

بررسی کارایی روش الکترولیز در حذف فسفر از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب

دکتر امیر حسین محوی^۱، سید جمال‌الدین ابراهیمی^۲، دکتر جعفر نوری^۳، دکتر فروغ واعظی^۴، لیلا ابراهیم زاده^۵

۱. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران (مؤلف مسئول) ahmahvi@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران

۳. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران

۴. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران

۵. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت همدان

چکیده

زمینه و هدف: اگرچه فرآیندهای تصفیه اولیه و ثانویه وقتی که با گندزدایی تکمیل شده باشد، (تصفیه متداول فاضلاب) می‌تواند ۸۵ درصد BOD^۱ و جامدات معلق و تقریباً همه موجودات بیماریزا را حذف نماید، لیکن بعضی از آلودگی‌ها از قبیل نیتروژن، فسفر، COD^۲ محلول و فلزات سنگین به میزان کمتری حذف می‌شوند.

این امر خاصه وقتی که مقادیر زیادی از فاضلاب تصفیه شده به یک جریان آب سطحی با دبی کم یا اکوسیستم حساس تخلیه می‌شود مشکلی اساسی به حساب می‌آید. هدف از انجام این تحقیق بررسی کارایی روش الکترولیز جهت حذف فسفر از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب بوده است.

روش بررسی: مطالعه از نوع تجربی - کاربردی بود و به این منظور پایلوتی در محل آزمایشگاه میکروبیولوژی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران با ظرفیت ۲۰ لیتر با جریان پیوسته، احداث گردید، راکتور در دبی‌ها، پتانسیل‌های الکتریکی و غلظتهای مختلف پساب راهبری شد.

یافته‌ها: بکارگیری پلیت‌های آلومینیوم در آند به عنوان عامل فلوک‌کننده در پساب در روش الکترولیز حذف فسفر را حدود ۹۰/۱ درصد نشان داد.

نتیجه‌گیری: می‌توان انتظار داشت فرآیند الکترولیز با مزایایی از قبیل هزینه‌های بهره برداری پایین، جنبه‌های بهداشتی و زیست محیطی مطلوب، حجم کم لجن تولیدی، بازده بسیار بالا، چشم انداز مطلوبی در حذف فسفر و دیگر مواد آلاینده مشابه از آب و فاضلاب بدست آورد.

کلید واژه‌ها: الکترولیز، الکتروکواگولاسیون، حذف فسفر، پساب تصفیه خانه فاضلاب.

وصول مقاله: ۸۵/۱۱/۱۴ اصلاح نهایی: ۸۶/۱۲/۲۸ پذیرش مقاله: ۸۶/۱۲/۲۸

مقدمه

روشهای متعددی در سالهای اخیر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است که از این میان می توان به فرآیند انعقاد و شناور سازی الکتریکی که به عنوان یک نوآوری قابل توجه در صنعت آب و فاضلاب، مطرح می باشد اشاره کرد (۴). امروزه تکنیک الکتروشیمیایی یک ابزار فرآیندی مهم جهت جداسازی و کنترل انواع آلاینده ها شده است. تکنولوژی های الکتروشیمیایی، مزایای متعددی دارند که مهمترین آنها عبارتند از: سازگاری با محیط زیست، چند منظوره، بازدهی انرژی، ایمن بودن، انتخاب گری، سازگار با ماشینی شدن، سادگی و ارزانی نسبی (۵).

در مورد مکانیسم این فرآیند باید گفت الکترولیز یک واحد فرآیندی است که تغییرات شیمیایی در آن ناشی از واکنش انتقال الکترون از میان سطح مشترک محلول و الکتروود می باشد. جریان الکتریکی بوسیله جریان الکتریسته مستقیم تأمین می شود و ولتاژ کاربردی بین دو الکتروود در یک سلول واکنش را به پیش می برد (۶).

مکانیسم های اصلی الکترولیز برای تصفیه پیشرفته به شرح زیر می باشد:

اکسیداسیون و گندزدایی الکتروشیمیایی

فلوکولاسیون الکتروشیمیایی و

شناورسازی الکتروشیمیایی یا هر ترکیبی از این مکانیسم ها.

این فرآیند از طریق کاربرد جریان مستقیم برق با ولتاژ بین ۱۰ تا ۶۰ ولت و شدت جریانهای متغیر که بسته به میزان آلودگی پساب تعیین می شود با استفاده از الکترودهایی از جنس آلومینیم، آهن معمولی، فولاد ضد زنگ و یا ذغال صورت می گیرد (۷).

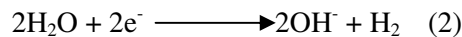
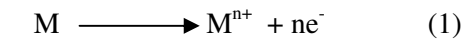
واکنشهای انجام شده درآند و کاتد به قرار زیر می باشد:

روشهای متداول تصفیه فاضلاب شامل تصفیه مقدماتی، اولیه و ثانویه است و در بیشتر تصفیه خانه ها کماکان از کلر زنی جهت حذف عوامل بیماریزا استفاده می شود (۱). این مطلب اثبات شده است که تصفیه متداول فاضلاب همواره نمی تواند از نظر ترکیبات فسفر کیفیت لازم را از نظر استاندارد های تخلیه پساب تأمین نماید. این امر خاصه وقتی که مقادیر زیادی از فاضلاب تصفیه شده به یک جریان آب سطحی با دبی کم یا اکوسیستم حساس تخلیه می شود مشکلی اساسی به حساب می آید (۲).

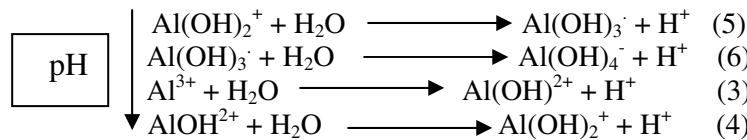
اگرچه فرآیندهای تصفیه اولیه و ثانویه وقتی که با گندزدایی تکمیل شده باشد، (تصفیه متداول فاضلاب) می تواند ۸۵ درصد BOD جامدات معلق و تقریباً همه موجودات بیماریزا را حذف نماید، لیکن بعضی از آلاینده ها از قبیل نیتروژن، فسفر، COD محلول و فلزات سنگین به میزان کمتری حذف می شوند (۳).

تحت بعضی از شرایط این آلودگی ها نگرانی اصلی به حساب می آیند. در این موارد فرآیندهایی که قادر به حذف آلودگی های باقیمانده از تصفیه هستند بکار می رود که اغلب تصفیه ثالثیه فاضلاب نامیده می شود (این فرآیندها اغلب تصفیه فاضلاب پیشرفته یا بطور خلاصه AWT^۳ نامیده می شوند). این گونه فرآیندها کیفیت فاضلاب را تا حدی که برای اهداف استفاده مجدد مناسب باشند، بهبود می بخشند و آنچه را که اساساً یک فاضلاب دور ریختنی است، به یک منبع آب با ارزش تبدیل می کنند.

تحقیق پس از آزمایشات اولیه با آن انجام شده است
واکنش زیرقابل وقوع است:



در مورد فلز آلومینیم که کلیه آزمایشات نهایی در این



الکترولیز به شکل سرریز وارد محفظه شناورسازی و ته نشینی به حجم ۱۲ لیتر که به شکل دو مرحله‌ای طراحی شده بود، می‌گردید. در مرحله اول با استفاده از یک بافل با افزایش ارتفاع از سطح ایستایی فلاکهای شناور شده جداسازی می‌گردید و در مرحله دوم با تعبیه شیر خروجی حدود یک سانتیمتر پایین‌تر از سطح ایستایی، با جدا سازی فلاکهای ته نشین شده، از پساب عبوری از فرآیند جهت انجام آزمایشات نمونه برداشت می‌گردید (شکل‌های ۱ و ۲).

کاملاً مشخص است که هرچه سطح تماس پلیت‌ها با الکترولیت بیشتر باشد راندمان بالاتری نیز حاصل می‌گردد، که دلیل آن در این حالت به علت تماس مؤثر بیشتر بین مواد معلق، توده‌های کلوئیدی، محلول و میکرو حبابهای گازهای الکترولیتی که از سطح الکتروود آزاد می‌شود، می‌باشد. لذا در آزمایشات بعمل آمده موقعیت الکتروودها در حالت کاملاً مستغرق در نظر گرفته شد.

راکتور در دبی‌ها، پتانسیل‌های الکتریکی و غلظت‌های مختلف پساب راهبری شد. غلظت فسفرکل در جریان ورودی و خروجی در حالت یکنواخت و ثابتی نگه داشته شد. محدوده پتانسیل‌های الکتریکی ورودی به اندازه ۶۰-۱۰ ولت و محدوده جریان پساب در حدود

میزان انحلال فلزات و در نتیجه تجزیه فلز آند بستگی به مقدار جریان الکتریسته عبوری از الکترولیت دارد و از قانون فاراده تبعیت می‌کند.
یونهای آلومینیم ایجاد شده به سه طریق باعث انعقاد مواد می‌شوند (۸):
فشرده شدن لایه دول الکتریکی.

تجمع ذرات از طریق خنثی سازی در محیط الکترولیت.
ایجاد پل بین ذرات و تشدید فرآیند انعقاد جارویی.
حبابهای گاز هیدروژن تولید شده در کاتد نیز به ذرات منعقد شده چسبیده و همانند روش شناورسازی با هوای محلول ذرات را با خود به سطح آب می‌آورند.

روش بررسی

به منظور انجام این مطالعه تجربی-کاربردی، پایلوتی در محل آزمایشگاه میکروبیولوژی دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران در ابتدای سال ۱۳۸۵ با جریان پیوسته احداث گردید، ظرفیت پایلوت مورد نظر ۲۰ لیتر در نظر گرفته شد تا ضمن تأمین زمان ماند هیدرولیکی در محفظه الکترولیز، زمان لازم برای جداسازی فازها (جهت شناورسازی و ته نشینی) تأمین گردد. از کل محفظه پایلوت یک قسمت به عنوان محفظه الکترولیز به حجم ۸ لیتر تا زیر لبه سرریز در نظر گرفته شد، و بعد از آن خروجی سلول

بعدی تحقیق نشان داد که راندمان بدست آمده در مقایسه با الکتروکاتولیز آلومینیم (الکتروکاتولیز مصرفی) در مورد حذف فسفر کل، بسیار پایین تر بود، سپس بهترین راندمان با تغییر در فاصله، تعداد پلیت ها و پتانسیل الکتریکی، در فاصله ۲ سانتیمتر و تعداد ۵ پلیت و پتانسیل الکتریکی ۵۰ ولت (۴۰۰ وات بر دسی متر مکعب) بدست آمد.

نتایج بدست آمده نشان می دهد پتانسیل های الکتریکی بالاتر ورودی، میزان حذف فسفر کل بالاتری را به دنبال دارد. از طرف دیگر هرچه جریان الکتریکی بالاتری به کار گرفته می شد مدت زمان الکتروکاتولیز کوتاه تر می شد.

بر اساس مشاهدات بعمل آمده، پتانسیل الکتریکی بالاتر باعث اختلاط بهینه بیشتر، تکامل تدریجی تولید گاز، تشکیل فلاک های بزرگ و شدت گرادیان حرارتی بالاتر می باشد. تغییرات جزئی در pH مشاهده شد که حداکثر در حدود یک واحد مشاهده گردید. و تأثیر چندانی در راندمان حذف نداشت.

در خلال الکتروکاتولیز رسوباتی (کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم) در کاتد تشکیل شده بود و یک لایه اکسید بر روی آن مشاهده گردید. بیشترین کارایی و روش مطلوب جهت نگهداری الکتروکاتولیز کردن متناوب و مکانیکی الکتروکاتولیز برای فرآیند پیوسته و در مقیاس بزرگ می باشد که از این روش برای جداسازی رسوبات و جلوگیری از خرده شدن (passivation) الکتروکاتولیز استفاده شد.

در این تحقیق دو مکانیسم اصلی الکتروکاتولیز و الکتروکاتولیز کاتولیز با همدیگر، درصد حذف بالایی از فسفر کل را به دنبال داشتند. با کاربرد پتانسیل الکتریکی ورودی بالا راندمان حذف بالاتری از فسفر کل در زمان ماندهای یکسان (۱۰ دقیقه) بدست می آمد که البته

M^3d^{-1} ۱۳/۸ - ۰/۲ مورد آزمایش قرار گرفت و راندمان حذف مقایسه گردید.

جهت ایجاد اختلاط برای انجام فلوکولاسیون به دلیل وجود اختلاط طبیعی الکترولیت حاصل از توربولانس ناشی از برخاستن میکرو حبابهای گاز در کاتد و گرادیان جرمی تولید شده بوسیله اختلاف درجه حرارت بین مایع نزدیک سطح الکتروکاتولیز (که به خاطر عبور جریان الکتریکی گرم می شوند) و قسمت عمده مایع که سردتر است، احتیاجی به استفاده از همزن نبوده است.

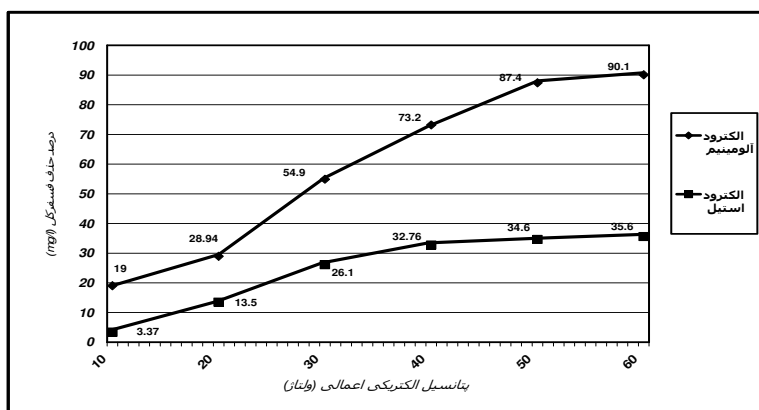
زمان ماند پساب برای انجام فرآیند الکتروکاتولیز ۳۰-۵ دقیقه در نظر گرفته شد. الکتروکاتولیز اصلی به تعداد پنج الکتروکاتولیز استفاده شده از جنس فلز آلومینوم بود. سطح پلیت های مورد استفاده در آزمایشات ۱۴ cm در ۲۴cm و حداکثر و حداقل فاصله الکتروکاتولیزها برابر ۶-۱ سانتی متر بود. سطح و فاصله پلیت ها به گونه ای تنظیم شده بود تا جریان الکتریکی و درصد حذف مورد نظر را تأمین نماید. منبع انرژی، برق مستقیم و بوسیله ترانسی که حداکثر جریان الکتریکی قابل دسترسی توسط آن ۱۲۰۰۰ وات بود تأمین می شد.

میزان غلظت فسفر کل در محدوده ۳۱/۷ - ۸/۳۰ میلی گرم بر لیتر و روش اندازه گیری آن مطابق روش ذکر شده در بخش 4-13-4500 کتاب روشهای استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب (رنگ سنجی و آنالیز مولیبدات) سال ۱۹۹۸ به روش اسپکتروفتومتری می باشد (۹).

یافته ها

در ابتدا آزمایشات با استفاده از الکتروکاتولیز که یک الکتروکاتولیز غیر مصرفی می باشد انجام گردید، مراحل

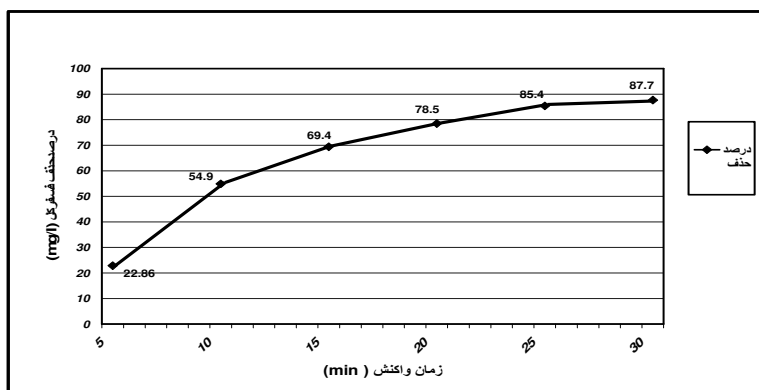
افزایش در پتانسیل الکتریکی با افزایش دما محدود می‌شد (نمودار ۱).



نمودار ۱: روند حذف الکتروشیمیایی فسفر کل نسبت به پتانسیل الکتریکی اعمالی با استفاده از الکتروود استیل، در مقایسه با الکتروود آلومینیومی

الکتریکی پائین‌تر با افزایش زمان ماند راندمان‌های تقریباً یکسان را بدست آورد که این امر نیاز به تأمین حجم بسیار بالایی در طراحی محفظه الکترولیز دارد.

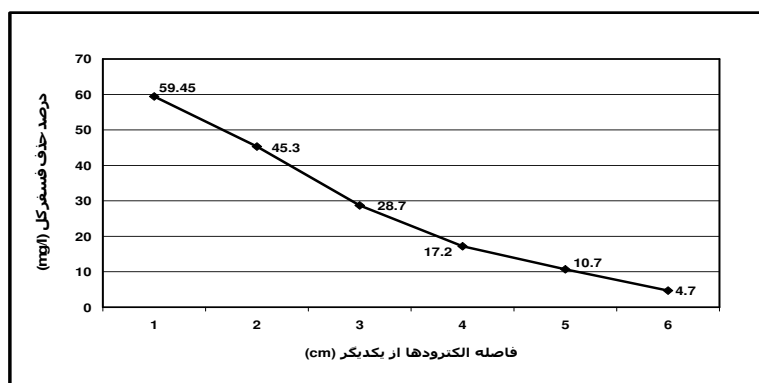
با افزایش زمان انجام فرآیند الکترولیز راندمان حذف نیز افزایش می‌یابد که به دلیل افزایش درجه حرارت در زمان ماندهای بالا در ولتاژ اعمالی ۵۰ ولت، برای بررسی تأثیر زمان در حذف فسفر از پتانسیل الکتریکی ۲۰ ولت استفاده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد (نمودار ۲) می‌توان در پتانسیل‌های



نمودار ۲: روند حذف فسفر کل نسبت به زمان واکنش اعمالی در فرآیند الکتروشیمیایی با پتانسیل الکتریکی ثابت

هیدرولیکی (۱۰ دقیقه) [بررسی گردید. چنانکه مشاهده می‌گردد کاهش فاصله الکترودها از یکدیگر با راندمان حذف رابطه معکوس داشته و با افزایش فاصله، این پارامتر کاهش می‌یابد (نمودار ۳).

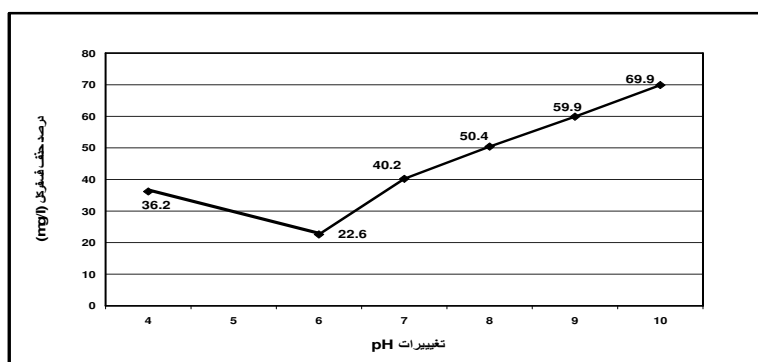
اثر تغییر فاصله الکترودها از یکدیگر در فرآیند الکتروشیمیایی بر راندمان حذف فسفر کل با توجه به ثابت بودن سایر پارامترها، [پتانسیل الکتریکی اعمال شده (۵۰ ولت)، تعداد پلیت‌ها (۲ عدد) و زمان ماند



نمودار ۳: روند حذف فسفر کل نسبت به فاصله مختلف الکترودها از یکدیگر در فرآیند الکتروشیمیایی

افزایش pH در روند حذف فسفر از پساب تأثیر مثبت دارد. روند حذف فسفر نسبت به تغییرات pH در شرایط یکسان از نظر سایر پارامترها در نمودار ۴ نشان داده شده است.

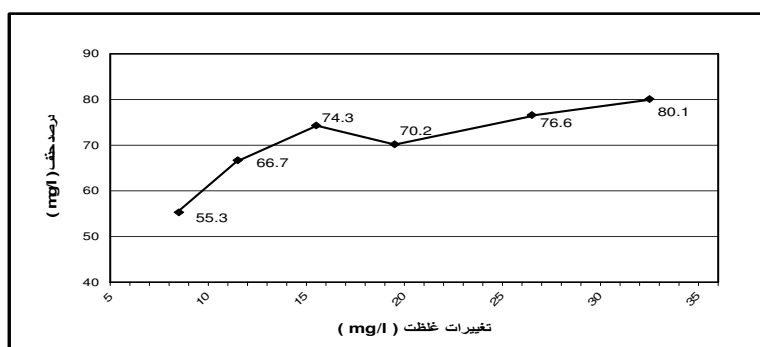
اثر تغییرات pH اولیه (که به کمک محلول‌های هیدروکسید سدیم و اسید سولفوریک تغییر داده شده است) در فرآیند الکتروشیمیایی حذف فسفر بررسی شد که با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان دریافت که



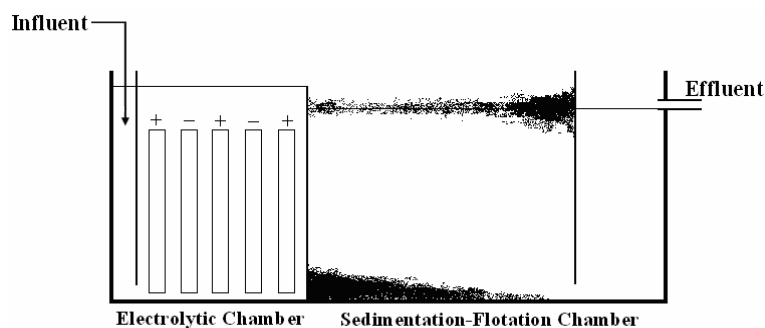
نمودار ۴: روند حذف فسفر کل نسبت به pH های مختلف در فرآیند الکتروشیمیایی

وجود سایر ترکیبات که بر روی هدایت الکتریکی تأثیرگذار هستند و ترکیبات هالوژنه که در اثر فرآیند الکترولیز احیاء شده و تولید اکسیدانهای قوی می‌نمایند) مرتبط دانست (نمودار ۵).

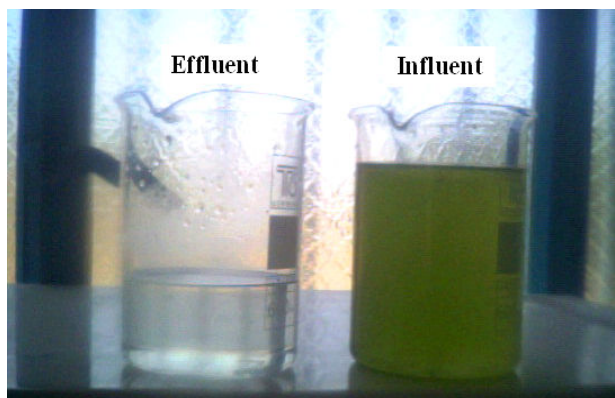
در برخی موارد علی‌رغم افزایش غلظت فسفر در نمونه (۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، روند حذف دارای شتاب معمول نمی‌باشد که این امر را می‌توان به سایر پارامترهای مداخله‌کننده در حذف فسفر (نوع ترکیبات فسفر موجود در پساب از نظر سهم فسفر آلی و معدنی،



نمودار ۵: روند حذف فسفر کل نسبت به غلظتهای مختلف فسفر اولیه ورودی به فرآیند، در فرآیند الکتروشیمیایی



شکل ۱: پابلوت طراحی شده الکترولیز



شکل ۲: مقایسه تصویری جریانهای ورودی و خروجی از سیستم الکترولیز

بحث

همچنین منجر به افزایش احتمال برخوردها و در نتیجه انعقاد بهتر در دامنه وسیعتری از غلظت می شوند.

چنانچه نتایج نشان می دهد در pH های بالاتر از ۶ بازده حذف فسفر بهبود می یابد که با توجه به ترسیب شیمیایی فسفر در pH های بالا قابل انتظار است. ضمناً با کاهش pH از ۶ به ۴ بازده حذف فسفر دارای افزایش بوده است که این افزایش را می توان به آزاد شدن گاز هیدروژن و کمک به مکانیسم الکتروفلوتاسیون و نیز رسوب زدایی از سطح الکترودها و کمک به مکانیسم الکتروکواگولاسیون مرتبط دانست.

نتیجه بدست آمده در تحقیق ما (۹۰/۱٪ حذف فسفر) که در فرآیند الکترولیز با استفاده از الکترودها آلومینیمی برای زمان ماند ۱۰ دقیقه و ۲ سانتیمتر فاصله پلیت ها در سیستم پیوسته بدست آمده است بسیار بالاتر از نتیجه ای است که در تحقیق انجام شده توسط مهمت در سال ۲۰۰۴ در ترکیه بر روی پساب صنایع کاغذ سازی صورت پذیرفت. مهمت با استفاده از الکترودهای آلومینیم در فرآیند الکترولیز با رعایت زمان ماند ۷/۵ دقیقه صرفاً توانست به ۷۰٪ حذف فسفر دست یابد، در

در بررسی اثر فلزات مصرفی و غیر مصرفی می توان گفت که با روش الکتروکواگولاسیون و با کاربرد پلیت های آلومینیم در آند که عامل ایجاد کننده فلاک به داخل محلول اضافه می کرد، راندمان حذف بالاتری از فسفر کل (۹۰/۱ درصد) بدست خواهد آمد تا در حالتی که از مکانیسم الکتروفلوتاسیون به تنهایی استفاده می شد که راندمان حذف به بیشتر از ۴۰-۳۵٪ برای فسفر کل نمی رسید (با کاربرد فلز استیل در کاتد و آند).

در بررسی اثر غلظت می توان استنباط کرد که هر چه غلظت فسفر کل در پساب ورودی بالاتر باشد در صورتی که همه شرایط ثابت باشد درصد حذف بالاتر در مدت زمان کوتاهتری میسر است و دلیل آن این است که در غلظتهای اندک فسفر برای تشکیل ذره های قابل ته نشینی، تعداد کلونیدهای حاضر کافی نخواهد بود. حتی اگر بارهای سطحی خنثی شوند در چنین حالتی عملیات فلوکولاسیون آغاز نمی شود. در غلظتهای بیشتر فسفر، ناپایداری در اثر جذب سطحی ایجاد شده و به فاصله اندکی یونها خنثی می شوند. غلظتهای بیشتر فسفر

انجام شده است، و نهایتاً در شرایط بهینه، ۹۵ درصد فسفر کل در زمان ماند ۱۵ دقیقه در سیستم غیر پیوسته حذف شده؛ که در مقایسه با نتایج این تحقیق راندمان حذف بالاتری بدست آمده است (۱۲).

همچنین در تحقیق دیگری توسط ربانی خواه (سال ۱۳۸۲) کاربرد توام انرژی خورشیدی، فرآیند الکتروشیمیایی و سیکل مرطوب سازی- رطوبت زدایی در تصفیه پیشرفته فاضلاب انجام شده است نتایج حذف فسفر کل در دو مقطع آزمایشگاهی و پایلوت با استفاده از الکتروود آهن و آلومینیم به ترتیب ۹۳ و ۸۹ درصد شده است. جریان الکتریکی بهینه ۱/۷۸ میلی آمپر بر سانتیمتر مربع و زمان ماند ۱۵ دقیقه بوده است، همچنین با افزایش pH از ۵/۵ به بالا، حذف فسفر تشدید شده است. لازم به ذکر است که در این تحقیق اثر مواد منعقدکننده نیز بررسی شده است که تأثیر چندانی در حذف فسفر کل نداشته است و باز هم مشاهده می گردد که علی رغم تک فرآیندی بودن روش (الکترولیز) بکار گرفته شده در تحقیق این مقاله و نتایج بدست آمده، نیازی به ترکیب سایر روشها با فرآیند الکتروشیمیایی یا اضافه نمودن مواد منعقدکننده نمی باشد و به بیان دیگر فرآیند الکترولیز به تنهایی قادر است استانداردهای تخلیه را برآورد نماید (۱۳).

نتیجه گیری

فرآیند الکترولیز با در نظر گرفتن مزایایی از قبیل جنبه های بهداشتی و زیست محیطی مطلوب و بازده بالا در حذف انواع آلاینده ها از آب و فاضلاب و سایر مزایای آن، چشم انداز بسیار مطلوبی در صنعت آب و فاضلاب کشور دارد. وجود غلظتهای بالای انواع آلاینده های شیمیایی، سنتتیک و سمی که دارای اثر

این تحقیق سیستم از نوع ناپیوسته و فاصله پلیت ها ۲ سانتیمتر بوده است (۹).

در مطالعه دیگری که توسط فنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ در کشور ژاپن بر روی فاضلاب صنعتی صورت گرفت محققین توانستند با استفاده از فرآیند ترکیبی تخمیر بیولوژیکی متان و متعاقب آن استفاده از فرآیند الکترولیز نسبت به حذف ازت آمونیاکی، کل نیتروژن کجدا، فسفر و کل کربن آلی در تمام موارد به درصد حذف بالای ۹۰ درصد دست یافته و در مورد کلیفرمها به حذف کامل دست یابند. چنانچه ملاحظه می گردد باز هم با توجه به اینکه آزمایشات انجام شده در تحقیق این مقاله تک فرآیندی بوده است راندمان بالای ۹۰ درصد قابل حصول بوده است (۱۰).

کای نیلسون و دکتر دلیواسمیت در سال ۲۰۰۵ در کانادا با استفاده از روش توسعه یافته الکتروفلوئاسیون و با بکارگیری همزمان ازن در اکسیداسیون فاضلاب شهری توانستند فسفر کل را بطور موفقیت آمیزی با مقدار بالاتر از ۹۱ درصد حذف نمایند، در این تحقیق آزمایشات در سیستم غیر پیوسته انجام شد و الکتروود استفاده شده آهن و آلومینیم بوده است. بهترین نتیجه در حذف فسفر کل با استفاده از الکتروود آلومینیم تحت جریان ۱۶۰ آمپر بدست آمده است. نتایج این آزمایش مشابه این مقاله بوده و راندمانهای بدست آمده نیز نزدیک بهم می باشند، با این تفاوت که در این مقاله فرآیند الکترولیز به تنهایی به کار گرفته شده است (۱۱).

تعیین کارایی مستقیم و غیر مستقیم فرآیندهای الکتروشیمیایی جهت حذف ترکیبات فسفردار توسط الیزابت پتروسی، سی مرلی و دی مونترو (سال ۲۰۰۶) با اضافه نمودن همزمان فنتون در الکترولیت و تنظیم pH پایین تر از ۱/۵ برای جلوگیری از ته نشینی یونهای فلزی

شرایط، کارایی مطلوبی در حذف فسفر و دیگر مواد آلاینده مشابه از آب و فاضلاب را دارد.

تشکر و قدردانی

محققین لازم می‌دانند مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را از مسئولین دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی تهران در قبال اعطای فرصت لازم و تأمین بودجه مطالعه ابراز نمایند.

بازدارندگی بر فعالیت بیولوژیکی میکروارگانیسم‌ها می‌باشند، کاربرد این سیستم را در تصفیه فاضلابهای صنعتی و کشاورزی بسیار زیاد نموده و در محل‌هایی که عملاً کاربرد فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی به لحاظ وجود اینگونه آلاینده‌ها با محدودیتهای زیادی روبروست مطلوب و از درجه اهمیت بالایی برخوردار است.

در نهایت می‌توان گفت؛ که فرآیند الکترولیز با استفاده از پلیتهای مصرفی آلومینیم و کنترل سایر

References

1. Hammer M.J. Water and wastewater technology. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. p. 487-489.
2. Peavy H, Rowe D, Tchobanogloous G. Environmental engineering. New York. Mc Grow-Hill, 1985. p. 628-643.
3. Bitton G. Wastewater microbiology, New York: Wily-Liss, 1999.p. 350-361.
۴. هشیاری ب، اسدی م، سبزی علی ا. استفاده از فرآیند انعقاد، لخته سازی و شناورسازی الکتریکی در تصفیه آب و فاضلاب. مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی بهداشت محیط، انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی تهران. ۱۳۸۴.
5. K Rajeshwar, J Ibanez. Environmental Electrochemistry: Academic Press-1997. p. 361-497.
6. Peter H, Geoffrey B and Cynthia M. Electrocoagulation as a wastewater treatment. process and device for separating solid and lipid matter from industrial wastewater by electroflotation. The third annual Australian Environmental Engineering Research Event. 23-26 November Castlemaine, Victoria 1999, (online 2006).
7. Holt P, Barton G and Mitchell C. Electrocoagulation as waste water treatment. The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology. The third annual Australian Environmental Engineering Research. 23-26 November castlemaine Victoria 1999, (online 2006).
8. Bustos Aragon A, Borja Padilla R and Fiestas Ros de Ursinos AJ. Experimental study of the recovery of algae cultured in effluents from the anaerobic biological treatment urban wastewater. Res Conserv and Recyc 1992; 6: 292-302.
9. American Public Health Association, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water & wastewater. 18 th ed. Washington: 1998. p. 4500-4-13.
10. G.U. Fen Bilimleri Dergisi. The removal of some inorganic compounds from paper mill effluents by the electro coagulation method. Journal of Science 2004; 17(3):85-99.
11. Feng CP, Sugiura N, Inoue T, Maekawa T. Combination of electrochemical and biological method for treating stock raising wastewater, Global Threats to Large Lakes: Managing in an environment of instability and unpredictability. 2003. p. 268-269.
12. Kai Nielson and DW Smith. Ozone-enhanced electroflocculation in municipal wastewater treatment. J Environ Eng Sci 2005; 65-76.
۱۳. ربانی‌خواه د. کاربرد توأم انرژی خورشیدی، فرآیند الکتروشیمیایی و سیکل مرطوب سازی- رطوبت زدایی در تصفیه پیشرفته فاضلاب. پایان نامه دکترای بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۲.