*Original Article*

# Electrochemical process efficiency for the removal of organic phosphorus from synthetic wastewater

**Dehqan S, Miranzadeh MB*, Rabbani D**

Department of Environmental Health, Faculty of Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I. R. Iran.

Received September 5, 2011; Accepted November 13, 2011

## Abstract:

**Background:** Phosphorus compounds are among the potential water pollutants which enter the water resources through different ways such as wastewater discharge. Although there are physical, chemical and biological treatment methods for phosphorus removal from the wastewater, much attention has been focused on the use of electrochemical process.

**Materials and Methods:** This bench-scale study was conducted on synthetic wastewater samples containing organic phosphorus using a closed batch system. The effects of reaction time and initial concentration of organic phosphorus on the electrochemical process of phosphorus removal were studied. In this study, the effect of steel electrodes, an electric current of 0.6 A, a reaction time of 10-60 minutes and also the initial phosphorus concentrations (2 to 32 mg/l) were investigated.

**Results:** The results of this study showed that the concentration of residual organic phosphorus after the electrochemical process at different initial concentrations was reduced to less than 1 mg/l (equivalent to the effluent discharge standard to receptive water in Iran) at a reaction time of 50 minutes. Moreover, the phosphorus removal efficiency was between 93.73-98.72% at different initial concentrations and a reaction time of 60 minutes.

**Conclusion:** The electrochemical process, using the steel electrodes at an electric current of 0.6 A, can reduce the phosphorus concentration to less than 1 mg/l. Moreover, the optimum reaction time for the removal of organic phosphorus is 50 minutes.

**Keywords:** Electrochemical process, Organic phosphorus, Wastewater

* **Corresponding Author.**
**Email**: miranzadeh_mb@kaums.ac.ir
**Tel:** 0098 913 161 2852
**Fax:** 0098 361 555 0111

Conflict of Interests: ***No***

***Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences March, 2012; Vol. 16, No 1, Pages 79-85***

***Please cite this article as:*** Dehqan S, Miranzadeh MB, Rabbani D. Electrochemical process efficiency for the removal of organic phosphorus from synthetic wastewater. ***Feyz*** 2012; 16(1): 79-85.

[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]

# بررسی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر آلی از فاضلاب دست‌ساز

سمانه دهقان [۱]، محمد باقر میران زاده [۲*]، داورخواه 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 بیولوژیک 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 ۰/٦ آمپر و زمان واکنش بین ۱۰ تا ٦۰ دقیقه و غلظت اولیه فسفر آلی ۲ تا ۳۲ میلی‌گرم 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 ٦۰ 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 ۰/٦ 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

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، غشاهای سلولی، دندان و استخوان یافت می‌شود [۲]. غلظت میانگین فسفر کل در فاضلاب خام شهری ۱۰-۸ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که ٤۰ درصد آن آلی و ٦۰ 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: ۰۹۱۳ ۱۶۱۲۸۵۲ دورنویس: ۰۳٦۱ ۵۵۵۰۱۱۱

پست الکترونیک: miranzadeh_mb@kaums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/٦/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۰/۸/۲۲

منبع اصلی فسفر ورودی به آب‌های پذیرنده، کودهای مصرفی در کشاورزی، ریزش‌های جوی، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و رواناب‌های طبیعی می‌باشد [٦-۳]. از نظر شیمیایی اشکال معمول فسفر در فاضلاب، اورتوفسفات، پلی‌فسفات و فسفر آلی می‌باشد [۱۱،۳،۱-۷]. ورود فسفات همراه با نیترات به محیط زیست به‌خصوص به منابع آبی سبب ایجاد پدیده اوتروفیکاسیون (Euthrophication) می‌گردد [۱۸،۳،۲-۷] که در بیشتر موارد فسفر یک فاکتور محدود کننده در پیدایش این پدیده محسوب می‌شود نه نیتروژن، زیرا تثبیت نیتروژن به‌طور طبیعی به‌وسیله دی‌آزوتروف‌ها صورت می‌گیرد. بنابراین بیشتر مطالعات اخیر بر روی حذف مواد مغذی بر حذف فسفر متمرکز شده است [۱۰،۸،۷]. 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



[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]

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،۶،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،۱۶-۱۸،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]. اخیرا 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 لیتر فسفر آلی صورت گرفته و برای هر غلظت ۵ بار تکرار شد (از آن‌جایی‌که 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 به‌نحوی 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 به‌ترتیب 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 میلی لیتر فاضلاب دست ساز 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 مترکنترل شد. ۸ عدد الکترود فولادی به ابعاد ۱۵×۰/۰۲×۲/۵ سانتی‌متر به‌عنوان کاتد و آند استفاده شد. از اسید کلریدریک ۶ نرمال جهت تمیز کردن الکترودها قبل از شروع آزمایشات استفاده گردید. هرکدام از این الکترودها به‌میزان 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،۲۴،۲۵] در زمان واکنش ۱۰ تا ۶۰ دقیقه بر هر حجم فاضلاب ۲۰۰۰ میلی لیتری 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 به‌روش 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 اندازه-گیری 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.



[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]

## نتایج

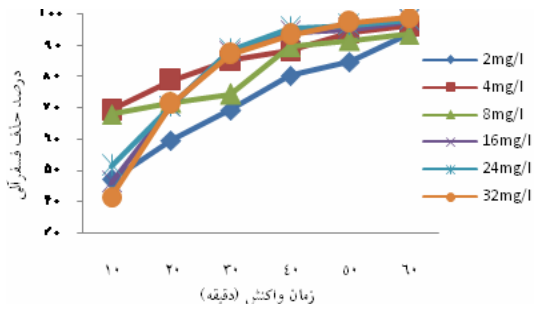
این مطالعه به‌منظور بررسی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی جهت زدایش فسفر آلی از فاضلاب دست‌ساز در شدت جریان ثابت ۰/٦ آمپر و زمان‌های واکنش متفاوت انجام گرفت. در جدول شماره ۱ شاخص‌های آماری مقادیر باقیمانده فسفر آلی بر حسب غلظت‌های اولیه mg/L-P ۳۲-۲ و زمان واکنش ٦۰-۱۰ دقیقه بعد از فرآیند الکتروشیمیایی ارائه شده است.

جدول شماره ۱- شاخص‌های آماری مقادیر باقیمانده فسفر آلی بر حسب غلظت‌های اولیه mg/L-P ۳۲-۲ و زمان واکنش ٦۰-۱۰ دقیقه بعد از فرآیند الکتروشیمیایی

| زمان واکنش(min) | غلظت اولیه mg/L-P | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۲ | ٤ | ۸ | ۱٦ | ۲٤ | ۳۲ |
| ۰ | ۲/۰۸±۰/۱۱ | ٤/۰۸±۰/۱۲ | ۸/۰٤±۰/۱۸ | ۱۵/۸۵±۰/۲۳ | ۲۳/۹۲±۰/۳٦ | ۳۱/۹۱±۰/۵۱ |
| ۱۰ | ۱/۱±۰/۰٤ | ۱/۲٦±۰/۰٦ | ۲/۵۸±۰/۱۷ | ۸/۵٦±۰/۱۳ | ۱۱/٦٤±۰/٦۱ | ۱۸/٦٦±۰/٤۱ |
| ۲۰ | ۰/۸٤±۰/۰۲ | ۰/۸۷±۰/۰٤ | ۲/۵۸±۰/۱۱ | ٤/٦٦±۰/۱۹ | ۷/۰٤±۰/۲۵ | ۹/۲±۰/۵ |
| ۳۰ | ۰/٦٤±۰/۰۳ | ۰/٦±۰/۰٤ | ۲/۰۷±۰/۰۹ | ۱/۸۷±۰/۱۳ | ۲/۷۹±۰/۱٦ | ٤/۱۲±۰/۵٦ |
| ٤۰ | ۰/٤۱±۰/۰۳ | ۰/٤۸±۰/۱۳ | ۰/۸٤±۰/۰۱ | ۰/۹۳±۰/۰٦ | ۱/۰۸±۰/۰٤ | ۲/۱۷±۰/۱۵ |
| ۵۰ | ۰/۳۲±۰/۰۲ | ۰/۲۵±۰/۰۱ | ۰/٦۹±۰/۰۲ | ۰/۷۸±۰/۰۵ | ۰/۹±۰/٤٤ | ۰/۹۲±۰/۰٤ |
| ٦۰ | ۰/۱۳±۰/۰۱ | ۰/۱٦±۰/۰۱ | ۰/۵۳±۰/۰٤ | ۰/۳۸±۰/۰۲ | ۰/٤۷±۰/۰۲ | ۰/٤۱±۰/۰۷ |

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

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 ٦۰ دقیقه مشاهده می‌شود. کمترین غلظت فسفر آلی باقیمانده بعد از فرآیند الکتروشیمیایی در زمان واکنش ٦۰ دقیقه و مربوط به غلظت اولیه ۲ میلی‌گرم در لیتر بوده است که مقدار آن برابر با ۰/۱۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. هم-چنین، در غلظت‌های اولیه ۲ و٤ میلی‌گرم در لیتر بعد از ۲۰ دقیقه، در غلظت‌های ۸ و ۱٦ میلی‌گرم در لیتر بعد از ٤۰ دقیقه و در نهایت در غلظت‌های ۲٤ 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 ($P<۰/۰۰۱$). هم‌چنین، غلظت‌های باقیمانده با افزایش زمان کاهش یافته که اثر معنی‌دار زمان بر کاهش غلظت‌های باقیمانده فسفر آلی را نشان می‌دهد ($P<۰/۰۰۱$). با حذف اثر زمان تفاوت غلظت‌های مختلف بر کاهش غلظت فسفر آلی باقیمانده، معنی‌دار مشاهده شد ($P<۰/۰۰۱$). در نمودار شماره ۱ درصد حذف فسفر آلی در مقابل زمان بر حسب زمان واکنش ٦۰-۱۰ دقیقه و غلظت‌های اولیه mg/L-P ۳۲-۲ با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی نشان داده شده است. نمودارها نشان می‌دهد بیشترین درصد حذف فسفر آلی در فرآیند الکتروشیمیایی با زمان واکنش ٦۰-۱۰ دقیقه، مربوط به زمان واکنش ٦۰ دقیقه است که در این زمان واکنش درصد حذف فسفر آلی بالاتر از ۹۰ درصد بوده است. علاوه بر این حداقل درصد حذف از ٤۰ درصد بیشتر بوده است. باتوجه به نمودار مشاهده می‌شود که غلظت‌های اولیه ۲، ٤ و ۸ میلی‌گرم در لیتر از فسفر آلی شیب‌های متقاطعی داشته‌اند؛ در حالی‌که در غلظت‌های اولیه ۱٦، ۲٤ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر شیب خطوط تقریبا موازی بوده است. بنابراین، احتمال می‌رفت که در غلظت‌های ۱٦، ۲٤ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر اثر متقابل بین زمان و غلظت مشاهده نشود. لذا، تجزیه و تحلیل‌های آماری برای غلظت‌های اولیه ۱٦، ۲٤ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر مجددا به‌صورت مجزا انجام شد که نشان دهنده اثر متقابل بین زمان و غلظت بوده است.




نمودارشماره ۱- درصد حذف فسفر آلی در مقابل زمان بر حسب زمان واکنش ٦۰-۱۰ دقیقه و غلظت های اولیه mg/L-P ۳۲-۲ با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی



[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]

**بحث**

نتایج این مطالعه نشان داد که فرآیند الکتروشیمیایی با استفاده از الکترود فولادی در زدایش فسفر آلی از فاضلاب دست-ساز بسیار موثر می‌باشد. هم‌چنین، این فرآیند قابلیت کاهش غلظت فسفر آلی به زیر ۱ میلی‌گرم 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 غلظت-های اولیه ۳۲-۲ میلی‌گرم در لیتر میزان فسفر آلی باقیمانده به کمتر از ۱ میلی‌گرم 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 ٦۰ دقیقه حاصل شده است. در این مورد حداقل و حداکثر درصد حذف در بین غلظت-های اولیه ۳۲-۲ میلی‌گرم در لیتر، به‌ترتیب برابر با ٤۱/۵۲ 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 ($P<۰/۰۰۱$). درصد حذف نیز در ٦ مرحله مختلف زمانی متفاوت بوده ($P<۰/۰۰۱$) و هم‌چنین اثر متقابل بین زمان و غلظت مشاهده شده است ($P<۰/۰۰۱$). 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 تقریبا هم‌خوانی دارد [٢٤]. 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 الکترودهای آلومینیومی در زدایش فسفر در زمان واکنش ۱۰ دقیقه، ۹۰/۱ درصد بوده که این کارایی با نتایج مطالعه ما کمی تفاوت دارد؛ علت آن احتمالا به‌دلیل متفاوت بودن زمان واکنش و نیز جنس الکترودها بوده است [۹]. در مطالعه‌ی مصداقی نیا و همکاران که به‌منظور بررسی اثر مواد منعقد کننده بر فرآیند الکتروشیمیایی در حذف فسفر از پساب خروجی از لجن فعال 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 تقریبا 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 الکترود آلومنیومی به‌عنوان آند و دانسیته جریان ۰/۲ آمپر بر دسی‌متر 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 میلی‌گرم 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 ٦۰ آمپر بر مترمربع، pH ۵ و زمان بهره برداری ۲۵ دقیقه برای الکترود آلومینیومی و دانسیته جریان ٦۰ آمپر بر متر مربع، pH ۳ و زمان بهره برداری ۱۵ دقیقه با الکترود آهنی می‌باشد. بالاترین کارایی حذف فسفات و روی در شرایط بهینه، ۹۷/۷ و ۹۷/۸ درصد برای الکترود آهن و ۹۹/۸ و ۹٦/۷ درصد برای الکترود آلومینیوم 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 الکتریکی 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 میلی‌گرم در لیتر بررسی شد که با افزودن منعقد کننده در خروجی غلظت ورودی به ۰/٦ میلی‌گرم در لیتر رسید؛ یعنی راندمان حذف ۷۹/۹ درصد و با غلظت ورودی ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر و بدون افزودن منعقد کننده با کارایی حذف ٤۱ درصد به ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر در خروجی رسید. در سیستم MBR همراه با فرآیند الکتروکواگولاسیون، فسفر از غلظت اولیه ۲/٤ با راندمان حذف ۷۷/۲ به ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر در خروجی رسید و بدون فرآیند الکتروکواگولاسیون 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



[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]

۷-۷/٦ ساعت و ٦۹-٤۲ روز و نوع الکترود مصرفی آلومینیوم بوده است. علت تفاوت فاحش موجود احتمالا مربوط به نوع فرآیند به‌کار رفته و تفاوت در نوع الکترود مصرفی بوده است [۲۱].

## نتیجه‌گیری

با استفاده از یافته‌های این تحقیق می‌توان نتیجه گیری نمود که فرآیند الکتروشیمیایی با استفاده از الکترودهای فولادی در زدایش فسفر آلی از فاضلاب دست‌ساز بسیار موثر است؛ به‌طوری‌که در این پژوهش حداکثر درصد حذف فسفر آلی برابر با ۹۸/۷۲ درصد بوده است. هم‌چنین، می‌توان نتیجه گیری 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 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 به‌حد 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 پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد بوده و در طرح تحقیقاتی شماره ۹۰۰۳ به‌ثبت رسیده است.

## References:

[1] Mahvi AH, Mesdaghi 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, Nasseri 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]

[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 & decentralized 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.

[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]

[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 [Dissert-ation]. 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.

[ Downloaded from feyz.kaums.ac.ir on 2026-10-10 ]