادهی ۵ L/min، دانسیته جریان ۱۸ mA/cm²)

اثر pH اولیه محلول

در شکل ۳ راندمان حذف COD و کدورت در pHهای مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است بهترین pHها در حذف COD و کدورت، حالت‌های خنثی و مقداری قلیایی می‌باشد. هرچه به سمت شرایط اسیدی می‌رویم راندمان حذف کاهش می‌یابد، به طوری که راندمان حذف COD از ۸۷٪ در pH ۸ به ۷۱٪ در pH ۴ رسیده است.

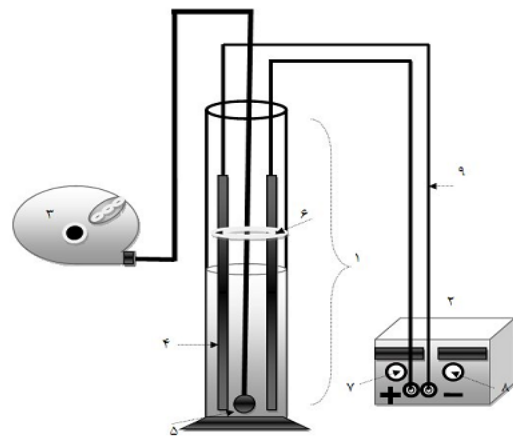


شکل ۳. اثر pH اولیه محلول (زمان واکنش ۳۰ دقیقه هوادهی ۵ L/min، دانسیته جریان ۱۸ mA/cm²، حالت الکترود St-Fe)

اثر دانسیته جریان

در شکل ۴ راندمان حذف COD و کدورت در دانسیته جریان مختلف نشان داده شده است.

به منظور اطمینان از تکرار نتایج هر مرحله آزمایش حداقل ۲ بار تکرار شد و میانگین نتایج گزارش گردید.



شکل ۱. شماتیک بساط آزمایشی (۱) محفظه واکنش، ۲. مولد DC، ۳. پمپ هوادهی، ۴. الکترود ها، ۵. هواده، ۶. نگهدارنده الکترود، ۷. تنظیم کننده ی ولتاژ، ۸. تنظیم کننده آمپر، ۹. سیم رابط

نحوه آنالیز نمونه‌ها

برای بیان راندمان حذف آلاینده‌های نفتی در هر دوره آزمایش، COD و کدورت اولیه و همچنین COD و کدورت نمونه‌های حاصل از فرآیند، سنجیده و گزارش گردید. COD اولیه نمونه‌ها در محدوده ۵۰۰-۶۰۰ mg/L و کدورت آن‌ها در محدوده ۵۲/۵-۵۵/۵ NTU می‌باشد. در این تحقیق جهت اندازه‌گیری COD از روش تقطیر باز بر اساس روش‌های ارائه‌شده در کتاب استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب [۱۸] و برای اندازه‌گیری کدورت از دستگاه توربیدیمتر^۱ ۲۱۰۰ N استفاده گردید. برای آنالیز داده‌های به دست آمده، از نرم افزار اکسل استفاده شد.

یافته‌ها

اثر جنس آند و کاتد

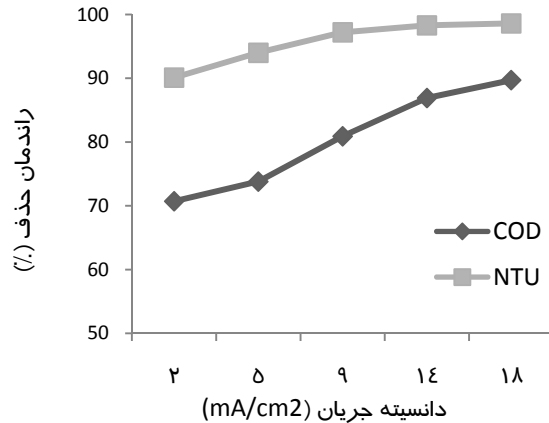
همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، زمانی که از جنس استیل به عنوان آند استفاده می‌شود راندمان بهتری مشاهده می‌گردد. در این پژوهش بهترین راندمان زمانی بود که استیل به عنوان آند و آهن به

1. HACH Company

بحث

جنس آند و کاتد یک عامل بسیار موثر در بحث فرآیند انعقاد الکتریکی می‌باشد. به طوری که می‌توان گفت قلب سیستم انعقاد الکتریکی جنس الکترودها می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲ نیز نشان داده شده، زمانی که حالت الکترودهای مورد استفاده Fe- Fe بوده است، راندمان حذف برای COD و کدورت پایین‌تر از سایر حالت‌ها بوده که این امر در مورد COD مشهودتر است. در این حالت راندمان حذف برای COD برابر با ۶۱/۳٪ می‌باشد که با تغییر حالت الکترودها به St-Fe راندمان حذف COD به ۸۸/۸٪ رسیده است. دلیل این امر می‌تواند به خاطر تفاوت ساختار فلزی جنس استیل و آهن، و همچنین تفاوت ماهیت و ماهیت لخته‌های شکل گرفته و ماهیت آلاینده‌های موجود باشد. در نتیجه با تغییر حالت جنس آند و کاتد، راندمان فرآیند می‌تواند متفاوت باشد. ال نای و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقشان از ۳ جنس آهن، آلومینیوم و استیل به‌عنوان الکترود استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، زمانی که آلومینیوم به‌عنوان الکترود مورد استفاده قرار می‌گیرد، راندمان تصفیه ۲/۵ برابر بیشتر از حالت‌های دیگر می‌باشد [۱۶]. همچنین زاید^۱ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقشان از ۲ جنس آهن و آلومینیوم به‌عنوان الکترود استفاده کردند. آنها در این تحقیق نشان دادند که هر دو جنس الکترود برای کاهش COD و پلی‌فنل‌ها کارایی یکسانی دارند، اما با افزایش زمان واکنش سرعت حذف COD و پلی‌فنل‌ها با الکترود Al مقدار اندکی بالاتر از الکترود Fe می‌باشد [۱۹]. اما این مطالعات فقط حالت‌های همان الکترودها را مورد بررسی قرار دادند و در حالتی که جنس آند و کاتد متفاوت باشند بررسی انجام ندادند. اما در تحقیقی دیگر که توسط کاتال^۲ و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد، اثر حالت‌های مختلف الکترودهای آهن و آلومینیوم در تصفیه فاضلاب

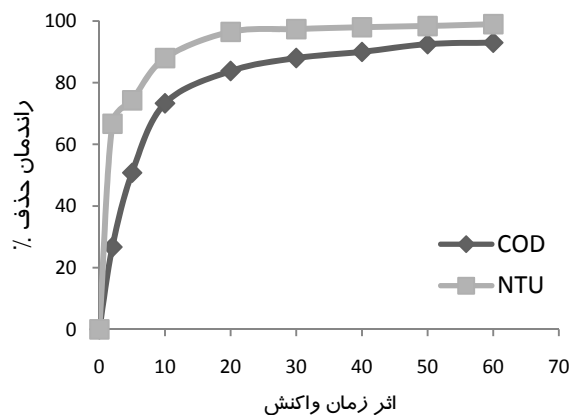
همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش دانسیته جریان، راندمان حذف برای هر دو پارامتر مورد بررسی، به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، به طوری که در دانسیته جریان ۱۸ mA/cm² راندمان حذف COD و کدورت به ترتیب به ۸۹/۷ و ۹۸/۶٪ رسیده است.



شکل ۴. اثر دانسیته جریان (زمان واکنش ۳۰ دقیقه، pH اولیه برابر با ۸، هوادهی ۵ L/min، حالت الکترود St-Fe)

اثر زمان واکنش

در این مرحله از آزمایش اثر زمان ماند واکنش بر حذف COD و کدورت، مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده با افزایش زمان ماند، راندمان حذف برای COD و کدورت به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. بالاترین راندمان حذف COD و کدورت در زمان ۶۰ دقیقه به ترتیب برابر با ۹۳ و ۹۹٪ به دست آمد.



شکل ۵. اثر زمان واکنش (pH اولیه محلول ۸، هوادهی ۵ L/min، دانسیته جریان ۱۸ mA/cm²، حالت الکترود St-Fe)

1. Zaided
2. Katal

فرآیند انعقاد الکتریکی انجام شد، بهترین راندمان حذف COD در اطراف شرایط خنثی می‌باشد، اما تفاوت چندانی بین pH های مختلف مشاهده نشد، فقط از pH ۱۰ به بالا به یکباره راندمان حذف COD کاهش یافت [۱۲]. در فرآیند انعقاد الکتریکی دانسیته جریان یک فاکتور مهم بر کارایی فرآیند می‌باشد. در شکل ۴ که اثر دانسیته جریان در حذف COD و کدورت نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار این پارامتر، کارایی فرآیند نیز افزایش می‌یابد. چنانچه حذف COD و کدورت در دانسیته جریان 2 mA/cm^2 به ترتیب برابر با $70/7$ و $90/1\%$ بوده است، که این مقدار در دانسیته جریان 18 mA/cm^2 به ترتیب به $89/7$ و $98/6\%$ افزایش یافته است. طبق قانون فارادی، با افزایش دانسیته جریان، میزان خوردگی در آند افزایش پیدا می‌کند. با افزایش میزان خوردگی در آند، میزان تولید هیدروکسیدهای فلزی افزایش می‌یابد و در نتیجه افزایش محل‌های فعال برای جذب مولکول‌های هیدروکربن اتفاق می‌افتد و این امر سبب افزایش راندمان با افزایش دانسیته جریان می‌شود. در نتیجه افزایش حذف هیدروکربن‌ها از محلول، افزایش حذف COD و کدورت را به دنبال خواهد داشت. در تحقیقی که Un و همکاران (۲۰۰۷) انجام دادند، با افزایش دانسیته جریان راندمان حذف COD نیز افزایش یافت [۲۱]. همچنین در تحقیقی که ال ناس و همکاران (۲۰۰۸) انجام دادند، در تمام حالت‌های الکترود، افزایش دانسیته جریان سبب افزایش راندمان حذف سولفات از فاضلاب گردید [۱۶]. اما باید در نظر داشت که با افزایش دانسیته جریان الکتریکی میزان خوردگی آند افزایش می‌یابد و ممکن است از نظر اقتصادی به صرفه نباشد، بنابراین این نکته نیز باید در نظر گرفته شود. یکی دیگر از پارامترهای بسیار مهم در واکنش‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی بحث زمان ماند یا زمان واکنش می‌باشد. شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش زمان واکنش، راندمان حذف COD و کدورت به‌طور

آسیاب کاغذ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که حالت Al-Al برای حذف رنگ و حالت Fe-Fe برای حذف COD و فنل بالاترین راندمان را دارد و اگر حذف هر ۳ پارامتر COD، رنگ و فنل مورد نظر باشد، بهترین راندمان‌ها در حالت Al-Fe یا Fe-Al به دست می‌آید [۲۰].

pH یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار در واکنش‌های شیمیایی می‌باشد. شکل ۳ اثر pH اولیه محلول در حذف COD و کدورت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، راندمان حذف COD و کدورت در شرایط اسیدی به‌طور محسوس پایین‌تر از شرایط خنثی و نسبتاً قلیایی قرار دارد. بهترین راندمان برای حذف این ۲ پارامتر در pH های بین ۷ و ۹ به دست آمده است. ولی از pH ۱۰ به بالا کاهش راندمان را به دنبال داشته است. دلیل این می‌تواند به خاطر حلالیت آهن در pH های مختلف باشد. در pH های ۷ و ۹ شکل غالب یون‌های آهن، $\text{Fe}(\text{OH})_3$ می‌باشد که حالت رسوبی داشته و مولکول‌های هیدروکربنی که ساختاری غیر قطبی و خنثی دارند می‌توانند در محل‌های فعال روی این لخته‌ها جذب شوند و با ته‌نشینی و یا شناورسازی از سیستم حذف شوند. دلیل این که با کاهش pH و افزایش pH از این دامنه، راندمان کاهش پیدا کرده می‌تواند به دلیل افزایش حلالیت Fe^{3+} در این pH ها باشد که این امر سبب می‌شود لخته‌های تولید شده کاهش پیدا کند. در تحقیقی که تیر^۱ و همکاران (۲۰۰۸) روی حذف نفت از فاضلاب، توسط انعقاد الکتریکی انجام دادند، مشخص شد که بهترین pH برای حذف COD و کدورت حالت اسیدی بوده و با افزایش pH راندمان کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که در pH ۶ و ۷ راندمان فرآیند تقریباً ثابت بوده اما از pH ۸ افت راندمان بسیار چشم‌گیر می‌شود [۸]. در تحقیقی دیگر که توسط زو^۲ و همکاران (۲۰۰۴)، روی تصفیه فاضلاب‌های روغنی رستوران‌ها به وسیله

1. Tir
2. Xu

برای COD و کدورت به ۹۰ و ۹۹٪ رسید، اما از ۲۰ دقیقه به بالا راندمان حذف تغییری نداشت [۸].

نتیجه گیری

در این مطالعه حالت بهینه برای حذف COD و کدورت با جنس استیل به عنوان آند و جنس آهن به عنوان کاتد (St-Fe)، pH اولیه محلول ۹-۷، دانسیته جریان 18 mA/cm^2 و زمان واکنش ۴۰ دقیقه به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، می توان نتیجه گرفت که فرآیند انعقاد الکتریکی می تواند یک فرآیند بسیار موثر در حذف ترکیبات نفتی از آب های زیرزمینی آلوده باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است.

محسوسی افزایش می یابد. از زمان ۲ تا ۳۰ دقیقه راندمان حذف به طور تصاعدی در حال افزایش می باشد به طوری که راندمان حذف COD و کدورت با زمان ۲ دقیقه واکنش، به ترتیب ۲۶/۷ و ۶۶/۷٪ بوده که با افزایش زمان به ۳۰ دقیقه این مقدار به ترتیب به ۸۸ و ۹۷/۴٪ رسیده است. اما از زمان ۳۰ دقیقه به بالا سرعت افزایش راندمان کم شده، به طوری که راندمان حذف این ۲ پارامتر در زمان ۶۰ دقیقه به ترتیب به ۹۳ و ۹۹٪ رسیده است. عبدالوهاب و همکاران (۲۰۰۸)، در تحقیقشان اثر زمان ماند واکنش را تا ۱۲۰ دقیقه مورد بررسی قرار دادند، که نتایج نشان داد با افزایش زمان راندمان حذف فنل افزایش می یابد [۲۲]. در تحقیقی که توسط تیر و همکاران (۲۰۰۸) انجام شد، با افزایش زمان، حذف COD و کدورت افزایش یافت، به طوری که در ۶ دقیقه اول راندمان حذف COD و کدورت به ترتیب ۶۷/۴ و ۸۹٪ به دست آمد. با افزایش زمان به ۲۰ دقیقه راندمان حذف به ترتیب

References

- 1- Rahimpour A, Rajaeian B, Hosienzadeh A, Madaeni SS, Ghoreishi F. Treatment of oily wastewater produced by washing of gasoline reserving tanks using self-made and commercial nanofiltration membranes. *Desalination*. 2011;265(1-3):190-8.
- 2- Grzechulska J, Hamerski M, Morawski AW. Photocatalytic decomposition of oil in water. *Water Res*. 2000; 34(5):1638-44.
- 3- Bande RM, Prasad B, Mishra IM, Wasewar KL. Oil field effluent water treatment for safe disposal by electroflotation. *Chem Eng J*. 2008; 137(3):503-9.
- 4- Vanzella TP, Martinez CBR, Cólus IMS. Genotoxic and mutagenic effects of diesel oil water soluble fraction on a neotropical fish species. *Mutat Res Gen-Tox En*. 2007; 631(1):36-43.
- 5- Colombo JC, Barreda A, Bilos C, Cappelletti N, Demichelis S, Lombardi P, et al. Oil spill in the Río de la Plata estuary, Argentina: 1. Biogeochemical assessment of waters, sediments, soils and biota. *Environ Pollut*. 2005;134(2): 277-89.
- 6- Rella R, Sturaro A, Parvoli G, Ferrara D, Doretto L. An unusual and persistent contamination of drinking water by cutting oil. *Water Res*. 2003; 37(3): 656-60.
- 7- Chang L-C, Chu H-J, Hsiao C-T. Optimal planning of a dynamic pump-treat-inject groundwater remediation system. *J Hydrol*. 2007; 342(3-4): 295-304.
- 8- Tir M, Moulai-Mostefa N. Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method. *J Hazard Mater*. 2008; 158(1): 107-15.
- 9- Ezzati A, Gorouhi E, Mohammadi T. Separation of water in oil emulsions using microfiltration. *Desalination*. 2005; 185(1-3): 371-82.
- 10- Rajakovic V, Aleksic G, Radetic M, Rajakovic L. Efficiency of oil removal from real wastewater with different sorbent materials. *J Hazard Mater*. 2007; 143(1-2): 494-9.
- 11- Balla W, Essadki AH, Gourich B, Dassaa A, Chenik H, Azzi M. Electrocoagulation/electroflotation of reactive, disperse and mixture dyes in an external-loop airlift reactor. *J Hazard Mater*. 2010; 184(1-3): 710-6.
- 12- Xu X, Zhu X. Treatment of refractory oily wastewater by electro-coagulation process. *Chemosphere*. 2004; 56(10): 889-94.

- 13- Emamjomeh MM, Sivakumar M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *J Environ Manage*. 2009; 90(5): 1663-79.
- 14- Essadki AH, Bennajah M, Gourich B, Vial C, Azzi M, Delmas H. Electrocoagulation/electroflotation in an external-loop airlift reactor--Application to the decolorization of textile dye wastewater: A case study. *Chem Eng Process*. 2008; 47(8): 1211-23.
- 15- Khemis M, Tanguy G, Leclerc JP, Valentin G, Lopicque F. Electrocoagulation for the Treatment of Oil Suspensions: Relation Between the Rates of Electrode Reactions and the Efficiency of Waste Removal. *Process Saf Environ*. 2005; 83(1): 50-7.
- 16- El-Naas MH, Al-Zuhair S, Al-Lobaney A, Makhlouf S. Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater. *J Environ Manage*. 2009; 91(1): 180-5.
- 17- Asselin M, Drogui P, Brar SK, Benmoussa H, Blais J-F. Organics removal in oily bilgewater by electrocoagulation process. *J Hazard Mater*. 2008; 151(2-3): 446-55.
- 18- APHA A, WEF. standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed2005.
- 19- Zaied M, Bellakhal N. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry. *JHazard Mater*. 2009; 163(2-3): 995-1000.
- 20- Katal R, Pahlavanzadeh H. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. *Desalination*. 2011; 265(1-3): 199-205.
- 21- Tezcan Un U, Koparal AS, Bakir Ogutveren U. Electrocoagulation of vegetable oil refinery wastewater using aluminum electrodes. *J EnvironManage*. 2009; 90(1): 428-33.
- 22- Abdelwahab O, Amin NK, El-Ashtoukhy ESZ. Electrochemical removal of phenol from oil refinery wastewater. *J Hazard Mater*. 2009; 163(2-3): 711-6.

Investigation of the Effect of Electro-Coagulation Process Using Iron and Stainless Steel Electrodes on Removal of Petroleum Compounds from Groundwater

Khosravi R¹, Moussavi G^{*2}, Farzad kia M³

1. M. Sc. Student of Environmental health engineering, Tarbiat modares university, Tehran, Iran.
2. Associate professor of Environmental health engineering, Tarbiat modares university, Tehran, Iran.
3. Associate professor of Environmental health engineering, Tehran university of medical sciences, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: Tel: 02182883527 Fax: 02182883825 E-mail: moussavi@modares.ac.ir

Received: 2011/05/18

Accepted: 2011/10/04

ABSTRACT

Background & Objective: Nowadays petroleum compounds have been widely used all over the world. Intentional and accidental release of these compounds into the environment disturbs aquatic ecosystem especially groundwater. Therefore, removal of petroleum compounds from water is necessary from the point of health and environmental view. This work aimed at investigation of the effect of electro-coagulation process using iron and stainless steel electrodes on removal of petroleum compounds from groundwater.

Methods: required water samples were taken from one of the monitoring wells of Tehran petroleum refinery. Effect of electro-coagulation process using iron and stainless steel electrodes on removal of petroleum compounds was evaluated through determination of turbidity and COD in groundwater. The variables studied include the effects of current density, anode and cathode types, reaction time, and initial pH of solution. Turbidity was measured using a HACH 2100 N TURBIDIMETER and COD was determined by open reflex method.

Results: The optimum materials for anode and cathode were determined to be stainless steel and Iron, respectively. Efficiency of process was improved by increasing current density and reaction time. The optimum pH was found to be between 7 and 9.

Conclusion: The results obtained imply that the electro-coagulation would be an efficient and reliable technique for removal of petroleum contaminants from groundwater.

Keywords: COD, Electro-Coagulation, Groundwater, Iron and Stainless Steel Electrodes.