

Efficiency of Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrode in Hospital Laundry Wastewater Pretreatment

Mohammad Ali Zazouli¹,
Jamshid Yazdani Charati²,
Seyed Mohsen Alavinia³,
Yahya Esfandiyari⁴

¹ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Associate Professor, Department of Biostatistics, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

³ MSc Student in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

⁴ MSc in Environmental Engineering, Health Sciences Research Center, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received June 21, 2015 Accepted January 24, 2016)

Abstract

Background and purpose: Laundry is one of the main wastewater producing units in hospitals. Most of detergent materials are hardly degradable and cannot be broken fast in the conventional treatment facilities. This research aimed at studying the possibility of hospital laundry wastewater pretreatment by electrocoagulation method using aluminum electrodes.

Materials and methods: Using composite sampling method, a total of 72 samples was taken from the effluent of a hospital laundry wastewater in Gorgan. The samples were analyzed according to standard methods of water and wastewater examination. After determining the quality of raw laundry wastewater, the wastewater was treated by electrocoagulation method with aluminum electrodes in different circumstances of pH, voltage and times. Process efficiency concerning the removal of COD, color, phosphate and surfactant was examined.

Results: In this study the mean density of COD, phosphate and surfactants in hospital laundry waste water were 848.8 ± 109.4 , 1.03 ± 0.06 and 4.81 ± 0.93 mg per liter, respectively and the mean concentration of color was 759.3 ± 152.8 TCU. In optimal conditions, this process could remove 86, 98.8, 94.98, and 66.6% of COD, color, phosphate and surfactant, respectively. The efficiency removal of all parameters increased as the voltage and the contact time increased.

Conclusion: This study showed that laundry waste water was highly polluted and electrocoagulation process could be an efficient procedure in its pre-treatment.

Keywords: electrocoagulation, wastewater treatment, laundry, hospital

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(134): 251-260 (Persian).

بررسی کارایی فرآیند الکتروکواگولاسیون با الکتروکد آلومینیوم در پیش تصفیه فاضلاب رختشویخانه بیمارستان

محمدعلی ززولی^۱
جمشید یزدانی چراتی^۲
سید محسن علوی نیا^۳
یحیی اسفندیاری^۴

چکیده

سابقه و هدف: یکی از واحدهای اصلی تولیدکننده فاضلاب در بیمارستان، رختشویخانه می‌باشد. اکثر مواد شوینده به کندی تجزیه پذیر بوده و امکان شکسته شدن سریع آن‌ها در تصفیه خانه‌های متعارف وجود ندارد. هدف از این تحقیق، بررسی امکان پیش تصفیه فاضلاب رختشویخانه بیمارستان به روش الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکتروکد آلومینیوم می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی، تعداد ۷۲ نمونه به روش نمونه برداری مرکب از خروجی فاضلاب رختشویخانه بیمارستانی در گرگان برداشته شد. نمونه‌ها مطابق روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب آنالیز شدند. پس از تعیین کیفیت فاضلاب خام رختشویخانه، این فاضلاب به روش الکتروکواگولاسیون با الکتروکد آلومینیوم در شرایط pH، ولتاژ و زمان‌های مختلف مورد تصفیه قرار گرفت. راندمان فرایند از نظر حذف COD، رنگ، فسفات و سورفاکتانت بررسی گردید.

یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت COD، فسفات و سورفاکتانت در فاضلاب رختشویخانه بیمارستان به ترتیب $۸۴۸/۸ \pm ۱۰۹/۴$ ، $۱/۰۳ \pm ۰/۰۶$ و $۴/۸۱ \pm ۰/۹۳$ میلی گرم بر لیتر و رنگ TCU $۷۵۹/۳ \pm ۱۵۲/۸$ بود. در شرایط بهینه فرایند توانست COD، رنگ، فسفات و سورفاکتانت را به ترتیب ۸۶٪، ۹۸٪، ۹۴٪ و ۶۶٪ درصد حذف نماید. راندمان حذف کلیه پارامترها با افزایش ولتاژ و زمان تماس افزایش یافت.

استنتاج: این مطالعه نشان داد که فاضلاب رختشویخانه دارای آلودگی با شدت زیاد است و فرایند الکتروکواگولاسیون فرایند کارآمدی جهت پیش تصفیه آن می‌باشد.

واژه های کلیدی: الکتروکواگولاسیون، تصفیه فاضلاب، رختشویخانه، بیمارستان

مقدمه

کاربرد زیاد آب در بخش‌های مختلف بیمارستان نظیر اتاق عمل، آزمایشگاه، اتاق بستری، رختشویخانه، سرویس‌های بهداشتی، آشپزخانه و غیره موجب می‌شود که میزان تولید فاضلاب در بیمارستان‌ها بیش‌تر از

فاضلاب خانگی باشد، به طوری که ۱۲۰۰-۴۰۰ لیتر فاضلاب به ازای هر تخت در روز تولید می‌گردد (۱). فاضلاب بیمارستان آلوده به پاتوژن بوده و ممکن است به واسطه فعالیت‌های آزمایشگاهی، پژوهشی، بهداشتی و

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی شماره ۱۰۲۳ است که توسط معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران تأمین شده است.

مؤلف مسئول: سید محسن علوی نیا- ساری: کیلومتر ۱۷ جاده فرح آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: mohsenalavinia@yahoo.com

۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۲. دانشیار، آمار زیستی مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

۴. کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۳۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۴/۹/۱۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۱/۴

درمانی حاوی انواع ترکیبات دارویی، رادیونوکلئیدها، شوینده‌ها و گندزداها باشند (۲). یکی از واحدهای اصلی تولید فاضلاب در بیمارستان‌ها، رختشویخانه‌هاست. هدف اصلی واحد رختشویخانه، حذف آلودگی‌ها و میکروارگانیسم‌ها از البسه می‌باشد که طی فرایندهای شستشو با دترجنت‌ها، گندزدایی، خنثی‌سازی و آبکشی صورت می‌گیرد (۳). تصفیه بیولوژیکی فاضلاب محتوی شوینده‌ها به علت وجود ترکیبات غیرقابل تجزیه و یا با تجزیه‌پذیری پایین مشکل است و روش‌های بیولوژیکی، کارایی بالایی برای تصفیه این نوع فاضلاب‌ها نشان نمی‌دهند (۴). مطالعه‌ای نشان داد که دترجنت‌ها بر فرایند تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال تاثیر منفی بسیار شدید دارد (۵). بنابراین تصفیه فاضلاب‌های حاوی فسفر و دترجنت جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست، تخریب منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و بهبود عملکرد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۶).

بیش تر روش‌های معمول تصفیه از قبیل کوآگولاسیون و شناورسازی، جذب و اکسیداسیون شیمیایی و یا ترکیبی از این روش‌ها برای تصفیه فاضلاب رختشویخانه‌ها کافی نیست (۷). این فرایندها رنگ را به اندازه کافی حذف نمی‌کنند و قطعاً در کلرزدایی پساب رختشویخانه‌ها موثر نمی‌باشند (۸). نتایج برخی مطالعات حاکی از آن است که با وجود تصفیه معمول فاضلاب در بیمارستان‌ها، این تصفیه‌خانه‌ها، کارایی لازم را در حذف آلاینده‌ها ندارند (۹، ۱۰). در مطالعه‌ای درصد حذف COD و دترجنت از فاضلاب بیمارستانی با استفاده از روش SBR پیشرفته به ترتیب ۹۲/۹۷ و ۸۴/۹۹ درصد به دست آمد (۱۱). در مطالعه دیگری، حذف سورفکتانت با استفاده از روش اکسیداسیون مستقیم با اشعه UV و اکسیداسیون با H_2O_2 به ترتیب ۳۰ و ۲۲ درصد حاصل شد (۱۲). الکتروکوآگولاسیون یک روش تصفیه فاضلاب است که تاریخچه‌ای طولانی دارد، اما تاکنون از این روش به عنوان یک روش اصلی تصفیه استفاده نشده است. با این

اوصاف در تصفیه برخی فاضلاب‌های خاص مانند ضایعات روغنی، مایع سیاه حاصل از صنایع کاغذ، فاضلاب رنگی صنعت نساجی و فاضلاب‌های غنی از مواد مغذی، از این روش بهره گرفته شده است (۱۳). در این روش که یک روش موثر و سریع در تصفیه فاضلاب است، عامل منعقدکننده با مکانیسم تعویض یونی به وسیله صفحه آند صورت می‌گیرد و هیچ گونه ماده شیمیایی منعقدکننده به آب افزوده نمی‌شود (۱۴). فرایند الکتروکوآگولاسیون شامل چهار مرحله اصلی است که عبارتند از: ۱- واکنش‌های الکترولیتی در سطح الکترود، ۲- تشکیل منعقدکننده در فاز آبی، ۳- جذب آلاینده‌های کلوئیدی و محلول روی منعقدکننده و ۴- ته‌نشینی یا شناور شدن توده‌های تشکیل شده (۱۵). این فرایند با کوآگولاسیون شیمیایی تفاوت دارد. در کوآگولاسیون شیمیایی، افزودن نقطه‌ای منعقدکننده صورت می‌گیرد، در حالی که در الکتروکوآگولاسیون، منعقدکننده روی سطح گسترده الکترود تولید می‌شود (۱۶). ازجمله ویژگی‌های این روش می‌توان به کاربرد آسان، تجهیزات ساده، زمان ماند کوتاه، کاهش یا حذف تجهیزات اضافه نمودن مواد شیمیایی و کاهش حجم لجن اشاره نمود (۶). برخی معایب این روش عبارتند از حل شدن الکترودها و نیاز به جایگزین کردن آن‌ها، نیاز به برق و گرانی آن در برخی مناطق، نیاز به رسانایی بالا در سوسپانسیون فاضلاب و ایجاد یک لایه اکسید نفوذناپذیر روی کاتد و در نتیجه کاهش کاهش کارایی سیستم (۱۷). در ساده‌ترین شکل، یک راکتور الکتریکی ممکن است از یک سلول الکترولیتی با یک آند و یک کاتد با استفاده از مولد برق مستقیم ایجاد شود (۱۸). بررسی حذف فنل با فرآیند الکتروکوآگولاسیون به وسیله الکترودهای آلومینیوم نشان داد که الکتروکوآگولاسیون یک فرآیند موثر برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی فنل زیاد می‌باشد (۱۹). هم‌چنین موثر بودن حذف فلزات روی، مس و کادمیوم و سولفات از محیط‌های آبی با استفاده از الکتروکوآگولاسیون در مطالعات دیگری گزارش

شده است (۲۲-۲۰). لذا با توجه به مزایای فرایند روش الکتروکواگولاسیون و جهت کاهش بار آلودگی ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب بیمارستان، هدف از این تحقیق بررسی کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون با الکترود آلومینیوم در پیش تصفیه فاضلاب رختشویخانه بیمارستان می‌باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی است که در مقیاس آزمایشگاهی به منظور بررسی اثر الکتروکواگولاسیون بر حذف پارامترهای COD، فسفات، رنگ و سورفاکتانت از فاضلاب رختشویخانه بیمارستانی در گرگان انجام شد. تعداد ۷۲ نمونه با روش نمونه برداری مرکب از خروجی فاضلاب رختشویخانه بیمارستان شهید صیاد شیرازی گرگان که هیچ تداخلی با سایر فاضلاب‌های بیمارستان نداشت، گرفته شد. تجهیزات مربوط به الکتروکواگولاسیون شامل منبع تغذیه متغیر و ۴ الکترود از جنس آلومینیوم با ابعاد $120 \times 100 \times 2$ میلی متر بود. الکترودها با فاصله ۲۰ میلی متر از هم و با فاصله ۲۰ میلی متر از کف راکتور که یک مخزن شیشه‌ای با ابعاد $220 \times 120 \times 120$ میلی متر بود، قرار گرفتند. حجم نمونه مورد آزمایش در هر مرتبه ۱/۵ لیتر بود. الکترودها به صورت تک قطبی و با آرایش موازی به منبع تغذیه متصل شدند. اختلاط فاضلاب با کمک یک همزن مغناطیسی با سرعت ۱۰۰ rpm انجام گردید. پس از انتقال نمونه به آزمایشگاه، پارامترهای مورد نظر بر روی نمونه‌های خام اندازه‌گیری شدند، در هر مرتبه آزمایش، ۱/۵ لیتر از فاضلاب در ظرف ریخته شده و pH آن به صورت دلخواه تنظیم گردید. برای تنظیم pH از اسیدسولفوریک و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده شد. سپس آزمایش‌ها در دامنه ولتاژ ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ولت و در pH های ۳، ۷ و ۱۰ و با زمان تماس ۱۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه انجام پذیرفت. نمونه‌ها در فواصل زمانی مورد نظر از فاصله ۲ سانتی متری کف راکتور برداشت شد. در

هر مرحله به هر یک از نمونه‌های برداشت شده از راکتور، ۱۵ دقیقه زمان ماند داده شد تا لخته تشکیل گردد، سپس به منظور حذف لخته‌های تشکیل شده، نمونه‌های برداشت شده از صافی واتمن شماره ۴۲ عبور داده شدند. در پایان غلظت COD با روش شماره D 5220، فسفات با روش شماره 4500-P C و رنگ با روش شماره 2120 B مندرج در کتاب استاندارد متد با دستگاه اسپکتروفتومتر DR2800 طبق روش تعیین مقدار شدند (۲۳). سورفاکتانت‌ها نیز با استفاده از معرف Hach و اسپکتروفتومتری با دستگاه اسپکتروفتومتر DR 2800 اندازه‌گیری شدند. در انتها نتایج آزمایشات در نرم‌افزار Excel وارد گشته و سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS بازخوانی و تحلیل شد. برای انجام این تحلیل از آزمون‌های آماری آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی بونفرونی استفاده شد. سطح معنی‌داری در این تحقیق ۰/۰۵ می‌باشد.

یافته ها

در جدول شماره ۱، مشخصات کیفی نمونه‌های فاضلاب خام رختشویخانه بیمارستان شهید صیاد شیرازی گرگان آمده است. همان‌طوری که در این جدول دیده می‌شود، فاضلاب رختشویخانه دارای سورفاکتانت، COD و رنگ زیادی می‌باشد. میانگین اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در فاضلاب رختشویخانه، ۸۴۸ میلی گرم بر لیتر می‌باشد.

جدول شماره ۱: کیفیت فاضلاب خام رختشوی خانه بیمارستان صیاد شیرازی گرگان

پارامتر	حد اقل	حداکثر	میانگین $\pm$ انحراف معیار
COD (میلی گرم بر لیتر)	۶۵۰	۱۰۸۰	848 ± 109.4
فسفات (میلی گرم بر لیتر)	۰/۹۵	۱/۱۹	1.03 ± 0.06
رنگ (TCU)	۴۵۵/۷	۹۹۱/۴	709.3 ± 152.8
سورفاکتانت (میلی گرم بر لیتر)	۳/۱۹	۶/۴۸	4.84 ± 0.93

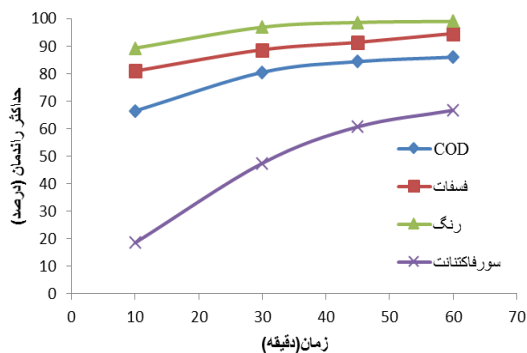
در این مطالعه، کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون با استفاده از صفحه‌های آلومینیوم در حذف پارامترهای

COD، رنگ، فسفات و سورفاکتانت از فاضلاب رختشویخانه بیمارستان تحت شرایط ولتاژهای مختلف، در سه pH اسیدی، خنثی و قلیایی و در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این بررسی در جدول شماره ۲ و در تصاویر ۱ تا ۳ نشان داده شده است. جدول شماره ۲ میانگین، حداقل و حداکثر حذف پارامترهای مورد مطالعه شامل COD، رنگ، فسفات و سورفاکتانت در ولتاژ، زمان و pH های مختلف را نشان

می‌دهد. تصویر شماره ۱، نشان دهنده تاثیر pH بر راندمان تصفیه می‌باشد. با توجه به این تصویر و جدول شماره ۲، مشخص می‌شود حداکثر راندمان حذف COD در pH اسیدی به مقدار ۸۶ درصد، فسفات در pH خنثی به میزان ۹۴/۶ درصد و سورفاکتانت در pH خنثی و به میزان ۶۶/۶ درصد و رنگ در pH قلیایی و به میزان ۹۹/۱۹ درصد صورت گرفت. تصویر شماره ۲ تاثیر ولتاژ در تصفیه فاضلاب را نشان می‌دهد. ماکزیمم

جدول شماره ۲: میانگین حذف پارامترها در شرایط ولتاژ، زمان و pH های مختلف

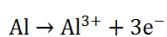
پارامتر	متغیر	حداقل (درصد)	میانگین $\pm$ انحراف معیار	حداکثر (درصد)	فاصله اطمینان ۹۵٪		سطح معنی داری
					حد پایین (درصد)	حد بالا (درصد)	
COD	ولتاژ	۲۰	۴۹/۲	۶۶/۷۹ $\pm$ ۸/۶	۶۳/۱۲	۷۰/۴۵	۰/۰۳۱
		۳۰	۵۳/۵۶	۶۹/۸۹ $\pm$ ۸/۸	۶۶/۱۴	۷۳/۶۴	
		۴۰	۵۸/۷۴	۷۳ $\pm$ ۸/۰۴	۷۰/۰۴	۷۶/۸۳	
		۱۰	۴۹/۲۱	۵۹/۵۹ $\pm$ ۵/۰۵	۵۷/۰۸	۶۲/۱۱	< ۰/۰۰۱
	زمان	۳۰	۵۵/۹۵	۶۹/۳۳ $\pm$ ۶/۹۵	۶۵/۸۷	۷۲/۷۹	
		۴۵	۶۲/۷۲	۷۳/۶۸ $\pm$ ۶/۱۱	۷۰/۶۳	۷۶/۷۲	
		۶۰	۶۹/۰۵	۷۷/۵۵ $\pm$ ۵/۱	۷۵	۸۰/۱	
		۳	۵۸/۴۹	۷۵/۵۲ $\pm$ ۸/۶	۷۱/۸۹	۷۹/۱۵	< ۰/۰۰۱
	pH	۷	۵۵/۲۳	۶۹/۴۰ $\pm$ ۷/۲۹	۶۶/۳۲	۷۲/۴۸	
		۱۰	۴۹/۲۱	۶۵/۱۹ $\pm$ ۷/۶۴	۶۱/۹۶	۶۸/۴۱	
		۲۰	۸۴/۵۴	۹۲/۹۸ $\pm$ ۴/۴	۹۱/۱۱	۹۴/۸۵	۰/۸۷۱
		۳۰	۷۸/۹۵	۹۲/۱۷ $\pm$ ۶/۱۶	۸۹/۵۷	۹۴/۷۷	
رنگ	ولتاژ	۴۰	۷۹/۹۳	۹۲/۷۹ $\pm$ ۶/۰۱	۹۰/۲۵	۹۵/۳۲	
		۱۰	۷۸/۹۵	۸۵/۹۱ $\pm$ ۳/۷۸	۸۴/۰۲	۸۷/۷۹	< ۰/۰۰۱
		۳۰	۸۲/۰۵	۷۱/۷۶ $\pm$ ۴/۸۵	۸۹/۳۴	۹۴/۱۷	
		۴۵	۹۱/۱۹	۹۵/۳۷ $\pm$ ۲/۲۳	۹۴/۲۶	۹۶/۴۹	
	زمان	۶۰	۹۳/۹۵	۹۷/۵۴ $\pm$ ۱/۴۹	۹۶/۸	۹۸/۲۸	
		۳	۸۴/۹۵	۹۲/۶۱ $\pm$ ۳/۴	۹۱/۱۶	۹۴/۰۶	۰/۰۰۷
		۷	۷۸/۹۵	۹۰/۲۰ $\pm$ ۶/۷۶	۸۷/۳۵	۹۳/۰۶	
		۱۰	۸۴/۵۴	۹۵/۱ $\pm$ ۴/۸۸	۹۳/۰۶	۹۷/۱۸	
	pH	۲۰	۷۱/۲۵	۷۸/۵۲ $\pm$ ۴/۴۴	۷۶/۶۴	۸۰/۳۹	< ۰/۰۰۱
		۳۰	۷۳/۱	۸۱/۰۴ $\pm$ ۴/۴	۷۹/۱۶	۸۲/۹۱	
		۴۰	۷۵/۰۷	۸۶/۱ $\pm$ ۵/۱۴	۸۳/۹۳	۸۸/۲۷	
		۱۰	۷۱/۲۵	۷۵/۷۲ $\pm$ ۳/۷۶	۷۳/۸۵	۷۷/۵۹	< ۰/۰۰۱
فسفات	زمان	۳۰	۷۶/۴۷	۸۱/۷۱ $\pm$ ۳/۶۹	۷۹/۸۷	۸۳/۵۵	
		۴۵	۷۸/۴۳	۸۳/۸۶ $\pm$ ۳/۸۸	۸۱/۹۶	۸۵/۸۲	
		۶۰	۷۹/۴۱	۸۶/۲۳ $\pm$ ۴/۸۷	۸۳/۸	۸۸/۶۵	
		۳	۷۱/۲۵	۸۰/۴۵ $\pm$ ۵/۵۱	۷۸/۱۲	۸۲/۷۸	۰/۰۱۵
	pH	۷	۷۳	۸۴/۵۵ $\pm$ ۶/۰۳۵	۸۲	۸۷/۱	
		۱۰	۷۱/۵۷	۸۰/۶۶ $\pm$ ۴/۳۵	۷۸/۸۲	۸۲/۵	
		۲۰	۸/۴	۳۳/۱۸ $\pm$ ۱۵/۲۶	۲۶/۷۴	۳۹/۶۲	۰/۲۰۹
		۳۰	۱۱/۰۵	۳۸/۳۲ $\pm$ ۱۶/۳۸	۳۱/۴۰	۴۵/۲۴	
	ولتاژ	۴۰	۱۴/۰۳	۴۱/۴۲ $\pm$ ۱۶/۶	۳۴/۴۰	۴۸/۴۳	
		۱۰	۸/۴	۱۴/۲۸ $\pm$ ۳	۱۲/۷۹	۱۵/۷۷	< ۰/۰۰۱
		۳۰	۲۶/۲۲	۳۸/۳۳ $\pm$ ۶/۱۷	۳۵/۲۶	۴۱/۴	
		۴۵	۲۹/۱۹	۴۶/۱۷ $\pm$ ۹/۶۲	۴۱/۳۸	۵۰/۹۵	
سورفاکتانت	زمان	۶۰	۳۵/۳۸	۵۱/۷۸ $\pm$ ۹/۶۷	۴۹/۹۷	۵۶/۵۹	
		۳	۱۱/۱۶	۳۶/۵۸ $\pm$ ۱۴/۵۳	۳۰/۴۴	۴۲/۷۲	۰/۰۰۹
		۷	۱۲/۵۶	۴۵/۱۶ $\pm$ ۱۸/۵۸	۳۷/۳۱	۵۳/۰۱	
		۱۰	۸/۴	۳۱/۱۸ $\pm$ ۱۲/۳۷	۲۵/۹۵	۳۶/۴	
	pH	۲۰	۸/۴	۳۳/۱۸ $\pm$ ۱۵/۲۶	۲۶/۷۴	۳۹/۶۲	۰/۲۰۹
		۳۰	۱۱/۰۵	۳۸/۳۲ $\pm$ ۱۶/۳۸	۳۱/۴۰	۴۵/۲۴	
		۴۰	۱۴/۰۳	۴۱/۴۲ $\pm$ ۱۶/۶	۳۴/۴۰	۴۸/۴۳	
		۱۰	۸/۴	۱۴/۲۸ $\pm$ ۳	۱۲/۷۹	۱۵/۷۷	< ۰/۰۰۱
	ولتاژ	۳۰	۲۶/۲۲	۳۸/۳۳ $\pm$ ۶/۱۷	۳۵/۲۶	۴۱/۴	
		۴۵	۲۹/۱۹	۴۶/۱۷ $\pm$ ۹/۶۲	۴۱/۳۸	۵۰/۹۵	
		۶۰	۳۵/۳۸	۵۱/۷۸ $\pm$ ۹/۶۷	۴۹/۹۷	۵۶/۵۹	
		۳	۱۱/۱۶	۳۶/۵۸ $\pm$ ۱۴/۵۳	۳۰/۴۴	۴۲/۷۲	۰/۰۰۹



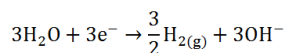
تصویر شماره ۳: تاثیر زمان واکنش بر کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب رختشویخانه

بحث

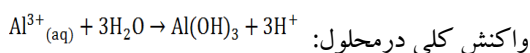
با توجه به جدول شماره ۱، نتیجه گرفته می شود که فاضلاب رختشویخانه جزء فاضلاب های قوی (دارای شدت آلودگی زیاد) تلقی می گردد که با یافته های برخی مطالعات دیگر در خصوص فاضلاب بیمارستانی مطابقت دارد (۲۴،۹،۱). در فرایند الکتروکواگولاسیون، الکترودهای آلومینیوم طی فرایند الکترولیز تجزیه می شوند و عوامل منعقد کننده و هیدروکسیدهای فلزی تولید می نمایند که موجب تشکیل لخته های ناشی از عوامل آلاینده می گردند (۲۵). در این فرایند با واکنش های موجود در آند و کاتد، یون Al^{3+} و OH^- تولید شده و به شکل $Al(OH)_3$ در می آید. این واکنش ها به صورت زیر انجام می شود (۲۶):



واکنش در آند:



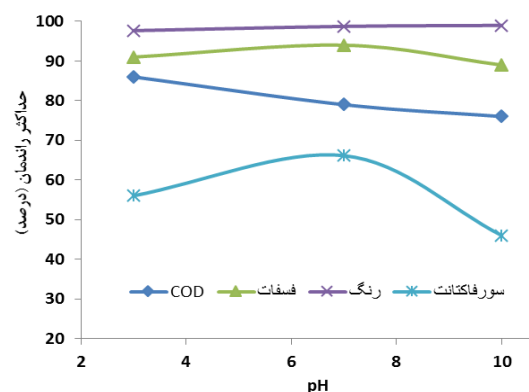
واکنش در کاتد:



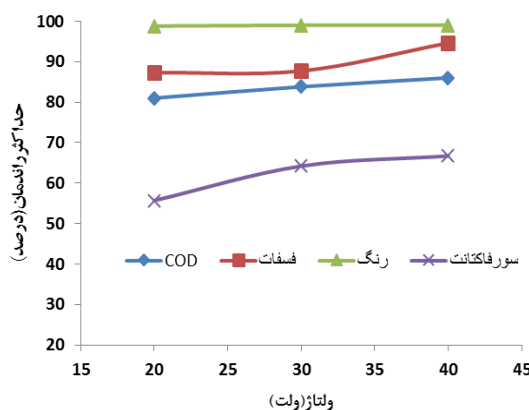
واکنش کلی در محلول:

نتایج به دست آمده از این مطالعه بیانگر آن است که فرایند الکتروکواگولاسیون با استفاده از الکتروده آلومینیوم در حذف پارامترهای COD، رنگ، فسفات و سورفاکتانت از فاضلاب رختشویخانه تحت شرایط مختلف pH، ولتاژ و زمان واکنش بر راندمان فرایند تاثیر گذار است که در این تحقیق میزان این تاثیر گذاری مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به جدول شماره ۲

حذف COD، فسفات و سورفاکتانت در ولتاژ ۴۰ ولت بوده که به ترتیب برابر ۸۶ درصد، ۹۴/۸۱ درصد و ۶۷/۲۱ درصد می باشد. همان طوری که در این جدول و نمودار دیده می شود، راندمان حذف پارامترهای COD، فسفات و سورفاکتانت با افزایش ولتاژ بالا می رود، اما راندمان حذف رنگ در ولتاژ ۲۰ به حداکثر می رسد، بنابراین برای حذف رنگ، نیازی به کاربرد ولتاژ بالا نمی باشد. تصویر شماره ۳ نشان دهنده تاثیر زمان واکنش بر راندمان تصفیه می باشد. با توجه به جدول شماره ۲ و تصویر مذکور، مشخص می شود که راندمان حذف کلیه پارامترها با افزایش زمان به حداکثر خود می رسد و در زمان ۶۰ دقیقه، بیش ترین حذف صورت می گیرد.



تصویر شماره ۱: تاثیر pH بر کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب رختشویخانه



تصویر شماره ۲: تاثیر ولتاژ بر کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب رختشویخانه

و تصویر شماره ۲، مشخص می‌شود که راندمان حذف پارامترهای COD، فسفات و سورفاکتانت با افزایش ولتاژ بالا می‌رود، به طوری که بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به ولتاژ ۴۰ می‌باشد. اما راندمان حذف رنگ در ولتاژ ۲۰ به ماکزیمم خود می‌رسد، بنابراین برای حذف رنگ نیازی به کاربرد ولتاژ بالا نمی‌باشد. با توجه به جدول شماره ۲ و آزمون آنالیز واریانس، میانگین حذف COD و فسفات در ولتاژهای مختلف (۲۰، ۳۰ و ۴۰ ولت) دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد ($p < 0/05$). میانگین حذف COD در فاصله ولتاژهای ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۰ معنی‌دار نیست ($p > 0/05$)، اما در فاصله ولتاژ ۲۰ تا ۴۰ معنی‌دار است ($p < 0/05$). میانگین حذف فسفات در فاصله ولتاژ ۲۰ تا ۳۰ معنی‌دار نیست ($p > 0/05$)، ولی در فاصله ولتاژهای ۳۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ معنی‌دار است ($p < 0/05$). در صورتی که میانگین حذف رنگ و سورفاکتانت در ولتاژهای مختلف دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشد ($p > 0/05$). یافته تحقیق حذف روی و مس و حذف رنگ اریوکرم بلاک تی از محیط‌های آبی (۲۷، ۲۸) حاکی از آن است که با افزایش ولتاژ، میزان حذف پارامترها افزایش می‌یابد که این یافته‌ها همسو با یافته‌های این مطالعه می‌باشد. این نتیجه به این واقعیت نسبت داده می‌شود که با افزایش جریان الکتریکی، میزان ورود آلومینیوم به محلول و تولید اکسید آلومینیوم افزایش می‌یابد. اکسید آلومینیوم به صورت رسوب تمایل به ته‌نشینی دارد و در حین ته‌نشینی، آلاینده‌ها را بهتر حذف می‌نماید. هم‌چنین با افزایش ولتاژ، تراکم حباب‌ها بیش‌تر و اندازه آن‌ها کم‌تر می‌گردد که این موضوع نیز در حذف پارامترها موثر است (۲۸).

بررسی تاثیر افزایش زمان واکنش بر راندمان تصفیه، حاکی از افزایش حذف تمامی پارامترها با زمان می‌باشد. جدول شماره ۲ و تصویر شماره ۳، نشان می‌دهد که با افزایش زمان، میزان حذف پارامترهای مورد مطالعه افزایش می‌یابد و بیش‌ترین درصد حذف در مدت زمان ۶۰ دقیقه صورت گرفت.

با توجه به آزمون آنالیز واریانس مشخص شد میانگین حذف COD، رنگ، فسفات و سورفاکتانت در زمان‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد ($p < 0/05$). میانگین حذف COD در فاصله‌های زمانی ۳۰-۶۰، ۴۵-۶۰، ۱۰-۶۰ و ۳۰-۶۰ معنی‌دار ($p < 0/05$) بوده ولی در فاصله‌های زمانی ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰ دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0/05$). میانگین حذف رنگ در فاصله‌های زمانی ۳۰-۶۰، ۴۵-۶۰، ۱۰-۶۰ و ۳۰-۴۵ دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار است ($p < 0/05$)، ولی در فاصله زمانی ۴۵-۶۰ دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0/05$). میانگین حذف فسفات در فاصله‌های زمانی ۳۰-۶۰، ۴۵-۶۰، ۱۰-۶۰ و ۳۰-۶۰ دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار بوده ($p < 0/05$) ولی در فاصله زمانی ۴۵-۶۰ دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار نیست ($p > 0/05$). میانگین حذف سورفاکتانت در فاصله‌های زمانی ۳۰-۶۰، ۴۵-۶۰، ۱۰-۶۰ و ۳۰-۴۵ معنی‌دار ($p < 0/05$) بوده ولی در فاصله‌های زمانی ۴۵-۶۰ دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0/05$). با توجه به این که حذف کلیه پارامترها در فاصله زمانی ۴۵-۶۰ دقیقه دارای اختلاف معنی‌دار نیست، می‌توان گفت برای حذف این پارامترها نیازی به زمان بیش از ۴۵ دقیقه نمی‌باشد. در نتایج مطالعه حذف سولفات از محیط‌های آبی (۲۲) و مطالعه تصفیه فاضلاب سنتتیک حاوی رنگرای راکتیو ۱۹۸ (۲۹) و هم‌چنین مطالعه حذف کادمیوم از فاضلاب محلول‌های آبکاری (۲۸) و حذف COD از پساب (۳۰)، با افزایش زمان میزان حذف نیز افزایش می‌یابد که با نتایج مطالعه حاضر مطابق است. کارایی حذف، مستقیماً بستگی به غلظت یون‌های تولیدی در الکترودها دارد. با افزایش زمان الکترولیز، غلظت یون‌های تولیدی افزایش یافته و در نتیجه آن، لخته‌های هیدروکسید نیز افزایش می‌یابد (۲۷). در تصویر شماره ۱ و جدول شماره ۲، تاثیر pH بر راندمان حذف نشان داده شده است. آزمون آنالیز واریانس مشخص می‌نماید که، میانگین حذف COD، رنگ،

فسفات و سورفاکتانت در pH های مختلف (۱۰،۷،۳) دارای اختلاف معنی داری می باشد ($p < 0.05$). در این بررسی مشخص شد که حذف COD در pH اسیدی، بیش ترین راندمان را دارد و با افزایش pH از ۳ تا ۱۰، راندمان حذف کاهش می یابد. نتایج مطالعاتی در رابطه با تصفیه فاضلاب کارواش، بیمارستان و کشتارگاه مرغ با استفاده از الکتروکواگولاسیون نشان داد که بیش ترین حذف COD در pH اسیدی صورت گرفته است (۳۲،۳۱،۶) که با نتایج یافته های این پژوهش مطابقت دارد. در مورد رنگ، راندمان حذف در pH قلیایی بیش تر گزارش شده است. هم چنین این تحقیق نشان داد که افزایش زمان واکنش راندمان حذف بیش تری را برای رنگ نتیجه داد. در پژوهش دالوند و همکاران نتیجه گرفته شد راندمان حذف رنگ با زمان تماس رابطه مستقیم دارد (۲۹) که با نتیجه این پژوهش منطبق است. رحمانی و همکاران در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که افزایش pH باعث کاهش کارایی حذف رنگ گردید (۲۷) که با نتیجه این بررسی در تضاد است. افزایش کارایی حذف رنگ در pH قلیایی می تواند به دلیل تولید انواع مختلف از گونه های منعقد کننده موثر باشد که منجر به افزایش کارایی فرایند نسبت به pH خنثی شده است (۳۳). طبق نتایج این بررسی، pH بهینه برای حذف فسفات، pH خنثی به دست آمد. نتایج این مطالعه با برخی مطالعات دیگر مطابقت دارد (۳۴،۶). در مورد

حذف سورفاکتانت ها، بیش ترین راندمان حذف در pH خنثی صورت گرفت که این نتیجه با نتیجه مطالعه تصفیه فاضلاب کارواش مطابقت دارد (۶). شرایط بهینه pH برای حذف رنگ، فسفات و سورفاکتانت موید این است که فرایند الکتروکواگولاسیون فرایند مناسبی برای تصفیه فاضلاب رختشویخانه بیمارستان است. این تحقیق نشان داد که زمان بهینه برای حذف آلاینده ها ۶۰ دقیقه، ولتاژ ۴۰ ولت، pH بهینه خنثی است. حذف COD، فسفات، رنگ و سورفاکتانت با فرایند الکتروکواگولاسیون با الکترو آلومینیوم در شرایط بهینه به ترتیب به ۸۶، ۹۴/۶، ۹۹ و ۶۶/۶ درصد می رسد. بنابراین پیش تصفیه فاضلاب رختشویخانه بیمارستان با استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون امکان پذیر و مطلوب است.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه آقای سید محسن علوی نیا دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی مازندران با شماره طرح تحقیقاتی ۱۰۲۳ مصوب معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مازندران می باشد. بدین وسیله از حمایت های مالی معاونت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی و کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه قدردانی می گردد.

References

1. Amouei AI, Asgharnia H, Gudarzi J, Salehi A. Quantity and quality of wastewater in the hospitals of babol Medical University and effects on the environmental health. J Babol Univ Med Sci 2011; 12(2): 77-82 (Persian).
2. Golbabaee Kootenaei F, Amini Rad H. Treatment of Hospital Wastewater by Novel Nano-Filtration Membrane Bioreactor (NF-MBR). Iranica Journal of Energy and Environment 2013; 4(1): 60-67 (Persian).
3. Fijan S, Poljšak-Prijatelj M, Steyer A, Koren S, Cencič A, Šostar-Turk S. Rotaviral RNA found in wastewaters from hospital laundry. Int J Hyg Environ Health 2006; 209(1): 97-102.
4. Mousavi SAR, Mahvi AH, Mesdaghinia AR, Nasser S. The Quality Characteristics of Paksan Factory Industrial Wastewater. J Kermanshah Univ Med Sci 2008; 12(1): 102-112 (Persian).

5. Dehghani M. Guideline of hospital environmental health. Tehran. Tehran: Nakhli Publication; 2001. (Persian).
6. Takdastan A, Azimi A, Salari Z. The Use of Electrocoagulation Process for Removal of Turbidity, COD, Detergent and Phosphorus from Carwash Effluent. *Water and Wastewater Journal* 2011; 22(3): 19-25 (Persian).
7. Wang CT, Chou WL, Kuo YM. Removal of COD from laundry wastewater by electrocoagulation/electroflotation. *J Hazards Mater* 2009; 164(1): 81-86.
8. Šostar-Turk S, Petrinić I, Simonič M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resources, Conservation and Recycling* 2005; 44(2): 185-196.
9. Âmouei AA, Ghanbari N, Kazemitabar M. Study of Wastewater Treatment System in The Educational Hospitals of Babol University of Medical Sciences (2009). *J Mazandaran Univ Med Sci* 2010; 20(77): 78-86 (Persian).
10. Prayitno, Kusuma Z, Yanuwadi B, Laksmono R. Study of hospital wastewater characteristic in Malang city 2013; 2(2): 13-16.
11. Banaei Ghahfarrokhi B, Ehramposh MH, Nasiri P, Ghasemee A, Rezaie Javanmardi R. Survey of amount of removed detergents and organic Materials of hospital wastewater with SBR developed method (case study of Yazd city). *J Environ Sci Technol* 2010; 12(2): 61-70 (Persian).
12. Ahmadi Mousa Abad N, Moussavi G. The Removal of Sodium Dodecyl Sulphate Anionic Surfactant from Wastewater Using UV/H₂O₂ Advanced Oxidation Process. *Modares Civil Engineering Journal* 2012; 12(4): 1-10 (Persian).
13. 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.
14. Malakutian M, Mahvi AH, Heidari MH, Mostafavi A. Comparison of Polyaluminum Silicate Chloride And Electrocoagulation Process in Natural Organic. *J Ilam Univ Med Sci* 2011; 19(2): 26-37 (Persian).
15. Zhao S, Huang G, Cheng G, Wang Y, Fu H. Hardness, COD and turbidity removals from produced water by electrocoagulation pretreatment prior to reverse osmosis membranes. *Desalination* 2014; 344: 454-462.
16. Ezechi EH, Isa MH, Kutty SRM, Yaqub A. Boron removal from produced water using electrocoagulation. *Process Saf Environ* 2014; 92(6): 509-514.
17. Mollah MYA, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC) science and applications. *J Hazard Mater* 2001; 84(1): 29-41.
18. Isanloo H, Mohseni SM, Nazari S, Sarkhosh M, Alizadeh Matboo S. Efficiency of Electrical Coagulation Process in Reduction of Water Turbidity. *Journal of Health and Hygiene* 2014; 5(1): 67-74 (Persian).
19. Zazouli MA, Taghavi M, Bazrafshan E. Influences of Solution Chemistry on Phenol Removal From Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. *Journal of Health Scope* 2012; 1(2): 66-70 (Persian).
20. Bazrafshan E, Mahvi AH. Removal of Cadmium from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. *Zahedan Journal of research in medical sciences (Tabib-e-shrgh)* 2007; 9(1): 61-70 (Persian).
21. Bazrafshan E, Mahvi AH, Zazouli MA.

- Removal of zinc and copper from aqueous Solutions by electrocoagulation technology using iron electrodes. *Asian J Chem* 2011; 23(12): 5506-5510.
22. Mahvi AH, Jafari Mansourian H, Rajabizadeh A. Performance of electrocoagulation process for removal of sulfate ion from aqueous environments using plate aluminum electrodes. *Qom Univ Med Sci J* 2010; 4(3): 21-28 (Persian).
23. Apha A. WEF (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater, 2007.
24. Kern DI, Schwaickhardt Rde O, Mohr G, Lobo EA, Kist LT, Machado ÊL. Toxicity and genotoxicity of hospital laundry wastewaters treated with photocatalytic ozonation. *Sci Total Environ* 2013; 443: 566-572.
25. Asgari G, Seid mohammadi A, Rowshanai G, Sharifi Z, Mehr alipour J, Shabanlo A, et al. Electrocoagulation (EC) and Electrocoagulation/ Flotation (ECF) Processes for Removing High Turbidity from Surface Water Using Al and Fe Electrodes. *Water and wastewater* 2013; 24(2): 62-69 (Persian).
26. Razavi M, Saeedi M, Jabbari E. The Effect of Operating Conditions on Simultaneous Removal of Phosphate, Nitrate and COD from Laundry Wastewater by Electrocoagulation Using Aluminum Electrodes. *J Environ Studies* 2012; 38(3): 19-21.
27. Rahmani AR, Samarghandi MR. Electrocoagulation Treatment of Color Solution Containing Colored Index Eriochrome Black T. *Water and Wastewater* 2009; 20(1): 52-58 (Persian).
28. Bazrafshan E, Mostafapoor FK, Zazouli MA, Eskandari Z, Jahed GR. Study on Removal of Cadmium from Plating Baths Wastewater by Electrochemical Precipitation Method. *Pakist J Biol Sci* 2006; 9(11): 2107-2111.
29. Dalvand A, Gholami M, Ameri A, Mahmoodi NM. Treatment of synthetic wastewater containing Reactive Red 198 by electrocoagulation process. *Iranian J Health Environ* 2011; 4(1): 11-22 (Persian).
30. Rahmani A, Samarghandi MR. Electrochemical Removal of COD from Effluents. *Water and Wastewater* 2007; 18(4): 9-15 (Persian).
31. Kobya M, Senturk E, Bayramoglu M. Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *J Hazard Mater* 2006; 133(1-3): 172-176.
32. Dehghani M, Shiebani Seresht S, Hashemi H. Treatment of hospital wastewater by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *Int J Environ Health Engine* 2014; 3(1): 32-37.
33. Massoudinejad MR, Yazdanbakhsh AR, Sharifi Maleksari H. Investigation of Electrocoagulation Process Efficiency for Color Removal from Polyacrylic Textile Industrial wastewater. *Water and Wastewater* 2013; 24(4): 40-48 (Persian).
34. İrdemez Ş, Demircioğlu N, Yildiz YŞ. The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with iron plate electrodes. *J Hazard Mater* 2006; 137(2): 1231-1235.