

## Coliform Removal from Municipal Waste Fresh Leachate Using Electrolysis Method with Iron and Copper Electrodes

Afsharnia M.<sup>1</sup> *PhD*, Kianmehr M.<sup>2</sup> *PhD*, Biglari H.<sup>1</sup> *MSc*, Ramezani M.<sup>3</sup> *MSc*, Rasouli S.S.\* *MSc*

\*Student Research Committee, Environmental Health Engineering Department, Health Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

<sup>1</sup>Environmental Health Engineering Department, Health Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

<sup>2</sup>Medical Physics Department, Medicin Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

<sup>3</sup>Basic Sciences Department, Medical Faculty, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran

### Abstract

**Aims:** Leachate is a type of highly concentrated wastewater containing chemical and microbial contaminants. Leachate discharged in receiving earth and water leads to the diffusion of different types of dangerous environmental pollutions. The aim of this study was to reduce the coliform bacteria in fresh urban leachate through electrolysis equipped by copper-iron combined electrodes.

**Materials & Methods:** In the laboratory-experimental study, 36 fresh leachate samples were prepared from urban solid-waste collecting trucks in Gonabad using standard combined method from July to November 2015. The leachate samples were poured into a closed reactor containing three copper-iron combined electrode pairs. Data was analyzed by SPSS 18 software using one-way ANOVA.

**Findings:** The higher the voltage and reaction time were, the higher the coliform removal was. In 60 minutes, all three voltages removed 100% of microbial pollution. There was a significant difference between the rate of the removed coliforms through different voltages in 15, 30, and 45 minutes ( $p < 0.05$ ). The rates of the removed coliforms in different reaction times were significant in 10V ( $p = 0.001$ ) and 20V ( $p = 0.002$ ).

**Conclusion:** Through the utilization of copper-iron combined electrodes and applied proper voltages, the electro-chemical method can be used as a clean and eco-friendly method to remove the coliform bacteria from fresh leachate.

**Keywords:** Disinfection; Fresh Leachate; Electrolysis; Coliform; Copper Electrode

---

\* Corresponding Author

Tel: +985137223028

Fax: +985157223814

Address: Faculty of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Next to the Asian Road, Gonabad, Iran. Postal Code: 96917-93718

srasouli6888@gmail.com

Received: January 15, 2016

Accepted: April 19, 2016

ePublished: June 7, 2016

## کاهش باکتری‌های کلی‌فرم در شیرابه تازه پسماند شهری توسط فرآیند الکترولیز با الکترودهای ترکیبی آهن و مس

مجتبی افشارنیا PhD

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

مجتبی کیان‌مهر PhD

گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

حامد بیگلری MSc

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

مریم رضانی MSc

گروه علوم پایه، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

سیده سمیرا رسولی MSc\*

کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران

### چکیده

**اهداف:** شیرابه پسماند، نوعی فاضلاب با غلظت بالا محتوی آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی است. تخلیه شیرابه در آب و خاک‌های پذیرنده موجب انتشار انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی خطرناک می‌شوند. این مطالعه با هدف کاهش باکتری‌های کلی‌فرم در شیرابه تازه پسماند شهری توسط الکترولیز مجهز به الکترودهای ترکیبی آهن و مس انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور انجام این مطالعه تجربی - آزمایشگاهی، ۳۶ نمونه شیرابه تازه از مخزن ماشین‌های جمع‌آوری پسماند شهری گناباد به روش ترکیبی مطابق با شرایط استاندارد از تیر تا آبان ماه سال ۱۳۹۴ تهیه شد. نمونه‌های شیرابه در راکتور بسته حاوی سه جفت الکتروود ترکیبی آهن و مس ریخته شدند. از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه در قالب نرم‌افزار SPSS 18 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

**یافته‌ها:** با افزایش ولتاژ و افزایش زمان واکنش، درصد حذف کلی‌فرم‌ها افزایش یافت. هر سه ولتاژ مورد استفاده در زمان ۶۰ دقیقه، ۱۰۰٪ آلودگی میکروبی را حذف کردند. بین میزان کلی‌فرم‌های حذف‌شده با استفاده از ولتاژهای مختلف در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه، اختلاف معنی‌داری وجود داشت ( $p < 0.05$ ). میزان کلی‌فرم حذف‌شده در زمان‌های واکنش مختلف، در ولتاژها ۱۰ ( $p = 0.001$ ) و ۲۰ ولت ( $p = 0.002$ ) معنی‌دار بود.

**نتیجه‌گیری:** با استفاده از الکترودهای ترکیبی آهن و مس و ولتاژ مناسب می‌توان از روش الکتروشیمیایی، به عنوان یک روش سازگار با محیط زیست و پاک، برای حذف باکتری‌های کلی‌فرم از شیرابه تازه استفاده نمود.

**کلیدواژه‌ها:** گندزدایی، شیرابه تازه، الکترولیز، کلی‌فرم، الکتروود مس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۳۱

\* نویسنده مسئول: srasouli6888@gmail.com

### مقدمه

در سده اخیر رشد جمعیت و شهرنشینی، تغییر در شیوه تولید محصولات و عادات مصرفی مردم، توسعه پیوسته صنعت و تکنولوژی موجب افزایش سریع نرخ تولید پسماند شهری و صنعتی شده است. افزایش تولید پسماند در سال‌های اخیر، سبب ایجاد مقادیر زیادی نوعی فاضلاب با غلظت بالایی از آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی به نام شیرابه پسماند شده است [۱، ۲].

در کنترل، جمع‌آوری، دفع و تصفیه شیرابه باید دقت ویژه‌ای بکار برد زیرا عدم جمع‌آوری، تصفیه و دفع صحیح آن موجب آلودگی شدید محیط‌زیست شده و تهدید جدی را برای زندگی انسان و جانداران آبی سبب می‌شود. شیرابه‌های تصفیه‌نشده با نفوذ در آب‌های زیرزمینی یا در اختلاط با آب‌های سطحی یا انتشار در خاک منجر به آلودگی‌های مہلکی می‌شوند [۳، ۴]. از آنجا که استفاده مجدد از پساب‌ها و تصفیه آنها پیش از بازگشت به محیط‌زیست اجتناب‌ناپذیر است، همواره کنترل و رفع آلودگی‌های زیست‌محیطی هزینه‌های هنگفتی را به دنبال داشته است [۵]. میزان تصفیه مورد نیاز با توجه به نوع دفع یا استفاده مجدد از فاضلاب‌ها متفاوت است اما ساده‌ترین تصفیه شامل فرایندهای جداسازی جامدات از مایع و نابودکردن میکروارگانیسم‌های مضر است. انعقاد و گندزدایی، دو واحد فرآیندی مهم در حذف موثر مواد کلونیدی و میکروارگانیسم‌ها از آب و فاضلاب هستند [۶]. حذف و نابودی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا روی اشیای بی‌جان را گندزدایی می‌نامند و معیار سنجش آن عدم حضور باکتری‌های شاخص مقاوم گروه کلی‌فرم است. مجموع کلی‌فرم‌ها به صورت باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی اختیاری، گرم‌منفی، میله‌ای شکل، فاقد اسپور، باکتری اکسیداز منفی که لاکتوز را در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد با تولید اسید و گاز تخمیر می‌کند، معرفی شده‌اند [۷]. روش‌های رایج گندزدایی استفاده از گندزدهای کلر، کلرامین و دی‌اکسید کلر است. اگر چه استفاده از این مواد می‌توانند به نحو موثری عوامل میکروبی را کنترل نمایند، اما تحقیقات انجام‌شده طی چنددهه اخیر بین گندزدایی آب و تشکیل محصولات جانبی گندزدایی نظیر تری‌هالومتان‌های سرطان‌زا و کلرامین‌ها، ارتباط نشان می‌دهد [۸، ۹]. به همین علت تلاش در جهت جایگزینی روش‌های نوین کارآمد با عدم اثرات جانبی بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۰-۱۳].

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر توسعه زیادی داشته است استفاده از روش الکترولیز در جنبه‌های مختلف بهسازی و سلامت محیط بوده است. رضایی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی کارایی این روش در حذف /اشریشیا کلی از پساب پرداختند و نتایج مطالعه آنها نشان داد که این روش قابلیت حذف باکتری /اشریشیا کلی را از آب دارد [۱۴]. مسعودی‌نژاد و همکاران نیز کارایی فرآیند الکترولیز با جریان پیوسته را در حذف کلی‌فرم‌های مدفوعی از آب آلوده مورد بررسی قرار دادند و آن را روشی مناسب، با کارایی بالا و سازگار با

کتاب روش‌های استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب مورد آنالیز قرار گرفتند. سپس نمونه‌های شیرابه برای بررسی اثر فرآیند الکترولیز در یک راکتور بسته به حجم موثر ۲ لیتر تجهیز شده با سه‌جفت الکتروود ترکیبی آهن و مس با فاصله الکتروود ۳ سانتی‌متر ریخته شدند. اتصال الکتروودها به منبع تغذیه به روش دو قطبی توسط ترانسفورماتور مدل PS-303 برقرار شد. پس از تنظیم ولتاژ وارده در مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت در مدت زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام شد. پیش از انجام نمونه‌برداری ۵ دقیقه فرصت ته‌نشینی به نمونه‌ها داده شد و سپس نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها پس از برداشت به مدت یک ساعت ته‌نشین شدند و سپس جهت اندازه‌گیری پارامترهای pH، هدایت الکتریکی و انجام آزمایشات میکروبی مطابق با دستورالعمل‌های کتاب روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب مورد آنالیز قرار گرفتند.

از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (مقایسه یک متغیر کمتی در بیش از ۲ گروه) با سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در قالب نرم‌افزار SPSS 18 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

### یافته‌ها

pH اولیه شیرابه تازه مورد استفاده در این مطالعه معادل ۸/۸±۰/۵، دما معادل ۲۶/۳±۲/۴°C، هدایت الکتریکی معادل ۹۳/۸±۳/۶ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، میزان کل کلی‌فرم‌ها معادل ۲۱۸۸/۰±۱۱۰۰۰/۰ واحد تشکیل کلنی در ۱۰۰ میلی‌لیتر، COD معادل ۴۱/۴±۳۳۸/۰۲±۵۷۴/۰۶ میلی‌گرم در لیتر و TSS معادل ۴۵/۸±۲۱/۷۵ میلی‌گرم در لیتر بود.

با افزایش ولتاژ و افزایش زمان واکنش، درصد حذف کلی‌فرم‌ها افزایش یافت. هر سه ولتاژ مورد استفاده در زمان ۶۰ دقیقه، ۱۰۰٪ آلودگی میکروبی را حذف کردند (جدول ۱).

جدول ۱) درصد حذف باکتری‌های کلی‌فرمی از شیرابه در ولتاژ و زمان‌های مختلف (دقیقه) در الکترولیز با الکتروود ترکیبی آهن و مس

ولتاژ	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰
۱۰ ولت	۹۳/۰۶	۹۹/۲۴	۹۹/۳۳	۱۰۰
۲۰ ولت	۹۹	۹۹/۴۸	۹۹/۴۸	۱۰۰
۳۰ ولت	۹۹/۷۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

بین میزان کلی‌فرم‌های حذف شده با استفاده از ولتاژهای مختلف در زمان‌های ۱۵ (p=۰/۰۰۳)، ۳۰ (p=۰/۰۰۳) و ۴۵ (p=۰/۰۰۲) دقیقه، اختلاف معنی‌داری وجود داشت (p<۰/۰۵). در زمان واکنش ۱۵ دقیقه، این اختلاف معنی‌دار بین ولتاژ ۱۰ با ۲۰ ولت (p=۰/۰۰۸) و همچنین با ۳۰ ولت (p=۰/۰۰۴) وجود داشت. اما اختلاف معنی‌داری در ولتاژ مصرفی ۲۰ و ۳۰ ولت وجود نداشت. در زمان ۳۰ دقیقه میانگین میزان کلی‌فرم حذف شده با استفاده از هر سه ولتاژ دارای اختلاف معنی‌داری بود و با افزایش ولتاژ میزان

محیط‌زیست در امور گندزایی آب پیشنهاد کرده‌اند [۸]. فرآیند الکترولیز با تولید اکسیژن محلول به عنوان محصول اصلی واکنش آندی و رادیکال هیدروکسیل موجب اکسیدشدن غشای آلی باکتری، از کارافتادگی غیرقابل برگشت در پیچه‌های انتشار غشای سلولی، اعمال میدان الکتریکی، تداخل در اجزای حیاتی سلول به ویژه کوآنزیم A موجب مرگ میکروارگانیسم‌های مختلف در محیط آبی می‌شود [۸، ۱۴]. به نظر می‌رسد استفاده از الکتروود مس در فرآیند الکترولیز با توجه به خاصیت ضد میکروبی آن موجب بهبود کارایی این فرآیند در حذف قطعی باکتری‌های گروه کلی‌فرم از شیرابه شود. برخی از محققان از این فرآیند برای تصفیه شیرابه با اهداف مثل حذف COD، نیتروژن، کل جامدات معلق و محلول استفاده کرده‌اند [۱۵، ۱۶].

رطوبت بالای پسماند شهری در ایران منجر به تولید مقادیر زیادی شیرابه تازه می‌شود، تاحدی که این میزان شیرابه تازه تولیدی در مرحله جمع‌آوری پسماند در کمتر کشوری دیده می‌شود؛ لذا تجمع آن در ماشین‌آلات جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند شهری می‌تواند به عنوان یک آلودگی میکروبی متحرک در شهر تلقی شود. از آنجا که استفاده از فرآیند الکترولیز طی جمع‌آوری و حمل‌ونقل پسماند امکان‌پذیر و بسیار ساده است. به نظر می‌رسد این روش می‌تواند تا زمان رسیدن شیرابه به محل دفن پسماند، برای کاهش بار میکروبی و آلی شیرابه مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه این روش تاکنون روی نمونه‌های سنتتیک آب و پساب‌هایی با آلودگی پایین برای حذف آلودگی میکروبی مورد بررسی قرار گرفته، همچنین به دلیل تغییرات روزانه بسیار زیاد خصوصیات شیرابه و وجود مواد مختلف در شیرابه که ممکن است اثرات متعدد سینرژیستی و آنتاگونیستی بر یکدیگر داشته باشند و لزوم بررسی کارایی روش‌های مختلف تصفیه در شرایط طبیعی، لذا در این پژوهش استفاده از شیرابه واقعی نسبت به نمونه‌های سنتتیک ترجیح داده شد. لذا این مطالعه با هدف کاهش باکتری‌های کلی‌فرم در شیرابه تازه پسماند شهری توسط فرآیند الکترولیز مجهز به الکترودهای ترکیبی آهن و مس انجام شد.

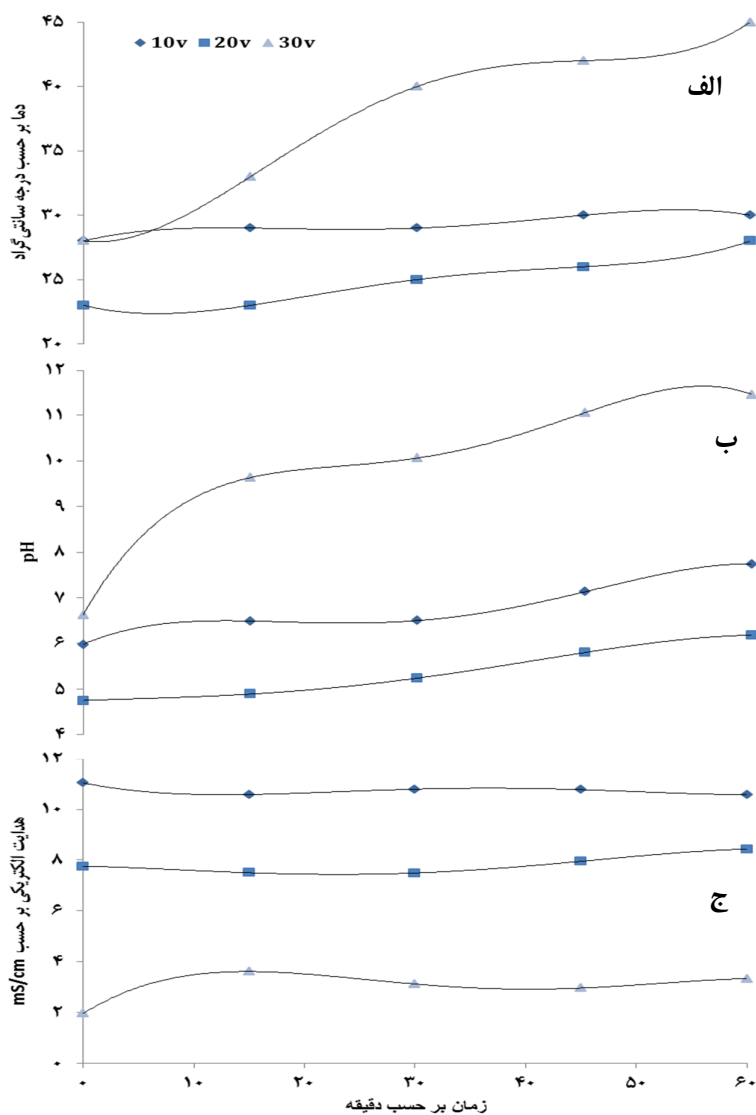
### مواد و روش‌ها

به منظور انجام این مطالعه تجربی - آزمایشگاهی، ۳۶ نمونه شیرابه تازه از مخزن ماشین‌های جمع‌آوری پسماند شهری گناباد به روش ترکیبی مطابق با شرایط استاندارد از تیر تا آبان ماه سال ۱۳۹۴ تهیه شد. در این مطالعه تعداد نمونه‌ها با توجه به بررسی ۳ ولتاژ در ۴ زمان واکنش مختلف و سه بار تکرار هر فرآیند ۳۶ عدد بود.

کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایشات از شرکت مرک آلمان تهیه شد. پس از تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه، نمونه‌های شیرابه تازه برای تعیین مقدار باکتری‌های گروه کلی‌فرم با روش تخمیر ۱۵ لوله‌ای، مطابق با روش ۹۲۲۱ معرفی شده در

معنی‌دار بود، اما این اختلاف در ولتاژ ۳۰ ولت معنی‌دار نبود ( $p < 0.05$ ). در ولتاژ مصرفی ۱۰ ولت این اختلاف در زمان‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه معنی‌دار نبود. در ولتاژ مصرفی ۲۰ ولت این اختلاف در زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه معنی‌دار نبود و فقط زمان ۶۰ دقیقه در مقایسه با زمان‌های ۱۵ ( $p = 0.002$ )، ۳۰ ( $p = 0.01$ ) و ۴۵ دقیقه ( $p = 0.02$ ) اختلاف معنی‌داری در میزان کلی فرم‌های حذف شده داشت (نمودار ۱).

کلی فرم‌های حذف‌شده نیز افزایش داشت. در زمان ۴۵ دقیقه نیز میزان حذف کلی فرم در ولتاژ ۳۰ با میزان حذف کلی فرم‌ها در ولتاژ ۱۰ اختلاف معنی‌داری داشت ( $p = 0.021$ ) اما این اختلاف در مقایسه با میزان کلی فرم حذف‌شده با ولتاژ ۳۰ ولت معنی‌دار نبود. در زمان ۶۰ دقیقه نیز تمامی کاربرد هر سه ولتاژ موجب ۱۰۰٪ حذف آلودگی کلی فرم‌ها شده است. میزان کلی فرم حذف‌شده در زمان‌های واکنش مختلف، در ولتاژها ۱۰ ( $p = 0.001$ ) و ۲۰ ولت ( $p = 0.002$ )



نمودار ۱) تغییرات میزان دما (الف)، pH (ب) و هدایت الکتریکی (ج) طی فرایند کنترل‌شده در ولتاژهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ولت

روش مزایایی از قبیل هزینه بهره‌برداری پایین، جنبه‌های بهداشتی مناسب و حجم کم لجن تولیدی، بازده بالا دارد [۸]. در این مطالعه حذف باکتری‌های کلی فرم با استفاده از کنترل‌شده توسط الکترودهای آهن و مس، با تاکید بر ولتاژ و زمان انجام واکنش مورد بررسی قرار

## بحث

گندزدایی آب با استفاده از فرآیندهای الکتروشیمیایی از جمله روش‌های رو به توسعه است. این روش برای تصفیه فاضلاب‌هایی با آلودگی بالا کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از این

یافته است. این امر می‌تواند به دلیل تولید یون‌های OH<sup>-</sup> در واکنش‌های کاتدی باشد که موجب افزایش pH طی فرآیند می‌شود [۱۸]. الکتروده آهن در محیط‌های خنثی و کمی قلیایی، به ویژه در محدوده pH ۶ تا ۹ با آزاد کردن یون‌های آهن به صورت منعقدکننده‌ای موثر عمل می‌کند [۲۰، ۲۱]. همچنین با توجه به دی‌گرام پوربه (E-pH) برای مس، یون‌های Cu<sup>2+</sup> تولیدی در فرآیند انحلال الکتریکی تنها در pHهای کمتر از ۷ به صورت محلول هستند و با افزایش غلظت یون‌های Cu<sup>2+</sup> نیز ناحیه‌ای از pH که این یون در آن محلول استف محدودتر می‌شود. در pHهای بالاتر از ۷، Cu<sup>2+</sup> محلول نیست و از دهیدراته شدن Cu(OH)<sub>2(s)</sub>، Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2(s)</sub> نامحلول تولید می‌شود [۱۸]. بنابراین ممکن است تعدادی از باکتری‌های کلیفرمی با به دام افتادن در این فلوک‌های تشکیل شده و ته‌نشین شدن از محیط خارج شوند.

با افزایش هدایت الکتریکی محلول انحلال آندی افزایش یافته و موجب افزایش دوز منعقدکننده در محلول و همچنین افزایش قابلیت عبور جریان الکتریسیته از درون محلول می‌شود [۲۲]. نمودار ۱ج تغییرات هدایت الکتریکی محلول را طی ۶۰ دقیقه زمان واکنش در فرآیند الکترولیز در ولتاژهای مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج با افزایش زمان واکنش فرآیند در ولتاژهای ۲۰ و ۳۰ ولت به میزان اندکی افزایش یافته است. این افزایش اندک هدایت الکتریکی ممکن است با افزایش دوز منعقدکننده و همچنین افزایش قابلیت عبور جریان الکتریسیته در شیرابه موجب حذف هرچه بیشتر باکتری‌های کلی‌فرمی شود.

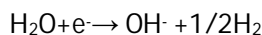
از معایب ذکر شده در بکارگیری مس به عنوان گندزدا، می‌توان به سمیت این عنصر و ایجاد بیماری‌های مزمن برای انسان و مشکلات زیست‌محیطی آن اشاره کرد. بدین منظور حداکثر غلظت مس در پساب خروجی در استاندارد ایران ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر اعلام شده است. با این حال گفته می‌شود اضافه کردن یون مس به پساب یا فاضلاب به منظور گندزدایی، سبب واکنش این یون با مواد آلی موجود در فاضلاب می‌شود و ترکیب یون مس و مواد آلی سبب تشکیل مواد بسیار پایدار و کم محلول در آب می‌شود. بنابراین میزان یون مس به تدریج از پساب کاسته می‌شود و غلظت بالای مس عامل محدودکننده‌ای در استفاده از آن به عنوان گندزدا به شمار نمی‌رود. در ارتباط با تجمع‌پذیری مس در خاک نیز باید توجه داشت که مس موجود در خاک به تدریج با مواد آلی واکنش داده و مواد بسیار پایدار ایجاد می‌کند که دارای سمیت بسیار کمتری (نسبت به مس) هستند. به هر حال تاکنون محدودیتی برای غلظت مس در خاک و فاضلاب اعمال نشده است [۲۳].

### نتیجه‌گیری

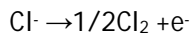
با استفاده از الکترودهای ترکیبی آهن و مس و ولتاژ مناسب می‌توان از روش الکتروشیمیایی، به عنوان یک روش سازگار با

گرفت. نتایج حاصل از تاثیر جریان مستقیم با استفاده از سه جفت الکتروده ترکیبی آهن و مس نشان داد که کارایی حذف با افزایش ولتاژ رابطه مستقیم دارد. در مطالعه رحمانی و همکاران نیز نتایج مشابهی در رابطه با اثر ولتاژ بر حذف کلی‌فرم‌ها از آب آشامیدنی گزارش شده است [۱۷]. این تاثیر مربوط به افزایش نیروی برشی روی سطح الکترودها، با افزایش ولتاژ است. نیروی برشی ناشی از اختلاف پتانسیل بین الکترودها عامل اصلی در انجام فرآیند الکتروشیمیایی محسوب می‌شود [۱۸]. همچنین نتایج آزمون تحلیل واریانس نشان داد، در زمان ۶۰ دقیقه اختلاف معنی‌داری در میزان حذف کلیفرم‌ها در ولتاژهای مختلف نبود (p>۰/۰۵). بنابراین در این زمان استفاده از اختلاف پتانسیل ۱۰ ولت به صرفه‌تر خواهد بود. اعتقاد بر این است که افزایش زمان الکترولیز به دلیل تولید بیشتر محصولات حاصل از الکترولیز با بهبود کارایی گندزدایی همراه است. طی فرآیند الکتروشیمیایی، هنگامی که اختلاف پتانسیلی بین الکترودها برقرار شود، یون‌های هیدروکسیل و Cl<sup>-</sup> به ترتیب روی الکترودهای کاتد و آند تولید می‌شوند (مطابق معادلات ۱ الی ۳). این محصولات مسؤل گندزدایی فاضلاب هستند. علاوه بر عوامل یادشده، محصولات دیگری نیز در فرآیند الکتروشیمیایی تولید می‌شود که در فرآیند گندزدایی نقش دارند [۱۷].

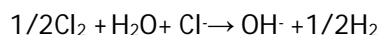
معادله ۱ کاتد



معادله ۲ آند



معادله ۳ Net



مطالعه مسعودی نژاد و همکاران نیز نتایج مشابهی در برداشت. بر اساس این مطالعه با افزایش زمان الکترولیز از ۴۰ تا ۷۰ دقیقه با استفاده از جفت‌الکتروده گرافیت فشرده کارایی حذف باکتری‌های کلی‌فرمی در آب آلوده با کلنی /اشریشیا کلی ۵۸/۹۷ تا ۹۶/۳۶٪ افزایش یافت [۸]. مطالعه باررا/ دیاز نیز نتایج مطالعه حاضر را تایید می‌کند [۱۸].

در مطالعه حاضر، دما به طور پیوسته طی فرآیند الکترولیز اندازه‌گیری شد. دما در راکتور با افزایش زمان واکنش و همزمان با افزایش میزان حذف کلیفرم‌ها، از ۲۸ درجه سانتی‌گراد در ابتدای فرآیند به حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد در زمان ۶۰ دقیقه، افزایش یافت (نمودار ۱). دمای واکنش روی خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی محلول واکنش مثل ویسکوزیته و فشار بخار اثر می‌گذارد و با افزایش دما، کاهش ویسکوزیته موجب حرکت بیشتر سیال شده و اثر مثبتی بر فرآیند تجزیه دارد [۱۹].

همان طور که در نمودار ۱ گزارش شده است، pH طی فرآیند با ولتاژ ۳۰ ولت، با افزایش زمان ماند درون راکتور از حدود ۶ در ابتدای فرآیند به pH حدود ۱۲ در زمان واکنش ۶۰ دقیقه افزایش

2014;84(17):56-64.

9- Alipour A, Rezaei I, Shekoochyan S, Dindarloo Inaloo K, Goodarzi B. Trihalomethane formation potential in drinking water from Minab Steghlal dam to water distribution network in Bandar Abbas, Iran. *J Hormozgan Univ Med Sci.* 2013;18(3):203-10. [Persian]

10- Astaraei A, Eskandari M. Effect of different amounts of salts on detoxification and some chemical properties of municipal solid waste leachate. *Environ Sci.* 2007;4(2):1-11.

11- Behjat A, Mozzaheb SA, Khalili MB, Vakhshoor B, Zareshaei H, Fallahzadeh M. Advanced oxidation treatment of drinking water and wastewater using high-energy electron beam irradiation. *J Water Wastewater.* 2007;16:60-8. [Persian]

12- Nabizadeh Nodehi R, Aslani H, Alomohammadi M, Nemati R, Naddafi K, Ghany M. Performance comparison of fenton and fenton modified with copper in raw wastewater disinfection for reuse in agriculture. *Iran J Health Environ.* 2012;5(3):189-200.

13- Mehdi Amin M, Hashemi H, Ebrahimi A, Bina B, Movahhedian Attar H, Jaberi A, et al. Using combined processes of filtration and ultraviolet irradiation for effluent disinfection of Isfahan North Wastewater treatment plant in pilot scale. *J Water Wastewater.* 2010;2:71-7. [Persian]

14- Rezaee A, Kashi G, Jonidi Jafari A, Khataee AR. Investigation of E. coli Removal from polluted water using electrolysis method. *Iran J Health Environ.* 2011;4(2):201-12.

15- Ilham F, Kurt U, Apaydin O, Gonullu M. Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. *J Hazard Mater.* 2008;154:381-9.

16- Hashemi H, Alipour Samani E, Amin MM, Bina B. Survey on electrocoagulation process efficiency on Isfahan composting plant leachate treatment. *J Health Syst Res.* 2013;9(9):969-78.

17- Rahmani A, Samarghandi MR. Investigation of total coliform removal from water using electrolysis method. *Sci J Hamadan Univ Med Sci.* 2009;15(2):60-5. [Persian]

18- Barrera-Díaz C, Frontana-Urbe B, Bilyeu B. Removal of organic pollutants in industrial wastewater with an integrated system of copper electrocoagulation and electrogenerated H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Chemosphere.* 2014;105:160-4.

19- Ren Y, Franke M, Anschuetz F, Ondruschka B, Ignaszak A, Braeutigam P. Sono-electrochemical degradation of triclosan in water. *Ultrason Sonochemistry.* 2014;21:2020-5.

20- Moreno C, Cockea DL, Gomes JAG, Morkovsky P, Parga JR, Peterson E, et al. Electrochemistry behind electrocoagulation using iron electrodes. *ECS Transaction.* 2007;6(9):1-15.

21- Kobya M, Taner Can O, Bayramoglu M. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *J Hazard Mater.* 2003;B100:163-78.

22- Lakshmi M, Sivashanmugam P. Treatment of oil tanning effluent by electrocoagulation: Influence of ultrasound and hybrid electrode on COD removal. *Sep Purif Technol.* 2013;116:378-84.

23- Nabizadeh R, Nemati R, Aslani H, Alimohammadi M. Using copper ions, ascorbic acid and pressurized dissolved oxygen in the secondary treated wastewater disinfection. *J Health.* 2012;2(1):7-18. [Persian]

محیط زیست و پاک، برای حذف باکتری‌های کلی‌فرم از شیرابه تازه استفاده نمود. در ولتاژهای کمتر از ۳۰ ولت و زمان‌های کمتر از ۶۰ دقیقه می‌توان گفت با افزایش ولتاژ و زمان واکنش میزان کلی‌فرم حذف‌شده، افزایش می‌یابد اما در زمان ۶۰ دقیقه و ولتاژ ۳۰ ولت میزان افزایش حذف کلی‌فرم‌ها به ترتیب در ولتاژهای مختلف و زمان‌های مختلف واکنش، قابل توجه نیست.

**تشکر و قدردانی:** این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط و همچنین طرح پژوهشی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی گناباد (کد ۴/۳۵/پ) است.

**تاییدیه اخلاقی:** به دلیل کارکردن روی شیرابه و جمعیت باکتری‌ها، کار تحقیقاتی حاضر فاقد هرگونه ملاحظه اخلاقی است.

**تعارض منافع:** هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

**منابع مالی:** این پژوهش با حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی گناباد انجام شده است.

## منابع

- 1- Nasiri A, Mokhtarani N, Ganjidoust H. Post treatment of composting leachate by means of ozonation and granular activated carbon (GAC) adsorption. *Modares Civ Eng J.* 2012;12(1):85-95. [Persian]
- 2- Turro E, Giannis A, Cossu R, Gidaracos E, Mantzavinos D, Katsaounis A. Reprint of: Electrochemical oxidation of stabilized landfill leachate on DSA Electrodes. *J Hazard Mater.* 2012;207-208:73-8.
- 3- Farrokhi M, Kouti M, Mousavi GR, Takdastan A. The study on biodegradability enhancement of landfill leachate by fenton oxidation. *Iran J Health Environ.* 2009;2(2):114-23. [Persian]
- 4- Karimi B, Ehrampoush MH, Mokhtari M, Ebrahimi A. Comparisons of three advanced oxidation processes in organic matter removal from esfahan composting factory leachate. *Iran J Health Environ.* 2011;4(2):149-58. [Persian]
- 5- Mehrdadi N, Nabi Bidhendi GH, Zahedi A, Mohammadi Aghdam A, Aghajani A. Application of ultrasonic wave irradiation in wastewater treatment. 1<sup>st</sup> edition. Tehran: University of Tehran Press; 2012. [Persian]
- 6- Nabizadeh R, Nemati R, Aslani H. Effect of potassium permanganate on effectiveness of chitosan in removing of turbidity and fecal coliforms from wastewater. *J Water Wastewater.* 2011;(3):95-102. [Persian]
- 7- Derayat J, Pirsaeheb M, Jafari Motlagh Z, Zinatizadeh AA. Performance of electrocoagulation process in the removal of Total coliform and heterotrophic bacteria from surface water. *J Water Wastewater.* 2015;1:37-45. [Persian]
- 8- Massoudinejad MR, Mazaheri Tehrani A, Ghanbari F, Mirshafian S. Evaluation of the efficiency of electrolysis process with continuous flow in the disinfection of water contaminated with fecal coliform. *Arak Med Univ J.*