

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



بررسی قابلیت سیستم انعقاد الکتریکی در تصفیه فاضلاب نفتی

مهديه كرامتي^۱، بي‌نا آيتي^۲

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

Email: m.keramati@modares.ac.ir

چکیده

در پالایشگاه‌های نفت مقادیر زیادی آب برای استخراج و پالایش نفت خام استفاده شده و پس از آن مقادیر بالایی فاضلاب تولید می‌گردد. این فاضلاب‌ها حاوی دسته عظیمی از آلاینده‌ها با غلظت‌های مختلف بوده که همگی مضر و خطرناک می‌باشند. با توجه به اثرات مضر هیدروکربن‌های نفتی بر منابع آب آشامیدنی و محصولات زراعی، ایجاد آلودگی اتمسفری و به خطر انداختن سلامتی موجودات زنده، تصفیه پساب‌های نفتی ضروری به نظر می‌رسد. بسیاری از هیدروکربن‌های آلیفاتیک و آروماتیک موجود در پساب‌های نفتی توسط روش‌های معمولی تصفیه نمی‌شوند، بنابراین برای حذف این نوع مواد، روش‌های نوین راهکار مناسبی می‌باشند. در روش انعقاد الکتریکی با اعمال جریان الکتریکی به الکترودهای کاتد و آند در یک محلول رسانا، با حل شدن آند، مواد منعقدکننده در محل تولید شده و موجب ایجاد لخته‌هایی می‌گردد که همراه با حباب‌های گاز هیدروژن تولیدی در کاتد شناور می‌شوند. این فرایند دارای مزایایی همچون عدم نیاز به ماده شیمیایی، تجهیزات ساده، حجم لجن تولیدی کم و انجام واکنش در زمان کوتاه می‌باشد. هدف از این تحقیق تصفیه فاضلاب نفتی و کاهش غلظت COD بالای این فاضلاب‌ها تا پایین‌ترین میزان ممکن با استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی بود. به این منظور، براساس راندمان حذف COD، مقدار بهینه پارامترهای موثر بر فرایند شامل سطح الکترودها، غلظت اولیه پساب و pH مورد بررسی قرار گرفت. در شرایط بهینه سطح الکترود $23/36 \text{ cm}^2$ ، pH اولیه ۸/۵ و غلظت COD 850 mg/L ، راندمان ۹۳ درصد پس از ۱۵ دقیقه به دست آمد که نشانگر کارآمد بودن سیستم انعقاد الکتریکی برای تصفیه اینگونه از فاضلاب‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پساب نفتی، فرایندهای الکتروشیمیایی، انعقاد الکتریکی، COD.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس



۱- مقدمه

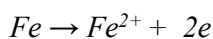
نفت از مهم‌ترین منابع انرژی مورد استفاده است و فعالیت‌های مرتبط با صنعت نفت منجر به تولید حجم بالایی از پساب و انتشار آلاینده‌های مختلف به سیستم‌های آبی می‌گردد. صنایع نفتی در سراسر دنیا روزانه بیش از ۱/۴ میلیون بشکه لجن‌های نفتی مخاطره‌آمیز برای محیط‌زیست تولید می‌کنند. طبق مطالعات، طی دو دهه آینده، تقاضای جهانی برای نفت به حدود ۱۰۷ میلیون بشکه در روز افزایش یافته و حدود ۳۲٪ انرژی جهانی تا سال ۲۰۳۰ از نفت تأمین خواهد شد. این آمار نشان می‌دهد پساب‌های حاصل از صنایع نفتی و پالایشگاهی به صورت روزافزونی در حال افزایش و تخلیه به محیط بوده و تهدیدی جدی برای منابع آبی جهان محسوب می‌گردد [۱]. این مواد از ترکیبات متنوع شیمیایی تشکیل شده و به دلیل در برداشتن مواد سمی مختلف مانند فنل، هیدروکربن‌های نفتی و هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک به محض ورود به هوا، آب و خاک، اثرات زیست‌محیطی مخربی را به وجود آورده و به عنوان یکی از پسماندهای صنعتی خطرناک مطرح می‌شوند [۲]. تصفیه پساب‌های نفتی از طریق روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و یا تلفیقی از آن‌ها امکانپذیر است که از میان آن‌ها می‌توان به روش‌های فیزیکی مانند جذب، فیلتراسیون غشایی، روش‌های شیمیایی مانند ترسیب شیمیایی، اکسیداسیون مرطوب، انعقاد و لخته‌سازی، اکسیداسیون فتوکاتالیستی، فنتون و ازن‌زنی و روش‌های بیولوژیکی با استفاده از جلبک، باکتری و قارچ اشاره کرد. لازم به ذکر است بسیاری از این روش‌ها برای تصفیه آب‌های آلوده شدید با غلظت COD (Chemical Oxygen Demand) بالای ۴۰۰۰ mg/L مناسب نیستند. به همین دلیل نیاز مبرم برای توسعه روش‌های پیشرفته در حذف مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی از فاضلاب نفتی وجود دارد. از طرفی بسیاری از هیدروکربن‌های آلیفاتیک و آروماتیک موجود در پساب‌های نفتی توسط روش‌های معمولی تصفیه نمی‌شوند، بنابراین برای حذف این نوع مواد روش‌های نوین راهکار مناسبی می‌باشد [۳].

با افزایش استانداردهای آب آشامیدنی و مقررات سخت‌گیرانه زیست‌محیطی در رابطه با تخلیه فاضلاب، تکنولوژی‌های الکتروشیمیایی در طول دو دهه گذشته اهمیت خود را در سراسر جهان به دست آورده‌اند و امروزه فرایندهای الکتروشیمیایی همچون بازیابی فلزات، انعقاد الکتریکی، شناورسازی الکتریکی و اکسیداسیون الکتریکی را می‌توان جزو فناوری‌های مؤثر در زمینه تصفیه فاضلاب‌های مختلف به حساب آورد.

استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی یا الکتروکواگولاسیون (Electrocoagulation) توسط الکترودهای آهن و آلومینیوم نخستین بار در سال ۱۹۰۹ در ایالت متحده آمریکا به ثبت رسید و در سال ۱۹۴۶ در مقیاس بزرگ برای تصفیه آب به منظور شرب مورد بهره‌برداری قرار گرفت [۴]. این روش سه فرایند عمده را در جهت همکاری برای حذف آلاینده‌ها با یکدیگر ترکیب می‌نماید: الکتروشیمی، انعقاد و هیدرودینامیک [۵]. در انعقاد الکتریکی آلاینده‌های معلق، امولسیون‌ی و یا محلول در یک محیط آبی با عبور جریان الکتریکی از داخل آن ناپایدار می‌شوند. در شکل ۱ واکنش‌های انجام گرفته در یک راکتور انعقاد الکتریکی نشان داده شده است. تولید یون‌های فلزی در آند و گاز هیدروژن در کاتد انجام می‌گیرد. یون‌های فلزی با به دام انداختن آلاینده‌ها لخته‌ها را تشکیل داده و گاز هیدروژن این ذرات را به صورت شناور نگه می‌دارد. در این روش با استفاده از جریان الکتریکی و نصب الکترودهای شیمیایی از جنس آلومینیوم، آهن و غیره که به صورت آند و کاتد عمل می‌کنند، ذرات کلوئیدی موجود در محیط آب یا فاضلاب از طریق تولید بارهای مثبت الکتریکی از لحاظ الکتریکی خنثی شده و در نتیجه با تولید Fe^{3+} و Al^{3+} و غیره فرایند لخته‌سازی فراهم می‌گردد [۶] و [۸].

واکنش‌های شیمیایی انجام شده در سلول انعقاد الکتریکی مطابق روابط (۱) تا (۵) انجام می‌گیرد [۷]:

برای آند آهنی:



(۱)

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



در شرایط قلیایی:



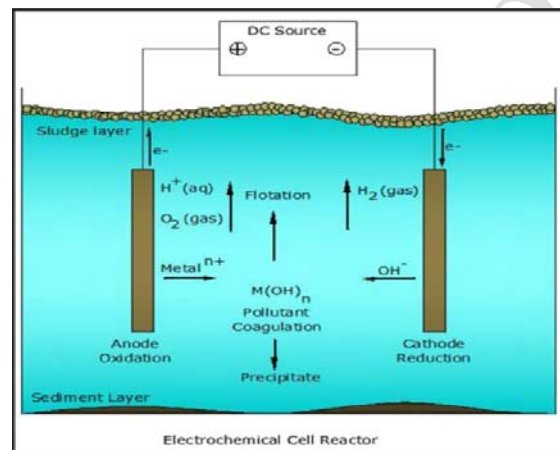
در شرایط اسیدی:



واکنش تولید اکسیژن:



واکنش در کاتد:



شکل ۱- نمایش شماتیک واکنش‌های الکتروشیمیایی در یک راکتور ناپیوسته [۸]

انعقاد الکتریکی روشی کارآمد برای حذف جامدات معلق و نیز روغن و گریس بوده و قادر است فلزات، جامدات و ذرات کلوئیدی و آلاینده‌های معدنی محلول را از محیط آبی با استفاده از انواع هیدروکسیدهای فلزی پلیمری حذف نماید. در این موارد بارهای الکترواستاتیکی روی جامدات معلق و قطرات روغن یا نفت موجود در فاضلاب برای تسهیل فرایند تجمع یا انعقاد خنثی می‌گردد [۹]. از جمله مزایای این روش می‌توان به مواردی همچون عدم نیاز به مواد شیمیایی، تجهیزات ساده، حجم کم لجن تولیدی، زمان ماند کوتاه، تشکیل لخته‌های بزرگتر، مقاوم‌تر در برابر اسید، پایدارتر و در نتیجه جداسازی سریع‌تر نسبت به انعقاد شیمیایی اشاره کرد. علاوه بر مزایای فراوان، استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی دارای معایبی همچون نیاز به حداقل قابلیت هدایت‌پذیری پساب، نیاز به جایگزینی مجدد الکترودها و هزینه بالای الکتریسیته در بسیاری از مناطق اشاره کرد [۱۰].

در این تحقیق بررسی علمی قابلیت سیستم‌های الکتروشیمیایی جهت کاهش بار آلودگی پساب‌های نفتی جهت انجام اقدامی مؤثر برای بهبود وضعیت زیست‌محیطی کشور انجام گرفت. هدف از این تحقیق تصفیه فاضلاب نفتی و کاهش غلظت

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir

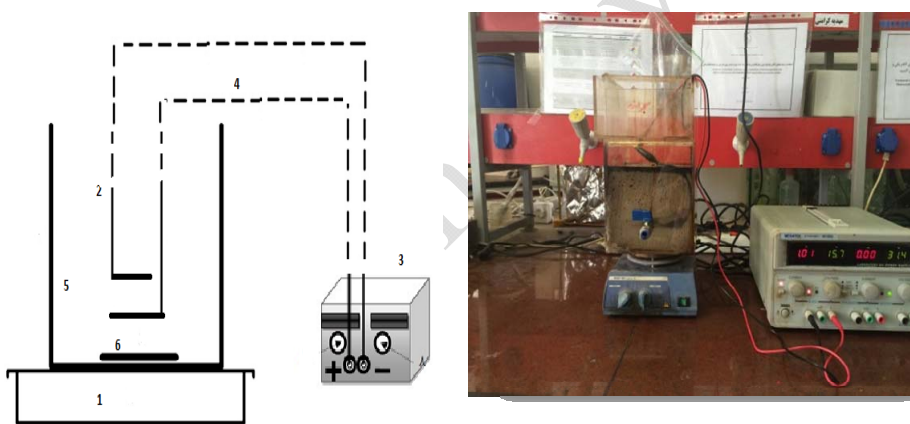


COD بالای آن تا پایین‌ترین میزان ممکن با استفاده از فرایند نوین الکتروکواگولاسیون بود. به این منظور، در سیستم انعقاد الکتریکی براساس راندمان حذف COD، مقدار بهینه پارامترهای موثر بر فرایند شامل سطح الکترودها، غلظت اولیه پساب و pH مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش انجام تحقیق

۲-۱- طراحی و ساخت راکتور

مطابق شکل ۲ سلول الکتروشیمیایی فرایند الکتروکواگولاسیون با ابعاد $15 \times 15 \times 25$ سانتی‌متر با حجم مفید ۳ لیتر، از جنس پلکسی گلاس ساخته شد و برای انجام آزمایشات با جریان ناپیوسته مورد استفاده قرار گرفت. دو الکتروده افقی از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ با خلوص ۹۹ درصد به عنوان کاتد و آند با آرایش تک‌قطبی و چهار سطح مؤثر انتخابی در فاصله ۱ سانتی‌متری از هم قرار گرفتند. همچنین از یک منبع تغذیه جریان برق مستقیم DC جهت تامین جریان الکتریکی و از یک همزن مغناطیسی جهت ایجاد اختلاط و همگن‌سازی نمونه استفاده شد. به دلیل اینکه گاز هیدروژن تولیدی در کاتد، نقش اصلی را در شناور کردن ذرات معلق دارد، نحوه اتصال جریان به صورتی بود که کاتد در بالا و آند در پایین قرار بگیرد. فاصله آند از کف ظرف ۵ cm بود.



شکل ۲- طرح شماتیک سلول الکتروشیمیایی مورد استفاده

(۱. همزن مغناطیسی، ۲. الکترودها، ۳. منبع تغذیه، ۴. سیم رابط، ۵. محفظه واکنش، ۶. مگنت)

۲-۲- مواد و تجهیزات

مطالعات اخیر بر روی پساب پالایشگاه‌های نفت نشان داده است که بیشتر ترکیبات نفتی موجود در این فاضلاب‌ها در محدوده $C_{14}-C_{35}$ بوده و میزان غلظت هیدروکربن‌های سبک در آن بیش از غلظت هیدروکربن‌های سنگین می‌باشد [۱۱]. این پژوهش برای سنتز فاضلابی مشابه با فاضلاب‌های پالایشگاهی از ترکیب گازوئیل با نفت خام با نسبت ۱ به ۲ استفاده شد. همچنین برای اختلاط مناسب ترکیب نفت و گازوئیل در آب از یک سورفکتانت کاتیونی به نام هگزا دسیل تری متیل آمونیوم

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



برماید (C₁₉H₄₂BrN) جهت تهیه فاضلاب سنتزی استفاده شد. به منظور برقراری هدایت الکتریکی پساب ۳ لیتری، در هر آزمایش ۱/۵ گرم نمک NaCl (Merck) مورد استفاده قرار گرفت. پس از هر دوره انجام آزمایش برای جلوگیری از چسبندگی هیدروکربن‌های نفتی به جداره داخلی ظروف و فتولیز آن‌ها از ظروف شیشه‌ای مات برای نمونه‌برداری استفاده و برای جلوگیری از فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها در دمای ۳۰°C در یخچال نگهداری شد [۱۱]. برای سنجش کارایی سیستم‌ها پارامتر راندمان حذف COD مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین COD از دستگاه COD راکتور مطابق روش D5220 کتاب استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب استفاده شد. برای اطمینان از صحت اطلاعات، تمامی آزمایش‌ها سه بار تکرار و آنالیز شدند. برای اندازه‌گیری پارامترها از اسپکتروفتومتر مدل DR4000 ساخت شرکت Hach، منبع تغذیه Megatek مدل PM-3005D برای تامین جریان الکتریکی، همزن مغناطیسی مدل RH-Bassic2 ساخت شرکت IKA جهت مخلوط کردن محلول، COD راکتور مدل DRB200 ساخت شرکت Hach، ترازوی دیجیتالی مدل PJ300 ساخت شرکت Mettler برای تعیین مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز و سانتیفریوژ ساخت شرکت Sigma برای جداسازی مواد استفاده گردید.

۳- نتایج

در ادامه نتایج تاثیر هر یک از پارامترهای سطح الکترودها، غلظت اولیه COD و pH اولیه بر راندمان حذف COD دست آمده و میزان بهینه هریک از این پارامترها به تفکیک در شرایط جریان ناپیوسته سیستم انعقاد الکتریکی به روش کلاسیک OFAT ارائه شده است.

۳-۱- اثر سطح الکترودها

به منظور تعیین سطح بهینه الکترودها، آزمایشات در چهار سطح الکترودها ۲۳/۳۶، ۳۹/۳۶، ۵۵/۳۶ و ۷۷/۳۶ cm² انجام شد. بر اساس آزمایشات اولیه مقادیر دیگر پارامترها شامل غلظت اولیه، pH و جریان الکتریکی (I) ثابت در نظر گرفته شد. دلیل ثابت در نظر گرفتن جریان الکتریکی به جای دانسیته جریان الکتریکی، وابسته بودن میزان انحلال آند به میزان جریان الکتریکی طبق قانون فارادی بود و در صورت تغییر میزان جریان الکتریکی، تغییرات میزان انحلال آند با تغییرات هریک از پارامترها بعنوان یک پارامتر مستقل قابل بررسی نبود. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها مطابق شکل ۳ می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، راندمان حذف COD برای هر چهار سطح الکترودها تقریباً یکسان بوده و تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین آن‌ها وجود ندارد. همچنین پس از حدود ۲۰ دقیقه راندمان حذف برای هر چهار سطح به حداکثر مقدار خود (۹۲ درصد) می‌رسد. با توجه به مصرف انرژی کمتر توسط الکترودها کوچک‌تر و انحلال کمتر آن سطح الکترودها ۲۳/۳۶ cm² به عنوان سطح بهینه انتخاب و در ادامه روند آزمایشات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

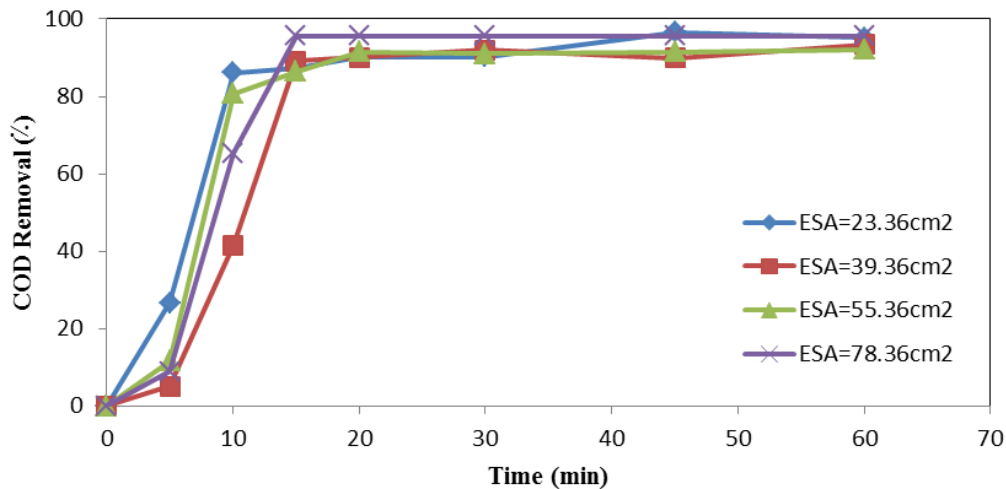
دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم اندیشان انرژی کیمیا

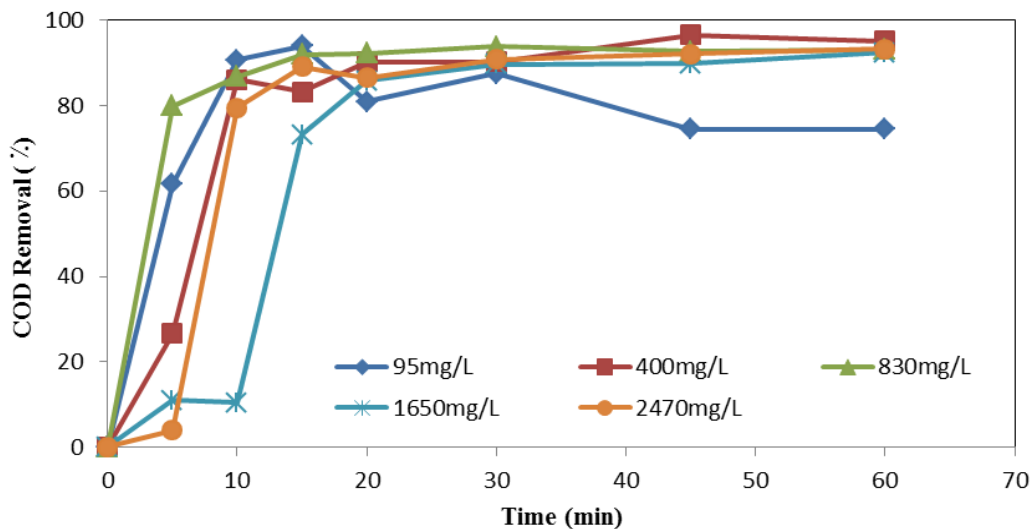
www.Energyconf.ir



شکل ۳- راندمان حذف COD بر حسب زمان برای سطوح مختلف الکترود
(pH=8.15, I=1 A, COD=420 mg/l)

۳-۲ اثر غلظت اولیه

آزمایشات در غلظت‌های اولیه مختلف COD به منظور تعیین مقدار بهینه این پارامتر در شرایط بهینه سطح الکترود و با ثابت نگهداشتن دیگر پارامترها انجام شد. نتایج به دست آمده مطابق شکل ۴ می‌باشد. راندمان حذف COD پس از گذشت ۱۰ دقیقه از انجام آزمایش برای غلظت‌های اولیه ۹۵، ۴۰۰، ۸۳۰، ۱۶۵۰ و ۲۴۷۰ mg/L به ترتیب برابر با ۸۶، ۸۶، ۸۷ و ۷۹ درصد به دست آمد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سرعت حذف با افزایش غلظت اولیه آن کاهش می‌یابد و برای داشتن راندمان حذف ثابت به زمان بیشتری نیاز است. دلیل این امر این است که در یک دانسیته جریان الکتریکی ثابت، میزان منعقدکننده هیدروکسید فلزی تولیدی نسبت به زمان ثابت می‌باشد و برای انعقاد و لخته‌سازی مقدار بیشتر آلاینده، ناکافی است [۱۲]. به عنوان نتیجه نهایی، غلظت COD اولیه ۸۳۰ mg/L با حذف ۹۳ درصد COD در مدت زمان کمتر از ۳۰ دقیقه، به عنوان غلظت اولیه بهینه انتخاب و در ادامه تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۴- راندمان حذف COD بر حسب زمان برای غلظت‌های اولیه مختلف
(pH=8.15, I=1 A, ESA=23cm²)

۳-۳ اثر pH اولیه

آزمایشات در pHهای اولیه مختلف به منظور تعیین مقدار بهینه این پارامتر در شرایط بهینه شده سطح الکتروود و غلظت اولیه COD انجام شد. در pHهای مختلف گونه‌های مونومری و پلیمری آهن متفاوت بوده و مکانیسم انعقاد وابسته به pH محیط می‌باشد. محققان مختلف وجود گونه‌های متفاوت آهن در محلول را در توجیه فرایند و روند حذف آلاینده بیان کرده‌اند. تولید لخته‌های Fe(OH)₃ به عنوان یک جاذب در محیط و عملکرد آن در pHهای مختلف اهمیت دارد. میزان و اندازه حباب‌های تولیدی نیز وابسته به pH می‌باشد. با توجه به تغییرات pH نسبت به زمان فرایند و با بررسی مکانیسم‌های اشاره شده، تاثیر pH در حذف COD با فرایند انعقاد الکتریکی را می‌توان توجیه کرد [۱۳].

در pH اسیدی تعداد حباب‌ها افزایش ولی اندازه آن‌ها بزرگ‌تر می‌شود که توانایی آن‌ها را در شناورسازی لخته‌های ریز کاهش می‌دهد. در pH بازی تعداد حباب‌ها کاهش و اندازه آن‌ها کوچک‌تر می‌شود [۱۴]. بنابراین مقدار بهینه pH برای تأمین شرایط مناسب انعقاد و شناورسازی باید انتخاب شود.

نتایج به دست آمده در شکل ۵ ارائه شده است. راندمان حذف COD پس از گذشت ۶۰ دقیقه در pHهای برابر با ۳، ۵، ۸/۵ و ۱۱ به ترتیب برابر ۷۸، ۹۰، ۹۳ و ۸۴ درصد به دست آمد. سرعت روند حذف در pH برابر با ۸/۵ بیشتر از مقادیر دیگر بوده، به طوری که پس از گذشت ۵ دقیقه به میزان بالای ۷۹ درصد رسید. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، راندمان حذف COD در pH برابر با ۸/۵ که pH طبیعی فاضلاب می‌باشد، مناسب بوده و نیازی برای افزودن مواد برای تنظیم آن نیست. بنابراین pH اولیه ۸/۵ با حذف ۹۳ درصد COD در مدت زمان ۶۰ دقیقه (و حذف ۹۱ درصد در مدت زمان ۱۵ دقیقه) با توجه به راندمان حذف بالا به عنوان شرایط بهینه انتخاب گردید.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

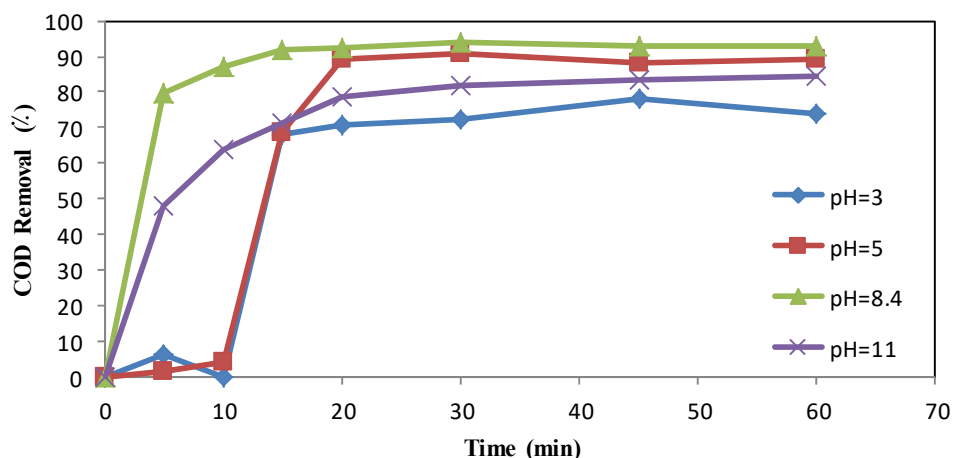
دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم‌اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



شکل ۵- راندمان حذف COD بر حسب زمان برای pHهای اولیه مختلف
(COD=850 mg/L, I=1 A, ESA=23cm²)

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مزایای سیستم انعقاد الکتریکی از قبیل بهره‌برداری کاملاً خودکار، کنترل آسان پارامترهای دخیل در فرایند، شرایط ایمن بهره‌برداری و تحمل بسیار بالا در مقابل شوک‌های آلی، هیدرولیکی و مواد سمی و با توجه به نتایج آزمایشات گرفته شده در این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت این روش، فرایندی مناسب و کارآمد برای تصفیه فاضلاب‌های نفتی می‌باشد. در شرایط بهینه سطح الکترود ۲۳/۳۶ cm²، pH اولیه ۸/۵ و غلظت ۸۵۰ mg/L، راندمان ۹۳ درصد پس از ۱۵ دقیقه به دست آمد.

مراجع

- [1] El-Naas, M. H., Alhajja, M. A., & Al-Zuhair, S. (2014). Evaluation of a three-step process for the treatment of petroleum refinery wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1): 56-62.
- [2] Yan, L., Wang, Y., Li, J., Hongzhu M., Liu, H., Li, T., Zhang, Y. (2014). Comparative study of different electrochemical methods for petroleum refinery wastewater treatment. *Desalination* 341: 87-93.
- [3] Diya'uddeen, H., Daud, W., Abdul Aziz. A.R. (2011). Treatment technologies for petroleum refinery effluents: A review *Basheer Process Safety and Environmental Protection* 89: 95-105.
- [4] Sahu, O., Mazumdar, B., & Chaudhari, P. K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: a Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(4): 2397-2413.
- [5] Yavuz, Y., A. Koparal, S., Ögütveren, U, B. (2010). Treatment of petroleum refinery wastewater by electrochemical methods. *Desalination* 258: 201-205.
- [6] Hernández, I, L., Díaz, C, B., Bilyeub, B., Juárez-GarcíaRojasa, P., Campos-Medinac, E. (2010). A combined electrocoagulation-electrooxidation treatment for industrial wastewater, *Journal of Hazardous Materials* 175: 688-694.
- [7] Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38: 11-41.
- [8] Rincon, G, J., La Motta, E, J. (2014). Simultaneous removal of oil and grease, and heavy metals from artificial bilge water using electro-coagulation/flotation. *Journal of Environmental Management*. 144: 42-50.
- [9] El-Naas, M, H., Al-Zuhair, S., Al-Lobaney, A., Makhlof, S. (2009). Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater, *Journal of Environmental Management*, 91: 180-185.

مجموعه مقالات ششمین کنفرانس انرژی و محیط زیست

دوم دی ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران

و هم اندیشان انرژی کیمیا

www.Energyconf.ir



[10]Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) science and applications, Journal of hazardous materials, 84(1): 29-41.

[۱۱]رحیمی محمدقاسم، (۱۳۹۲)، حذف هیدروکربن‌های نفتی از فاضلاب با استفاده از سیستم تلفیقی MBBR/UV، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس.

[12]Yuksel, E., Gurbulak, E., & Eyvaz, M. (2012). Decolorization of a reactive dye solution and treatment of a textile wastewater by electrocoagulation and chemical coagulation: Techno-economic comparison. Environmental Progress & Sustainable Energy, 31(4), 524-535.

[۱۳] قدرتی سمانه، موسوی سید غلامرضا، (۱۳۹۳)، بهینه‌سازی فرایند انعقاد الکتریکی در تصفیه فاضلاب نساجی با استفاده از روش سطح پاسخ، مجله سلامت و محیط، شماره دوم، صفحات ۲۳۹ تا ۲۵۲.

[14]Rahmani A. R., Nematollahi D., Godini K., Azarian G. (2013) Continuous thickening of activated sludge by electro-flotation, Separation and Purification Technology 107(6): 166-171.

www.Energyconf.ir