

بررسی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر آلی از فاضلاب دستساز

سماحه دهقان^۱، محمد باقر میران زاده^{۲*}، داوودخواه ربانی^۳

خلاصه:

سابقه و هدف: ترکیبات فسفر از جمله آلاینده‌های بالقوه منابع آب می‌باشند که از طریق راه‌های مختلف از جمله تخلیه فاضلاب وارد منابع آب می‌شوند. اگرچه فرآیندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی جهت زدایش فسفر آلی از فاضلاب وجود دارد، لیکن امروزه استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی توجه بیشتری را به خود معطوف داشته است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی بر روی نمونه‌های فاضلاب دست‌ساز حاوی فسفر آلی و در مقیاس آزمایشگاهی در سیستم بسته انجام شد. تاثیر زمان واکنش و غلظت اولیه فسفر آلی بر روی فرآیند الکتروشیمیایی جهت زدایش فسفر آلی مورد بررسی قرار گرفت. الکترودهایی از جنس فولاد و جریان الکتریکی ثابت ۰/۶ آمپر و زمان واکنش بین ۱۰ تا ۶۰ دقیقه و غلظت اولیه فسفر آلی ۲ تا ۳۲ میلی-گرم در لیتر مورد تحقیق واقع شد.

نتایج: نتایج تحقیق نشان داد که در زمان واکنش ۵۰ دقیقه در تمامی غلظت‌های اولیه میزان فسفر آلی باقیمانده بعد از فرآیند الکتروشیمیایی به کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر (استاندارد تخلیه پساب به آب‌های پذیرنده در ایران) کاهش یافته است. همچنین، درصد حذف فسفر آلی در زمان واکنش ۶۰ دقیقه و غلظت‌های اولیه متفاوت، بین ۹۳/۷۳ تا ۹۸/۷۲ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که فرآیند الکتروشیمیایی در جریان الکتریکی ثابت ۰/۶ آمپر و با استفاده از الکترودهای فولادی قابلیت رساندن غلظت فسفر آلی به کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر را دارا می‌باشد. همچنین، زمان بهینه واکنش برای زدایش فسفر آلی ۵۰ دقیقه است.

واژگان کلیدی: فرآیند الکتروشیمیایی، فسفر آلی، فاضلاب

دو ماه‌نامه علمی - پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۱، صفحات ۸۵-۷۹

مقدمه

منبع اصلی فسفر ورودی به آب‌های پذیرنده، کودهای مصرفی در کشاورزی، ریزش‌های جوی، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و رواناب‌های طبیعی می‌باشد [۶-۳]. از نظر شیمیایی اشکال معمول فسفر در فاضلاب، اورتوفسفات، پلی‌فسفات و فسفر آلی می‌باشد [۱۱، ۳، ۷-۱۱]. ورود فسفات همراه با نترات به محیط زیست به-خصوص به منابع آبی سبب ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون (Eutrophication) می‌گردد [۲، ۱۸، ۳، ۷-۱۱] که در بیشتر موارد فسفر یک فاکتور محدود کننده در پیدایش این پدیده محسوب می‌شود نه نیتروژن، زیرا تثبیت نیتروژن به‌طور طبیعی به‌وسیله دی-آزوتروف‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین بیشتر مطالعات اخیر بر روی حذف مواد مغذی بر حذف فسفر متمرکز شده است [۷، ۸، ۱۰]. پدیده اوتروفیکاسیون از طریق مصرف اکسیژن محلول و نابودی حیات آبی روی کیفیت آب اثر می‌گذارد، لذا حذف فسفات از پساب‌های صنعتی و شهری برای رسیدن به حد استاندارد تخلیه فسفر جهت کنترل اوتروفیکاسیون ضروری است. طبق استاندارد دولت فدرال آمریکا مقدار فسفات آب نباید به بیش از ۰/۱-۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر برسد [۵] و طبق استاندارد حفاظت از محیط زیست ایران حداکثر غلظت مجاز فسفر باقیمانده در فاضلاب شهری تصفیه شده جهت تخلیه ۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد [۱۹]. عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده برای حذف فسفر و رساندن غلظت آن به حد استاندارد

ترکیبات فسفر از جمله آلاینده‌های بالقوه آب‌های پذیرنده می‌باشند که از طریق فاضلاب‌های مختلف وارد این منابع می‌شوند [۱]. فسفر یکی از ریزمغذی‌های اصلی و زنده است که در ATP، غذاهای سلولی، دندان و استخوان یافت می‌شود [۲]. غلظت میانگین فسفر کل در فاضلاب خام شهری ۱۰-۸ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که ۴۰ درصد آن آلی و ۶۰ درصد آن معدنی بوده، حدود ۱۰ درصد آن در ته نشینی اولیه حذف شده و ۲۰-۱۰ درصد دیگر در تصفیه بیولوژیکی حذف می‌شود. بنابراین ۷۰ درصد باقیمانده فسفر اغلب به‌وسیله خروجی تصفیه ثانویه تخلیه می‌شود.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

^۲ دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان
^۳ استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

*نشانی نویسنده مسئول:

کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب راوندی، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۹۱۳۱۶۱۲۸۵۲ | **دورنویس:** ۰۳۶۱ ۵۵۵-۱۱۱

پست الکترونیک: miranzadeh_mb@kaums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۶/۱۴ | **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۰/۸/۲۲

لیتر فسفر آلی صورت گرفته و برای هر غلظت ۵ بار تکرار شد (از آنجایی که در فاضلاب شهری و صنعتی غلظت فسفر به بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و حتی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌رسد [۴]) در این مطالعه غلظت فسفر به نحوی انتخاب شد که محدوده فسفر فاضلاب صنعتی را نیز شامل شود. برای تهیه نمونه‌های اولیه آب آلوده، مقادیر مناسب از نمک آدنوزین مونو فسفات به آب خام افزوده شد. آب خام مورد استفاده دارای هدایت الکتریکی برابر با ۲۰۷۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر، pH ۷/۲، کل جامدات محلول ۱۲۴۲ میلی‌گرم در لیتر، دمای ۲۱ درجه سلسیوس بود و سختی کل و سختی کلسیم آن به ترتیب برابر با ۵۱۶ و ۳۱۸ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم و فسفات آن برابر با ۰/۰۴۹ میلی‌گرم در لیتر بر حسب فسفر بود. در هر بار فرآیند، ۲۰۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب دست‌ساز با غلظت مشخص در یک سلول الکترولیتی قرار داده شد و با کمک الکترودهای فولادی، واکنش الکتروشیمیایی بر آن اعمال گردید. قدرت ورودی توسط آمپرمتر و ولت متر کنترل شد. ۸ عدد الکتروده فولادی به ابعاد $۱۵ \times ۰/۰۲ \times ۲/۵$ سانتی‌متر به‌عنوان کاتد و آند استفاده شد. از اسید کلریدریک ۶ نرمال جهت تمیز کردن الکترودها قبل از شروع آزمایشات استفاده گردید. هر کدام از این الکترودها به میزان ۱۳ سانتی‌متر در نمونه‌ها قرار گرفتند و فاضلاب ورودی به سلول الکترولیتی توسط یک همزن مغناطیسی به‌طور متناوب با ۳۰۰ دور در دقیقه مخلوط می‌شد. تمام آزمایشات در محدوده درجه حرارت آزمایشگاه (حدود ۲۱ درجه سلسیوس) انجام پذیرفت. برق مستقیم با جریان ثابت ۰/۶ آمپر که در مطالعات محققین دیگر به‌عنوان شدت جریان بهینه معرفی شده بود [۳، ۲۵، ۲۴] در زمان واکنش ۱۰ تا ۶۰ دقیقه بر هر حجم فاضلاب ۲۰۰۰ میلی‌لیتری تهیه شده با غلظت مشخص اولیه اعمال شد و در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه یک‌بار نمونه برداری صورت گرفت. برای تایید دقت، آزمایشات برای هر غلظت ۵ مرتبه تکرار گردید. سپس فسفر موجود در نمونه‌ها را با استفاده از روش هضم پرسولفات (استاندارد متود 4500-P.B. 5) تبدیل به اورتوفسفات نموده و اورتوفسفات تشکیل شده به روش کلرید قلع (استاندارد متود 4500 P D) بر حسب فسفر تعیین مقدار شد [۲۶]. مقدار جذب در این روش در طول موج ۶۹۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR/2010 اندازه‌گیری شد. کاهش باقیمانده فسفر کل به کمتر از ۱ mg/L-P (استاندارد) به‌عنوان حذف آن تلقی شد. برای تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم افزار SPSS و آزمون آماری طرح آمیخته آنالیز واریانس با اندازه‌گیری‌های تکراری Mixed Design ANOVA Model استفاده شد.

تخلیه روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشند [۷، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۰، ۲۱]. روش‌های فیزیکی نظیر فیلتراسیون، اولترا فیلتراسیون، اسمز معکوس و تعویض یون می‌باشند که بسیار گران و یا ناکارآمد هستند و فقط ۱۰ درصد فسفر کل را حذف می‌کنند [۵، ۶، ۱۸، ۲۲]. روش‌های بیولوژیکی نیز به‌علت زمان ماند طولانی، کارایی به‌نسبت پایین و مشکلات مربوط به بهره برداری امروزه کمتر استفاده می‌شوند. روش شیمیایی شامل رسوب‌دهی شیمیایی و جذب سطحی با استفاده از نمک‌های آهن و آلومینیوم می‌باشد [۵، ۱۸]. تولید لجن زیاد، هزینه بهره برداری بالا، کاهش قدرت ته‌نشینی و آب‌گیری لجن و تغییر pH از مشکلات روش شیمیایی است [۳]. به‌دلیل مشکلات ذکر شده امروزه استفاده از روش الکتروشیمیایی به‌منظور تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی توجه بسیاری را به‌خود معطوف داشته است. این روش به‌دلیل سازگاری با محیط زیست، امکان تصفیه مایعات، جامدات و گازها از توجه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این روش عامل اصلی تصفیه انتقال الکترون بوده و با عبور جریان الکتریکی واکنش‌های اکسیداسیون و احیا در داخل سلول‌های الکتروشیمیایی صورت می‌گیرد. ویژگی‌های این روش در کاربرد آسان، تجهیزات ساده، زمان ماند کوتاه، کاهش یا حذف تجهیزات اضافه نمودن مواد شیمیایی، کاهش حجم لجن، سازگاری با محیط زیست، چند منظوره بودن، بازدهی انرژی، ایمن بودن، انتخاب‌گری، سازگاری با تکنولوژی و ارزانی نسبی می‌باشد [۱، ۱۰-۱۲، ۱۴، ۱۸، ۱۶، ۲۳، ۲۴]. فرآیند الکتروکواگولاسیون به‌طور موفقیت آمیزی برای تصفیه بسیاری از فاضلاب‌ها در مقیاس صنعتی مثل فاضلاب‌های حاوی روغن و گریس و فاضلاب‌های رستوران‌ها به‌کار برده شده است [۲۲]. این فرآیند هم‌چنین به‌طور موفقیت آمیزی برای حذف فلزات، سختی آب آشامیدنی، تصفیه فاضلاب رنگرزی، فاضلاب صنایع نساجی و فاضلاب‌های حاوی رنگ‌های صنعتی به‌کار رفته است [۲۳]. اخیراً نیز حذف اورتوفسفات به‌روش الکترو-شیمیایی توسط ربانی و همکاران بررسی شده [۳، ۲۴] و تاکنون بر روی حذف اختصاصی فسفر آلی از فاضلاب تحقیقی صورت نگرفته است. لذا، این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر آلی از فاضلاب دست‌ساز طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی است که در مقیاس آزمایشگاهی Bench Scale و در سیستم بسته Batch System در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان در سال ۱۳۹۰ بر روی نمونه‌های فاضلاب دست‌ساز با غلظت‌های محاسباتی متفاوت ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۳۲ میلی‌گرم در

نتایج

۱ شاخص‌های آماری مقادیر باقیمانده فسفر آلی بر حسب غلظت‌های اولیه ۲-۳۲ mg/L-P و زمان واکنش ۶۰-۱۰ دقیقه بعد از فرآیند الکتروشیمیایی ارائه شده است.

این مطالعه به منظور بررسی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی جهت زدایش فسفر آلی از فاضلاب دست‌ساز در شدت جریان ثابت ۰/۶ آمپر و زمان‌های واکنش متفاوت انجام گرفت. در جدول شماره

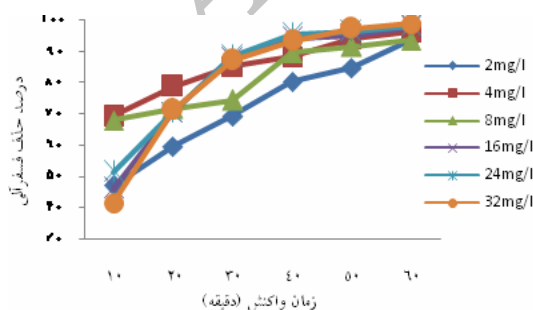
جدول شماره ۱- شاخص‌های آماری مقادیر باقیمانده فسفر آلی بر حسب غلظت‌های اولیه ۲-۳۲ mg/L-P و زمان واکنش ۶۰-۱۰ دقیقه بعد از

فرآیند الکتروشیمیایی

زمان واکنش (min)	غلظت اولیه mg/L-P					
	۳۲	۲۴	۱۶	۸	۴	۲
۰	۳۱/۹۱±۰/۵۱	۲۳/۹۲±۰/۳۶	۱۵/۸۵±۰/۲۳	۸/۰۴±۰/۱۸	۴/۰۸±۰/۱۲	۲/۰۸±۰/۱۱
۱۰	۱۸/۶۶±۰/۴۱	۱۱/۶۴±۰/۶۱	۸/۵۶±۰/۱۳	۲/۵۸±۰/۱۷	۱/۲۶±۰/۰۶	۱/۱±۰/۰۴
۲۰	۹/۲±۰/۰۵	۷/۰۴±۰/۲۵	۴/۶۶±۰/۱۹	۲/۵۸±۰/۱۱	۰/۸۷±۰/۰۴	۰/۸۴±۰/۰۲
۳۰	۴/۱۲±۰/۰۵۶	۲/۷۹±۰/۱۶	۱/۸۷±۰/۱۳	۲/۰۷±۰/۰۹	۰/۶±۰/۰۴	۰/۶۴±۰/۰۳
۴۰	۲/۱۷±۰/۱۵	۱/۰۸±۰/۰۴	۰/۹۳±۰/۰۶	۰/۸۴±۰/۰۱	۰/۴۸±۰/۱۳	۰/۴۱±۰/۰۳
۵۰	۰/۹۲±۰/۰۴	۰/۹±۰/۴۴	۰/۷۸±۰/۰۵	۰/۶۹±۰/۰۲	۰/۲۵±۰/۰۱	۰/۳۲±۰/۰۲
۶۰	۰/۴۱±۰/۰۷	۰/۴۷±۰/۰۲	۰/۳۸±۰/۰۲	۰/۵۳±۰/۰۴	۰/۱۶±۰/۰۱	۰/۱۳±۰/۰۱

* تعداد تکرارها در هر زمان واکنش برای هر غلظت ۵ بار می‌باشد.

واکنش ۶۰ دقیقه است که در این زمان واکنش درصد حذف فسفر آلی بالاتر از ۹۰ درصد بوده است. علاوه بر این حداقل درصد حذف از ۴۰ درصد بیشتر بوده است. باتوجه به نمودار مشاهده می‌شود که غلظت‌های اولیه ۲، ۴، ۸ میلی‌گرم در لیتر از فسفر آلی شیب‌های متفاوتی داشته‌اند؛ در حالی‌که در غلظت‌های اولیه ۱۶، ۲۴ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر شیب خطوط تقریباً موازی بوده است. بنابراین، احتمال می‌رود که در غلظت‌های ۱۶، ۲۴ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر اثر متقابل بین زمان و غلظت مشاهده نشود. لذا، تجزیه و تحلیل‌های آماری برای غلظت‌های اولیه ۱۶، ۲۴ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر مجدداً به صورت مجزا انجام شد که نشان دهنده اثر متقابل بین زمان و غلظت بوده است.



نمودار شماره ۱- درصد حذف فسفر آلی در مقابل زمان بر حسب زمان واکنش ۶۰-۱۰ دقیقه و غلظت‌های اولیه ۲-۳۲ mg/L-P با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی

همان‌طوری که در جدول مشخص است، بیشترین غلظت فسفر آلی باقیمانده در بین تمامی غلظت‌های اولیه در زمان واکنش ۱۰ دقیقه و کمترین غلظت در زمان واکنش ۶۰ دقیقه مشاهده می‌شود. کمترین غلظت فسفر آلی باقیمانده بعد از فرآیند الکتروشیمیایی در زمان واکنش ۶۰ دقیقه و مربوط به غلظت اولیه ۲ میلی‌گرم در لیتر بوده است که مقدار آن برابر با ۰/۱۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. هم‌چنین، در غلظت‌های اولیه ۲ و ۴ میلی‌گرم در لیتر بعد از ۲۰ دقیقه، در غلظت‌های ۸ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر بعد از ۴۰ دقیقه و در نهایت در غلظت‌های ۲۴ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر بعد از ۵۰ دقیقه غلظت فسفر آلی باقیمانده در فاضلاب دست‌ساز به کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر (استاندارد تخلیه) رسیده است. علاوه بر این ملاحظه می‌شود که با افزایش غلظت اولیه میزان تاثیر زمان بر فرآیند حذف افزایش معنی‌داری یافته است. آنالیز آماری نشان دهنده اثر متقابل بین زمان واکنش و غلظت اولیه فسفر آلی می‌باشد ($P < 0/001$). هم‌چنین، غلظت‌های باقیمانده با افزایش زمان کاهش یافته که اثر معنی‌دار زمان بر کاهش غلظت‌های باقیمانده فسفر آلی را نشان می‌دهد ($P < 0/001$). با حذف اثر زمان تفاوت غلظت‌های مختلف بر کاهش غلظت فسفر آلی باقیمانده، معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0/001$). در نمودار شماره ۱ درصد حذف فسفر آلی در مقابل زمان بر حسب زمان واکنش ۶۰-۱۰ دقیقه و غلظت‌های اولیه ۲-۳۲ mg/L-P با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی نشان داده شده است. نمودارها نشان می‌دهد بیشترین درصد حذف فسفر آلی در فرآیند الکتروشیمیایی با زمان واکنش ۶۰-۱۰ دقیقه، مربوط به زمان

بحث

انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مواد منعقد کننده بر روی فرآیند الکتروشیمیایی حذف فسفر مزایای ویژه‌ای نداشته و فرآیند الکتروشیمیایی به‌تنهایی می‌تواند در حدود ۹۳ درصد از فسفر پساب را بدون نیاز به تغییر در مشخصات اولیه نمونه‌های پساب کاهش دهد؛ نتایج این تحقیق نیز با نتایج مطالعه ما تقریباً هم‌خوانی دارد [۳]. هم‌چنین، نتایج به‌دست آمده از این تحقیق بسیار نزدیک به نتایج تحقیق Vasudevan و همکاران [۱۱] و Kobya و همکاران [۱۷] بوده است. Vasudevan و همکاران در تحقیقی در زمینه احیای آب آلوده به فسفات با استفاده از فرآیند الکتروکوا-گولاسیون با آلومینیوم، آلیاژ آلومینیوم و فولاد نرم به‌عنوان آند و فولاد ضد زنگ به‌عنوان کاتد انجام دادند که نتایج، حداکثر بازده حذف فسفات را در pH برابر ۷/۳ و استفاده از الکتروکوا-گولاسیون آند و دانسیته جریان ۰/۲ آمپر بر دسی متر مربع نشان داد که برابر با ۹۹ درصد بوده است و در آن غلظت فسفات از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر به حد استاندارد آن (۱ میلی گرم در لیتر) رسید [۱۱]. در تحقیق Kobya و همکاران در زمینه تصفیه آب شستشو از روکش فسفات روی با استفاده از فرآیندهای الکتروکوا-گولاسیون پیوسته نیز نتایج نشان داد که شرایط بهینه بهره برداری برای حذف فسفات و روی، دانسیته جریان ۶۰ آمپر بر مترمربع، pH ۵ و زمان بهره برداری ۲۵ دقیقه برای الکتروکوا-گولاسیون و دانسیته جریان ۶۰ آمپر بر متر مربع، pH ۳ و زمان بهره برداری ۱۵ دقیقه با الکتروکوا-گولاسیون می‌باشد. بالاترین کارایی حذف فسفات و روی در شرایط بهینه، ۹۷/۷ و ۹۷/۸ درصد برای الکتروکوا-گولاسیون و ۹۹/۸ و ۹۶/۷ درصد برای الکتروکوا-گولاسیون گزارش شده است [۱۷]. در ضمن نتایج این تحقیق در زمینه حذف الکتروشیمیایی فسفر، بسیار بالاتر از نتایجی است که Kim و همکاران در زمینه تاثیر فرآیند حذف فسفر به‌روش الکتروکوا-گولاسیون و قابلیت نفوذپذیری غشایی در یک راکتور بیولوژیک غشایی (MBR) در مقیاس پایلوت بدان دست یافتند. در این تحقیق تاثیر فرآیند الکتروکوا-گولاسیون بر حذف فسفات با غلظت ورودی ۳/۱ میلی گرم در لیتر بررسی شد که با افزودن منعقد کننده در خروجی غلظت ورودی به ۰/۶ میلی گرم در لیتر رسید؛ یعنی راندمان حذف ۷۹/۹ درصد و با غلظت ورودی ۲/۵ میلی گرم در لیتر و بدون افزودن منعقد کننده با کارایی حذف ۴۱ درصد به ۱/۵ میلی گرم در لیتر در خروجی رسید. در سیستم MBR همراه با فرآیند الکتروکوا-گولاسیون، فسفر از غلظت اولیه ۲/۴ با راندمان حذف ۷۷/۲ به ۰/۵ میلی گرم در لیتر در خروجی رسید و بدون فرآیند الکتروکوا-گولاسیون غلظت فسفر از ۲/۲ در ورودی به ۰/۹ در خروجی رسید. دبی فاضلاب ورودی ۵۰ متر مکعب در روز، زمان ماند هیدرولیکی و سلولی به‌ترتیب

نتایج این مطالعه نشان داد که فرآیند الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروکوا-گولاسیون در زدایش فسفر آلی از فاضلاب دست-ساز بسیار موثر می‌باشد. هم‌چنین، این فرآیند قابلیت کاهش غلظت فسفر آلی به زیر ۱ میلی گرم در لیتر که استاندارد مورد قبول برای تخلیه پساب به آب‌های پذیرنده جهت جلوگیری از پدیده اوتروفیکاسیون است [۱۹] را دارا می‌باشد. براساس نتایج این مطالعه روند بررسی غلظت باقیمانده فسفر آلی در فاضلاب دست-ساز نشان می‌دهد که در فرآیند الکتروشیمیایی با افزایش زمان واکنش، غلظت باقیمانده فسفر آلی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، حداقل زمان مورد نیاز یا زمان بهینه‌ای که طی آن در کلیه غلظت‌های اولیه ۲-۳۲ میلی گرم در لیتر میزان فسفر آلی باقیمانده به کمتر از ۱ میلی گرم در لیتر رسیده است، ۵۰ دقیقه می‌باشد. از نظر درصد حذف فسفر آلی در فرآیند الکتروشیمیایی، یافته‌های این تحقیق نشان داد که با افزایش زمان واکنش درصد حذف فسفر آلی در غلظت‌های اولیه مختلف افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که حداقل درصد حذف در تمامی غلظت‌های اولیه بعد از ۱۰ دقیقه و حداکثر درصد حذف بعد از زمان واکنش ۶۰ دقیقه حاصل شده است. در این مورد حداقل و حداکثر درصد حذف در بین غلظت‌های اولیه ۲-۳۲ میلی گرم در لیتر، به‌ترتیب برابر با ۴۱/۵۲ و ۹۸/۷۲ درصد بوده است. نتایج آزمون‌های آماری در مطالعه حاضر در حذف فسفر آلی از فاضلاب دست ساز نشان داد بین غلظت‌های مختلف تفاوت معنی‌دار آماری مشاهده شده است ($P < 0/001$). درصد حذف نیز در ۶ مرحله مختلف زمانی متفاوت بوده است ($P < 0/001$) و هم‌چنین اثر متقابل بین زمان و غلظت مشاهده شده است ($P < 0/001$). در تحقیقی که ربانی و همکاران در زمینه بررسی اثر فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر از پساب تصفیه شده خروجی از سیستم لجن فعال انجام دادند، راندمان حذف فسفر کل به ۹۳/۱۱ درصد رسید که نتایج این تحقیق با نتایج مطالعه حاضر تقریباً هم‌خوانی دارد [۲۴]. نتایج مطالعات محوی و همکاران در زمینه بررسی کارایی روش الکترولیز (روش تجزیه آلاینده‌ها در فرآیند الکتروشیمیایی) در حذف فسفر از پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب نشان داد که کارایی فرآیند الکترولیز با استفاده از الکتروکوا-گولاسیون در زدایش فسفر در زمان واکنش ۱۰ دقیقه، ۹۰/۱ درصد بوده که این کارایی با نتایج مطالعه ما کمی تفاوت دارد؛ علت آن احتمالاً به‌دلیل متفاوت بودن زمان واکنش و نیز جنس الکترودها بوده است [۹]. در مطالعه‌ی مصدقی‌نیا و همکاران که به‌منظور بررسی اثر مواد منعقد کننده بر فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر از پساب خروجی از لجن فعال

ساز نشان داد که در فرآیند الکتروشیمیایی با افزایش زمان واکنش غلظت باقیمانده فسفر آلی کاهش می‌یابد. همچنین، یافته‌های این پژوهش نشان داد با افزایش غلظت اولیه، مدت زمان بیشتری برای کاهش غلظت‌ها و رساندن آن‌ها به حد استاندارد تخلیه فسفر لازم است.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کاشان به‌واسطه تامین بودجه لازم طرح و همچنین سایر کسانی که در انجام این مطالعه همکاری داشته‌اند، اعلام می‌گردد. این پژوهش بخشی از یافته‌های پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد بوده و در طرح تحقیقاتی شماره ۹۰۰۳ به- ثبت رسیده است.

References:

- [1] Mahvi AH, Mesdaghia Nia AR, Karkani F. Biological Phosphorous removal from wastewater using continuous flow sequency batch reactors (SBR). *J Shahid Sadoughi Univ Med Sci* 2004;1 (12): 72-80. [in Persian]
- [2] Irdemez S, Demircioglu N, Yildiz YS, Bingul Z. The effects of current density and phosphate concentration on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron plate electrodes. *Sep Purif Technol* 2006; 52: 218-23.
- [3] Mesdaghinia AR, Rabbani D, Nasser S, Vaezi F. Effect of coagulants on electrochemical process for phosphorus removal from activated sludge effluent. *Iran J Public Health* 2003; 32(4): 45-51.
- [4] Metcalf, Eddy. *Wastewater Engineering: Treatment & Reuse*. 4th ed. New Dehli: Mc Graw-Hill; 2003. p. 63-70.
- [5] Rybicki S. *Advanced Wastewater Treatment: Phosphorus Removal from Wastewater, A literature Review*. Stockholm; 1997. p. 52-5.
- [6] Zazouli MA, Bazrafshan E. *Water & wastewater technology*. Tehran: Samat; 2009. p. 282-3. [in Persian]
- [7] Behbahani M, AlaviMoghadam MR, Arami M. A Comparison Between Aluminum and Iron Electrodes on Removal of Phosphate from Aqueous Solutions by Electrocoagulation Process. *Int J Environ Res* 2011; 5(2): 403-12.
- [8] Lacasa E, Canizares P, Saez C, Fernandez FJ, Rodrigo MA. Electrochemical phosphates removal using iron and aluminium electrodes. *Chem Eng J* 2011; 172: 137-43.
- [9] Mahvi AH, Ebrahimi SJ, Nouri J, Ebrahimzadeh L. Study of the efficiency of electrolysis process in phosphorus removal from the wastewater effluent treatment plants. *Sci J Kordistan Uni Med Sci* 2007; (44): 36-45. [in Persian]

۶/۷-۷ ساعت و ۶۹-۴۲ روز و نوع الکتروود مصرفی آلومینیوم بوده است. علت تفاوت فاحش موجود احتمالاً مربوط به نوع فرآیند به- کار رفته و تفاوت در نوع الکتروود مصرفی بوده است [۲۱].

نتیجه‌گیری

با استفاده از یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که فرآیند الکتروشیمیایی با استفاده از الکتروودهای فولادی در زدایش فسفر آلی از فاضلاب دست‌ساز بسیار موثر است؛ به- طوری که در این پژوهش حداکثر درصد حذف فسفر آلی برابر با ۹۸/۷۲ درصد بوده است. همچنین، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که این فرآیند قابلیت کاهش غلظت فسفر آلی فاضلاب به کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر (استاندارد تخلیه) را دارا می‌باشد. نتایج این مطالعه در بررسی غلظت باقیمانده فسفر آلی در فاضلاب دست

- [10] Shin EW, Cho YK, Shin HY, Lee CY, Chung JS. Orthophosphate removal by Al-Impregnated Juniperus monosperma adsorbents. *J Ind Eng Chem* 2007; 13(3): 414-19.
- [11] Vasudevan S, Lakshmi J, Jayaraj J, Sozhan G. Remediation of phosphate-contaminated water by electrocoagulation with aluminium, aluminium alloy and mild steel anodes. *J Hazard Mater* 2009; 164(2-3): 1480-6.
- [12] Bektas N, Akbulut H, Inan H, Dimoglo A. Removal of phosphate from aqueous solutions by electro-coagulation. *J Hazard Mater* 2004; 106(2-3): 101-5.
- [13] Crites R, Tchobanoglous G. *Small & decentral-ized wastewater management systems*. California: McGraw-Hill; 1998. p. 21-48.
- [14] Golder AK, Samanta AN, Ray S. Removal of phosphate from aqueous solutions using calcined metal hydroxides sludge waste generated from electrocoagulation. *Sep Purif Technol* 2006; 52(1): 102-9.
- [15] Irdemez S, Demircioglu N, Yildiz YS. The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electro coagulation with iron plate electrodes. *J Hazard Mater* 2006: 1231-5.
- [16] Irdemez S, Yildiz YS, Tosunoglu V. Optimization of phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with aluminum plate electrodes. *Sep Purif Technol* 2006; 52(2): 394-401.
- [17] Kobya M, Demirbas E, Dedeli A, Sensoy MT. Treatment of rinse water from zinc phosphate coating by batch and continuous electrocoagulation processes. *J Hazard Mater* 2010; 173(1-3): 326-34.
- [18] Ozacar M, Sengiel IA. Enhancing phosphate removal from wastewater by using polyelectrolytes and clay injection. *J Hazard Mater* 2003; 100(1-3): 131-46.

- [19] Iran Environmental Protection Organization of, Executive bylaws for paragraph (c) of article 104 and article 134 of the third-5 year plan of the Islamic Republic of Iran. 2001.
- [20] Bayramoglu M, Eyvaz M, Kobya M. Treatment of the textile wastewater by electrocoagulation: Economical evaluation. *Chem Eng J* 2007; 128(2-3): 155-61.
- [21] Kim HG, Jang HN, Kim HM, Lee DS, Chung TH. Effect of an electro phosphorous removal process on phosphorous removal and memberane permeability in a pilot-scale MBR. *Desalination* 2010; 250(2): 629-33.
- [22] Drogui P, Asselin M, Brar SK, Benmoussa H, Blais JF. Electrochemical removal of pollutants from agro-industry wastewaters. *Sep Purif Technol* 2008; 61(3): 301-10.
- [23] Bhatti MS, Reddy AS, Kalia RK, Thukral AK. Modeling and optimization of voltage and treatment time for electrocoagulation removal of hexavalent chromium. *Desalination* 2010; 269: 157-62.
- [24] Rabbani D, Mesdaghinia AR, Nasseri S, Naddafi K. Effect of electrochemical process on phosphorus removal from activated sludge effluent. *Feyz* 2003(27): 21-9. [in Persian]
- [25] Rabbani D, The application of sun energy, electrochemical processand humidify-dehumidify joint in advanced wastewater treatment [Dissertation]. Tehran. Tarbiat Modarres. 2003.
- [26] Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington: APHA, AWWA, WEF; 1999. p. 4500-4-13.

Archive of SID