

## Treatment of municipal solid wastes leachate using electrocoagulation

Mahdi Sadeghi <sup>\*1</sup>, Maham Tadrissi<sup>2</sup>, Abotaleb Bay<sup>3</sup>, Yousef dadban Dadban Shahamat<sup>4</sup>

1. Assistant Professor of Environmental Health Engineering, Environmental Health Research Center, School of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

2. MSc student of Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environmental Engineering and Energy, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran

3. PhD Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4. Assistant Professor of Environmental Health Engineering, Environmental Health Research Center, School of Health, Golestan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran

### ABSTRACT

**Background and aims:** Considering the grate polluting potential of landfill leachate and in order to prevent environmental pollution, the present study set out with the aim of assessing the efficiency of electrocoagulation process for organics, nitrogen, phosphorous and turbidity removal from landfill leachate.

**Materials and methods:** In the present descriptive-analytical experimental study, the sample of leachate was supplied from Aq-Qala Landfill and compost center in Gorgan. Landfill leachate treatment was consequently performed by an electrochemical reactor. The paper studies the factors affecting the efficiency of reactor, such as electrolysis time (20, 40, and 60 min), pH of solution (3, 7 and 9), and the electric potential difference (20, 40 and 60 V). All studied parameters were determined according to standard methods. Because of the nature of the project, there were not ethical issues in this study.

**Results:** The highest removal of turbidity, COD, nitrate, and phosphorus in raw leachate were 59.14, 44.33, 40.81 and 48.86, respectively, achieved at 60 V, neutral pH (6.5-6.9) and operating time of 60 min. The corresponding removal percentages for treatment plant effluent electrocoagulation were 88.9, 80.5, 59.16 and 62.35, respectively.

**Conclusions:** The results show that electrocoagulation process can be applied to leachate pre-treatment in order to remove organic matter, turbidity, nutrients, and organics loading reduction and consequently to enhance the biodegradability of leachate. Thus, the process can be considered as an effective alternative in the pre-treatment of wastewater in order to prevent environmental pollution and protection of water resources.

**Keywords:** Leachate, nitrate, phosphorous, electrocoagulation, chemical oxygen demand

**Corresponding Author:** Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Golstan University of Medical Sciences, Gorgan, Iran.

**Email:** mahdikargar1@gmail.com

**Received:** 17 April 2016

**Accepted:** 17 sep 2016

## بررسی کارایی انعقاد الکتریکی در تصفیه شیرابه پسماندهای شهری

مهدی صادقی<sup>۱\*</sup>، ماهم تدریسی<sup>۲</sup>، ابوطالب بای<sup>۳</sup>، یوسف دادبان شهامت<sup>۴</sup>

۱. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ایران
۳. دانشجوی دکترای بهداشت محیط، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** با توجه به آلودگی بالای شیرابه محل دفن و جهت جلوگیری از آلودگی محیط زیست، این مطالعه با هدف بررسی تعیین تاثیر فرایند انعقاد الکتریکی در حذف مواد آلی، نیتروژن، فسفر و کدورت، طراحی و اجرا شد.

**مواد و روش‌ها:** مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی تحلیلی با رویکرد تجربی و آزمایشگاهی بود. از شیرابه تولیدی در مرکز دفن و کمپوست شهر گرگان نمونه گرفته شد و وارد راکتور الکتروکواگولاسیون شد. در شرایط مختلف عملکردی، زمان ماند ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه، pH برابر ۳، ۶ و ۹ و اختلاف پتانسیل الکتریکی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ولت، از شیرابه داخل راکتور نمونه برداری شد و طبق روش استاندارد پارامترهای مورد مطالعه اندازه گیری شد. این طرح پژوهشی با توجه به ماهیت آن منافاتی با مسائل اخلاقی نداشت.

**یافته‌ها:** بیشترین میزان حذف در میزان ولتاژ ۶۰ ولت، زمان ۶۰ دقیقه و pH برابر حدود خنثی (۶/۹ - ۶/۵) بود. میزان حذف کدورت، COD، نیترات و فسفر در شیرابه خام به ترتیب برابر ۵۹/۱۴، ۴۴/۳۳، ۴۰/۸۱ و ۴۸/۸۶ درصد بود. این مقادیر برای پساب خروجی تصفیه خانه که تحت راکتور انعقاد الکتریکی قرار گرفته بود به ترتیب برابر ۸۸/۹، ۸۰/۵، ۵۹/۱۶ و ۶۲/۳۵ درصد بود.

**نتیجه‌گیری:** فرایند انعقاد الکتریکی به عنوان فرایند پیش تصفیه، باعث حذف مواد آلی، کدورت، مواد مغذی، کاهش بار آلی و افزایش تجزیه پذیری شیرابه می‌گردد و می‌تواند به عنوان گزینه‌ای موثر جهت پیش تصفیه موثر فاضلاب، جلوگیری از آلودگی محیط زیست، منابع آب و حفاظت از آنها مدنظر قرار گیرد.

**کلید واژه‌ها:** شیرابه، نیترات، فسفر، الکتروکواگولاسیون، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی

\*نویسنده مسئول: ایران، گرگان، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، کدپستی ۴۹۱۸۹۳۶۳۱۶.

## مقدمه

شیمیایی افزودنی، مؤثر و سریع بودن در تجزیه مواد آلی با راندمان رایج (نزدیک ۹۰ درصد) می‌باشد. معایب ذکر شده برای این فرایند نیز شامل تولید گاز هیدروژن (ممکن است یک خطری باشد)، خوردگی آند و رسوب لجن بر روی الکترودها (که می‌تواند فرایند را محدود نماید)، افزایش غلظت یون‌های آهن و آلومینیوم در خروجی، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً بالا و گران استفاده از برق در برخی مناطق است [۱۶-۱۴]. اساس کار به این ترتیب است که ذره‌های باردار موجود در یک مخلوط کلئیدی، در نتیجه برخورد با یون‌هایی با بار مخالف، خنثی و ته‌نشین می‌شوند. بنابراین پدیده لخته شدن هنگامی رخ می‌دهد که بار سطحی ذره‌های کلئیدی کاهش می‌یابد و این ذره‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند. فرایند لخته شدن در نتیجه فراهم کردن عامل لخته‌کننده در اثر انحلال الکتریکی الکترود فلزی انجام می‌شود [۱۷]. در مجموع برای الکترودهایی از جنس آهن، یون‌های فرو از طریق اکسیداسیون الکترولیتی الکترود آند به داخل محلول رها شده و پس از واکنش با یون هیدروکسیل‌یون‌های مونومر و پلی‌مر هیدروکسیدهای فلزی تولید می‌کنند که این کاملاً به pH محلول بستگی دارد [۱۸]. لخته‌های ایجاد شده توسط فرایند الکتروشیمیایی نسبت به لخته‌های شیمیایی خیلی بزرگ‌تر است. گازهای تولیدی از الکترودهای آند و کاتد در مدت واکنش الکتروشیمیایی باعث عمل شناورسازی شده و حذف بهتر آلاینده‌ها را به دنبال دارد [۱۹]. با توجه به اهمیت شیرابه و وجود مواد مغذی با غلظت زیاد در شیرابه زباله، هدف از این مطالعه بررسی کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون و تاثیر جریان الکتریکی، زمان و pH در حذف مواد آلی، نیتروژن، فسفر و کدورت از شیرابه پسماند محل دفن در شهر گرگان بود.

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی تحلیلی با رویکرد تجربی و آزمایشگاهی بود. از شیرابه خام تولیدی در مرکز دفن و کمپوست شهر گرگان (واقع در شهر آق‌قلا) و پساب خروجی تصفیه‌خانه شیرابه، به مدت سه ماه هر هفته یک نمونه ۲۰ لیتری از محل دفن پسماند برداشت شد و وارد راکتور شده و تحت واکنش الکتروکواگولاسیون قرار گرفت. در این مطالعه از الکترودهای آهن و آلومینیم استفاده شد. الکترود آهن به عنوان کاتد و آلومینیم به عنوان آند در نظر گرفته شد. تجهیزات مربوط به واحد الکتروشیمیایی شامل منبع تغذیه (مبدل جریان متناوب به جریان مستقیم) و صفحات الکترودهای آهن و آلومینیم به اندازه ۱۵ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۵ میلی‌متر و فاصله ۴ سانتی‌متر از هم در یک راکتور شیشه‌ای با ابعاد ۳۰ × ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر، به حجم مفید ۸ لیتر و حجم موثر ۴ لیتر شیرابه نصب

دفع مواد زائد شهری و صنعتی به روش دفن بهداشتی، عمومی‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای دفع پسماند است. در کنار کمبود زمین در دسترس برای دفن بهداشتی، مقادیر زیاد شیرابه تولیدی در این جایگاه‌ها، مشکل اساسی و بزرگ دفع مواد زائد به روش دفن بهداشتی پسماندهای شهری است [۱]. در واقع، دفن در زمین متداولترین الگوی دفع مواد زائد جامد شهری در اغلب کشورها حتی کشورهای توسعه یافته است [۲،۳]. محل‌های دفن بهداشتی اغلب به عنوان بهداشتی‌ترین روش و از نظر زیست محیطی، روش قابل قبولی برای دفع مواد زائد جامد شهری می‌باشد [۴]. شیرابه، مایعی بد بو به رنگ قهوه‌ای تیره که از داخل مواد زائد به خارج تراوش کرده و حاوی مواد محلول و معلق است [۵]. طبق تخمین‌های انجام شده به ازای هر تن پسماند بین ۷۰ تا ۱۰۰ لیتر شیرابه تولید می‌شود [۶]. شیرابه حاوی آلاینده‌های زیادی از جمله مواد آلی، نیتروژن و فسفر می‌باشد. یکی از منابع عمده آلودگی آب آشامیدنی، ترکیبات نیتروژن و فسفر هستند [۷]. نیترات ممکن است در نتیجه آلودگی آب با مواد آلی، تجمع زباله شهری و صنعتی، یا تجمع کود حیوانی و شیمیایی و یا نشت تاسیسات فاضلاب شهری و محل دفن پسماند، وارد منابع آب زیرزمینی گردد [۸-۱۰]. فسفر نیز از عناصر مغذی است که تخلیه آن به آب‌های سطحی، می‌تواند رشد جلبک‌ها را شدت دهد و پدیده پیری رودخانه یا اوتریفیکاسیون را ایجاد نماید. تولیدات جانبی ایجاد شده توسط جلبک‌ها، اثرات نامطلوب و مزمن بر سلامتی انسان دارد [۱۱،۱۲].

با توجه به آلودگی بالای شیرابه، قبل از دفع یا استفاده مجدد باید به‌طریق مناسب تصفیه گردد تا شدت آلودگی آن کاهش یابد [۳]. امروزه فرآیندهای مختلف بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی برای تصفیه شیرابه زمین دفن‌ها به کار گرفته شده‌اند. یکی از روش‌هایی که امروزه برای تصفیه آب و پساب مورد توجه است، روش انعقاد الکتریکی است. مطالعات متعددی در زمینه کاربرد الکتروکواگولاسیون در حذف آلاینده‌های مختلف انجام شده است. از جمله مطالعه رضایی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی تصفیه شیرابه پسماندهای شهری به روش الکتروشیمیایی است که از الکترودهای پلاتین و گرافیت استفاده شد.

نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش زمان سبب افزایش حذف BOD، COD و کروم می‌شود؛ همچنین، میزان تجزیه‌پذیری شیرابه نیز افزایش می‌یابد [۱۳]. مهمترین مزایای انعقاد الکتریکی با توجه به مطالعات انجام شده، شامل راهبری و نگهداری آسان، بهره‌برداری کاملاً خودکار و پیوسته، هزینه پایین بهره‌برداری، بازیافت و استفاده مجدد فاضلاب، حجم کم لجن، عدم نیاز به کنترل مواد

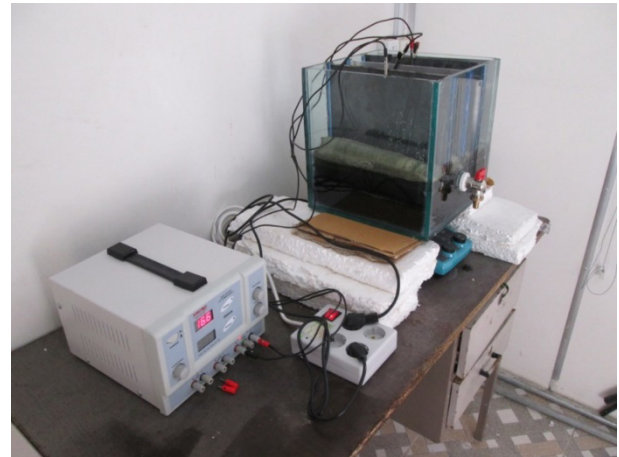
نیترژن و فسفر مورد بررسی قرار گرفت. جدول شماره ۱ مشخصات کیفی شیرابه خام تولید شده در مرکز دفن را نشان می‌دهد. طبق این نتایج، متوسط میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیترات و فسفر به ترتیب ۸۱۰۰۰، ۲۱۵/۳ و ۹۱/۶ میلی‌گرم در لیتر است. در روش الکتروکواگولاسیون در شرایط مختلف عملکردی، زمان ماند (۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه) و pH (۳، ۶ و ۹) و اختلاف پتانسیل الکتریکی (۲۰، ۴۰ و ۶۰ ولت)، آنالیزها انجام شد. جدول شماره ۱، مشخصات کیفی شیرابه خام مرکز دفن آق‌قلا را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات کیفی شیرابه خام تولیدی (شیرابه ورودی) در مرکز دفن آق‌قلا

مشخصات	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین $\pm$ انحراف معیار
هدایت الکتریکی	ms/cm	۳۶/۴۰	۳۳/۷۰	۳۵/۴۷ $\pm$ ۱/۲۱
کل جامدات معلق	mg/L	۲۰۲۰	۱۵۰۶	۱۷۹۸/۶۶ $\pm$ ۲۶۴/۳۲
کل جامدات محلول	mg/L	۸۵۱۰۰	۳۴۹۰۰	۶۳۸۲۵ $\pm$ ۲۵۳۰۲
کدورت	NTU	۴۱۵۰	۳۴۰۰	۳۷۹۰ $\pm$ ۳۴۷/۳۰
COD	mg/L	۸۵۰۰۰	۷۵۰۰۰	۸۱۰۰۰ $\pm$ ۳۹۱۵/۷۰
BOD	mg/L	۸۷۰۰	۷۲۲۷	۷۷۴۳/۲۰ $\pm$ ۵۸۴/۲۳
نیترات	mg/L	۲۲۲	۱۹۶	۲۱۵/۳۰ $\pm$ ۶/۸۰
فسفر	mg/L	۹۶	۸۸	۹۱/۶۰ $\pm$ ۳/۶۰
pH	-	۶/۷۶	۶/۴۷	۶/۵۶ $\pm$ ۰/۱۳
دبی	L/s	۷۰	۱۵	۴۰/۶۰ $\pm$ ۲۴/۹۰

محل دفن و کارخانه کمپوست آق‌قلا دارای یک تصفیه‌خانه بیولوژیکی شیرابه می‌باشد که این تصفیه‌خانه شامل سیستم بی‌هوایی، هوادهی اولیه، هوادهی ثانویه و خروجی نهایی بود. در این پژوهش از شیرابه خام قبل از ورود به تصفیه‌خانه بیولوژیکی نمونه برداری شد و وارد راکتور الکتروکواگولاسیون شد (جدول ۲). همچنین از خروجی تصفیه‌خانه بیولوژیکی موجود نمونه برداری انجام شد و وارد راکتور الکتروکواگولاسیون شده و آزمایشات انجام شد (جدول ۳).

شد. ارتفاع موثر الکترودها در شیرابه ۱۰ سانتی‌متر بود. در هر سری از آزمایشات از ۴ الکتروود کاتد و ۴ الکتروود آند که به صورت یک در میان نصب شده بود، استفاده گردید. ۱۰ سانتی‌متر از کف، منطقه لجن بوده و شیر خروجی بالای این منطقه نصب شد و ۱۰ سانتی‌متر بالای راکتور به عنوان منطقه آزاد در نظر گرفته شد [۲۱]. شکل ۱ راکتور مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



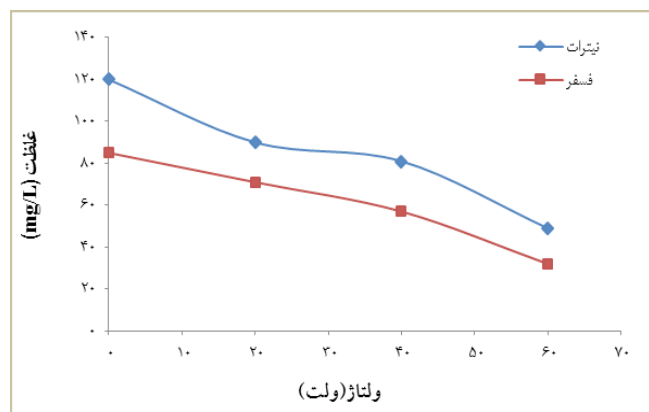
شکل ۱- نمایی از راکتور استفاده شده در مطالعه

در شرایط مختلف با توجه به متغیرهای زمان ماند (۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه، pH برابر ۳، ۶ و ۹ و اختلاف پتانسیل الکتریکی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ ولت)، از شیرابه داخل راکتور نمونه برداری شد. از آنجایی که در ترکیب شیمیایی نمونه‌ها نباید تغییری صورت گیرد، نمونه‌ها به سرعت مورد آزمایش قرار گرفتند. اندازه‌گیری نیترات به روش اسپکتروفتومتری (4500N)، فسفر به روش اسپکتروفتومتری (روش مولبیدات آمونیوم 4500P-C) و کدورت به روش نفلومتری (2130-B) و COD به روش تیترومتری (C5220) ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب انجام شد [۲۰].

داده‌ها توسط شاخص‌های پراکندگی مرکزی، توزیع فراوانی و آزمونهای آنالیز واریانس، آزمون آماری t-test و ضریب همبستگی پیرسون، مورد آنالیز قرار گرفتند. طرح پژوهشی در کمیته اخلاق مطرح و دارای کد اخلاق ۲۹۱۸۱۶۹۳۱۰۲۱۳۴ می‌باشد. با توجه به ماهیت طرح منافاتی با مسائل اخلاقی ندارد.

## یافته‌ها

در این مطالعه از شیرابه خام تولیدی در مرکز دفن و پساب خروجی تصفیه‌خانه موجود در مرکز دفن و کمپوست شهر گرگان واقع در شهر آق‌قلا، جهت استفاده در راکتور الکتروکواگولاسیون نمونه برداری شد. کارایی روش الکتروکواگولاسیون در حذف مواد آلی



شکل ۳- میزان نیترات و فسفر باقیمانده در راکتور الکتروکواگولاسیون در ولتاژهای مختلف در pH خنثی و زمان ۶۰ دقیقه از نمونه پساب خروجی

### بحث

در این مطالعه اثر انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیم بر روی حذف مواد آلی، مواد مغذی و کدورت به صورت تاثیر دانسیته جریان، تاثیر زمان واکنش و تاثیر pH بر روی شیرابه مرکز دفن آق قلا مورد بررسی قرار گرفت که اثر این پارامترها به شرح ذیل است.

### اثر دانسیته جریان

دانسیته جریان به دلیل تعیین میزان کواگولانت تزریقی، یکی از مهمترین پارامترها برای کنترل سرعت واکنش در فرایند انعقاد الکتریکی است [۲۳، ۲۲]. با افزایش میزان شدت جریان الکتریکی و ولتاژ، زمان مورد نیاز برای رسیدن به راندمانهای حذف مشابه کاهش می‌یابد. این امر به این دلیل است که با افزایش شدت جریان مقدار یون آزاد شده از الکترودها افزایش یافته و در نتیجه رسوب بیشتری برای حذف آلاینده‌ها تشکیل می‌شود. همچنین با افزایش شدت جریان، دانسیته حباب‌های تولیدی افزایش و اندازه حباب‌ها کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه با افزایش جریان، آلاینده‌ها و لجن سریعتر حذف و شناور می‌شوند [۲۴، ۲۱]. بطور کلی با افزایش دانسیته جریان، راندمان حذف افزایش می‌یابد. جریان الکتریکی باعث ناپایداری و لخته شدن ناخالصی‌ها در محیط آبی شده و آلاینده‌ها به صورت رسوب از محیط خارج می‌شوند. نتایج حاصله از این آزمایش با نتایج حاصله از مطالعات مشابه توسط رضایی و همکاران (۱۳۹۳) در تصفیه شیرابه پسماندهای شهری به روش الکتروشیمیایی مطابقت دارد که در این مطالعه از الکترودهای پلاتین و گرافیت استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش دانسیته جریان باعث افزایش حذف COD، BOD و کروم می‌شود. همچنین مطالعه بذرافشان و همکاران (۲۰۰۷) در حذف کادمیوم از محیط‌های

جدول ۲- پارامترهای مورد مطالعه در شیرابه خام پس از الکتروکواگولاسیون در pH خنثی و زمان ۶۰ دقیقه

پارامتر	کدورت (NTU)	COD (mg/L)	نیترات (mg/L)	فسفر (mg/L)
شیرابه خام	۳۴۹۰	۷۵۰۰۰	۱۹۶	۸۸
ولتاژ ۲۰ ولت	۲۸۳۰ (۱۸/۹۰)°	۶۱۲۰۰ (۱۸/۴)	۱۷۲ (۱۲/۲۴)	۷۰ (۲۰/۴۵)
ولتاژ ۴۰ ولت	۲۱۲۵ (۳۹/۱۱)	۵۳۰۰۰ (۲۹/۳۳)	۱۴۳ (۲۷/۰۴)	۶۱ (۳۰/۶۸)
ولتاژ ۶۰ ولت	۱۴۲۶ (۵۹/۱۴)	۴۱۷۵۰ (۴۴/۳۳)	۱۱۶ (۴۰/۸۱)	۴۵ (۴۸/۸۶)

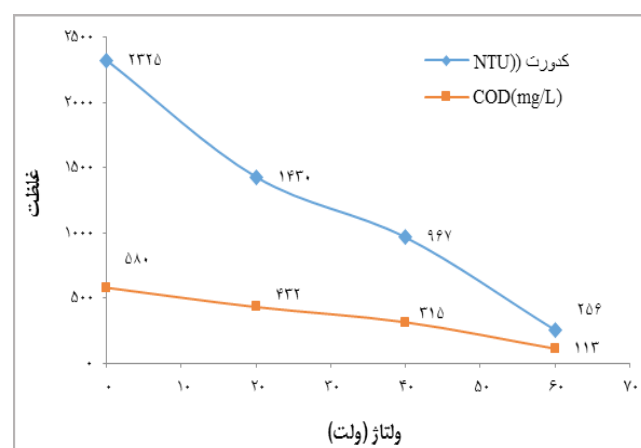
\*مقدار (درصد حذف)

جدول ۳- پارامترهای مورد مطالعه در شیرابه خروجی از تصفیه خانه در pH خنثی و زمان ۶۰ دقیقه

پارامتر	کدورت (NTU)	COD (mg/L)	نیترات (mg/L)	فسفر (mg/L)
پساب خروجی	۲۳۲۵	۵۸۰	۱۲۰	۸۵
ولتاژ ۲۰ ولت	۱۴۳۰ (۳۸/۴۹)°	۴۳۲ (۲۵/۵۱)	۹۰ (۲۵)	۷۱ (۱۶/۴)
ولتاژ ۴۰ ولت	۹۶۷ (۵۸/۴)	۳۱۵ (۴۶/۶۸)	۸۱ (۳۲/۵)	۵۷ (۳۲/۹)
ولتاژ ۶۰ ولت	۲۵۶ (۸۸/۹)	۱۱۳ (۸۰/۵)	۴۹ (۵۹/۱۶)	۳۲ (۶۲/۳۵)

\*مقدار (درصد حذف)

شکل ۲، میزان کدورت و COD باقیمانده در راکتور الکتروکواگولاسیون و شکل ۳ میزان نیترات و فسفر در ولتاژهای مختلف در pH خنثی و زمان ۶۰ دقیقه را نشان می‌دهد.



شکل ۲: میزان کدورت و دورت و COD باقیمانده در راکتور الکتروکواگولاسیون در ولتاژهای مختلف در pH خنثی و زمان ۶۰ دقیقه

آبی با استفاده از فرایند الکتروشیمیایی مطابقت دارد [۲۵]. همچنین الانبری و همکاران (۲۰۰۸) که با استفاده از الکترودهای آهنی جهت حذف فلزات سنگین انجام شد، به نتایج مشابه رسیدند [۲۴].

### اثر زمان واکنش

در فرایند الکتروکواگولاسیون هرچه زمان بیشتر باشد، میزان حذف آلاینده‌ها بیشتر خواهد بود. زمان بیشتر باعث افزایش مصرف برق و در نهایت ایجاد هزینه بالا جهت بهره برداری می‌شود. بنابراین به دلیل هزینه اقتصادی فرایند، زمان پایین نگه داشته می‌شود. از طرفی با کاهش میزان جریان الکتریسیته (شدت جریان)، زمان مورد نیاز برای دستیابی به راندمان‌های حذف مشابه بایستی افزایش یابد [۲۳] که این امر در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد. این رفتار که راندمان تصفیه تا حدود زیادی تحت تاثیر بارگذاری جریان الکتریسیته است، توسط برخی محققین به اثبات رسیده است. در این مطالعه با بررسی زمان ماند و شدت جریان در حذف COD، کدورت، نیترات و فسفر توسط فرایند انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیم نشان داده شد که با افزایش زمان واکنش، میزان حذف افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین راندمان حذف برای کلیه موارد مورد مطالعه در مدت زمان ۶۰ و ولتاژ برابر ۴۰ ولت مشاهده شد.

### اثر pH

در این مطالعه pH در سه سطح برابر ۳، در حد خنثی (۶/۵-۶/۹) و ۹ جهت مشخص نمودن شرایط بهینه حذف (حالت اسیدی، خنثی و بازی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نیترات در شرایط قلیایی به طور متوسط به میزان ۲۵ درصد بیشتر از شرایط خنثی و اسیدی حذف می‌شود. اما در مورد پارامترهای COD، کدورت و فسفر در pH خنثی میزان حذف بیشتر بود. نتایج این مطالعه با نتایج محوی و همکاران در حذف فسفر و نیتروژن آمونیاکی از پساب فاضلاب شهری همخوانی دارد. نتایج مطالعه محوی و همکاران نشان داد که میزان حذف فسفر، نیتروژن آمونیاکی و COD به ترتیب برابر ۹۸، ۹۸ و ۷۶ درصد بود. میزان حذف نیتروژن و فسفر از

مطالعه حاضر بیشتر و میزان حذف COD کمتر بوده است [۲۶].

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان که فرایند انعقاد الکتریکی می‌تواند باعث حذف مواد آلی، مواد مغذی و کدورت شود. زمان بیشتر باعث بالابردن حذف COD، مواد مغذی و کدورت می‌شود. همچنین میزان تجزیه پذیری نیز افزایش می‌یابد. با افزایش میزان شدت جریان الکتریکی، زمان مورد نیاز برای رسیدن به راندمان‌های حذف مشابه کاهش یافته و با کاهش میزان شدت جریان الکتریکی، زمان مورد نیاز زیاد می‌شود. این امر به این دلیل است که با افزایش شدت جریان، مقدار یون آزاد شده از الکترودها افزایش می‌یابد و در نتیجه رسوب بیشتری برای حذف آلاینده‌ها تشکیل می‌شود. همچنین با افزایش شدت جریان، دانسیته حباب‌های تولیدی افزایش و اندازه حباب‌ها کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه با افزایش جریان، آلاینده‌ها و لجن سریعتر حذف و شناور می‌شوند. در نتیجه شدت جریان بر راندمان فرایند تاثیر گذار است و باعث تجزیه مواد آلی و مواد دیر تجزیه می‌گردد. بنابراین در این حالت باعث حذف رنگ و کدورت شیرابه شده و راندمان افزایش پیدا می‌کند. در نهایت مشخص شد که فرایند انعقاد الکتریکی به عنوان فرایند پیش تصفیه می‌تواند، باعث حذف مواد آلی، کدورت، مواد مغذی، کاهش بار آلی و افزایش تجزیه پذیری شیرابه گردد و می‌تواند به عنوان گزینه‌ای موثر جهت تصفیه موثر فاضلاب‌ها، جلوگیری از آلودگی محیط زیست، منابع آب و حفاظت از آنها مد نظر قرار گیرد.

### تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی گلستان جهت تصویب و حمایت مالی انجام این پژوهش با کد ۹۳۱۰۱۶۲۰۴ تشکر و قدردانی می‌شود.

### References

1. Cho SP, Hong SC, Hong SI. Study of the end point of photocatalytic degradation of landfill leachate containing refractory matter. *Chemical Engineering Journal* 2004; 98(3):245-53.
2. Tizaoui C, Bouselmi L, Mansouri L, Ghrabi A. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *Journal of Hazardous Materials* 2007; 140(1):316-24.
3. Kurniawan TA, Lo W, Chan GYS. Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate. *Chemical Engineering Journal* 2006; 125(1):35-57.

4. Omranimanesh R, Karimijashni A. Treatment of municipal solid waste leachate by coagulation-flocculation. Proceedings of the 4th National Congress of Civil Engineering 2008 May. 6-8; Tehran, Iran (In Persian).
5. Deng Y, Englehardt JD. Electrochemical oxidation for landfill leachate treatment. Waste Management 2007; 27(3):380-88.
6. Ovaisi D, Saboor MR, Hosseini M. Performance anaerobic reactors UASB for treatment of Tehran Kahrizak landfill leachate. Proceedings of the 9th National Congress of Iranian Environmental Health 2006 Oct. 28-30; Esfahan, Iran (In Persian).
7. Halajnia A, Oustan S, Najafi N, Khataee A, Lakzian A. The adsorption characteristics of nitrate on Mg-Fe and Mg-Al layered double hydroxides in a simulated soil solution. Applied Clay Science 2012; 70:28-36.
8. Ganesan P, Kamaraj R, Vasudevan S. Application of isotherm, kinetic and thermodynamic models for the adsorption of nitrate ions on graphene from aqueous solution. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 2013; 44(5):808-14.
9. Cho D-W, Chon C-M, Kim Y, Jeon B-H, Schwartz FW, Lee E-S, et al. Adsorption of nitrate and Cr (VI) by cationic polymer-modified granular activated carbon. Chemical Engineering Journal 2011; 175:298-305.
10. Islam M, Patel R. Physicochemical characterization and adsorption behavior of Ca/Al chloride hydrotalcite-like compound towards removal of nitrate. Journal of Hazardous Materials 2011; 190(1):659-68.
11. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill 2003; P: 60-300.
12. Bitton G. Wastewater Microbiology. 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons 2005; P:20-100
13. Rezaie E, Sadeghi M, Shams Khoramabadi Gh. A Study on the leachate treatment by using electrochemical process. Journal of Research in Environmental Health 2015; 1(4):297-305 (In Persian).
14. Mollah MY, Morkovsky P, Gomes JA, Kesmez M, Parga J, Cocke DL. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials 2004; 114(1):199-210.
15. Holt PK, Barton GW, Mitchell CA. The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. Chemosphere 2005; 59(3):355-67.
16. Janssen L, Koene L. The role of electrochemistry and electrochemical technology in environmental protection. Chemical Engineering Journal 2002; 85(2):137-46.
17. Koparal AS, Ögütveren ÜB. Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials 2002; 89(1):83-94.
18. Lin C-J, Lo S-L, Kuo C-Y, Wu C-H. Pilot-scale electrocoagulation with bipolar aluminum electrodes for on-site domestic greywater reuse. Journal of Environmental Engineering 2005; 131(3):491-95.
19. Cabeza A, Urtiaga A, Rivero M-J, Ortiz I. Ammonium removal from landfill leachate by anodic oxidation. Journal of Hazardous Materials 2007; 144(3):715-19.

20. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association 2005; Part1000-3000.
21. Kobya M, Can OT, Bayramoglu M. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials* 2003; 100(1):163-78.
22. Chen X, Chen G, Yue PL. Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology* 2000; 19(1):65-76.
23. Vik EA, Carlson DA, Eikum AS, Gjessing ET. Electrocoagulation of potable water. *Water Research* 1984; 18(11):1355-60.
24. Al-Anbari RH, Albaidani J, Alfatlawi SM, Al-Hamdani TA. Removal of Heavy Metals from Industrial Water Using Electro-Coagulation Technique. *Proceedings of the Twelfth International Water Technology Conference 2008* Dec. 18-21; Alexandria, Egypt; pp. 355-71.
25. Mahvi AH, Bazrafshan E. Removal of cadmium from industrial effluents by electrocoagulation process using aluminum electrodes. *World Applied Sciences Journal* 2007; 2(1):34-39.
26. Mahvi AH, Ebrahimi SJA-d, Mesdaghinia A, Gharibi H, Sowlat MH. Performance evaluation of a continuous bipolar electrocoagulation/electrooxidation–electroflotation (ECEO–EF) reactor designed for simultaneous removal of ammonia and phosphate from wastewater effluent. *Journal of Hazardous Materials* 2011; 192(3):1267-74.