

Investigation of the survival of bacteria under the influence of supporting electrolytes KCl, CuI and NaBr in the electrochemical method

ABSTRACT

Background and Aim: Drinking water pollution is a serious threat for public water supply. Water disinfection has a very important role in the reduction of pathogenic microorganism. Water electrodisinfection is an efficient and cost-effective method in water disinfection. The aim of this study was the survey of inactivation in two types bacteria (as index and resistant) by electrochemical process in the presence of supporting electrolytes.

Materials and Methods: Inactivation of E.Coli and Bacillus subtilis spore was studied at current intensity of 500mA, with each of the supporting electrolytes including CuI, NaBr and KCl. The type of electrodes was steel and the distance between electrodes was 2cm. Furthermore, the tests carried out in monopolar mode Fe-Fe, neutral pH and experimental temperature (21 °C). The number of bacteria, amount of supporting electrolyte, voltage, and electrochemical action time were investigated.

Results: Adding the supporting electrolytes to the electrochemical disinfection process decreased bacterial resistance. Copper iodide (CuI) on 2 mg/l concentration showed more efficiency in bacterial inactivation.

Conclusion: Supporting electrolyte CuI with concentration of 2 mg/l both enhances the electrochemical process performance due to an increase in ionic transmission rate and voltage current. Also, this decreases electrochemical inactivation time and increases bactericidal effect.

Document Type: Research article

Keywords: Water disinfection, Supporting electrolyte, Escherichia coli, Bacterial spore

Solmaz Gholami

Msc Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Maziar Naderi

Phd Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Masoumeh Moghaddam-Arjmand

* Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (Corresponding Author), Email: arjmand@sina.tums.ac.ir

Received: 2018/05/01

Accepted: 2018/07/19

► **Citation:** Gholami S, Naderi M, Moghaddam-Arjmand M. Investigation of the survival of bacteria under the influence of supporting electrolytes KCl, CuI and NaBr in the electrochemical method. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2018;4 (2) : 104-111 .

بررسی بقای باکتری‌ها تحت تأثیر الکترولیت‌های حمایتی NaBr و KCl ، CuI روش گندزدایی الکتروشیمیایی آب

سولماز غلامی

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

مازیار نادری

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

معصومه مقدم ارجمند

* استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

(نویسنده مسئول)، ایمیل:

arjmand@sina.tums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: آلوده شدن آب آشامیدنی به میکروب‌های بیماری‌زا، تهدیدی جدی برای سیستم‌های آبرسانی عمومی است. در تصفیه آب، فرایند گندزدایی نقش بسیار مهمی در کاهش عوامل میکروبی ایفاء می‌نماید. استفاده از روش گندزدایی الکتروشیمیایی آب مبتنی بر تکنولوژی پیشرفته تامین آب ایمن، کارآمد و دور از محصولات جانبی گندزدایی سیستم‌های متداول رو به گسترش است. هدف از انجام این مطالعه، ارائه روشی موثر جهت غیرفعال سازی دوگروه باکتری‌های شاخص و مقاوم در آب آشامیدنی است.

مواد و روش‌ها: حذف اشریشیاکلی و اسپور باسیلوس سوبتیلیس تحت تأثیر شدت جریان 500 mA و حضور جداگانه هر یک از الکترولیت‌های CuI و KCl.NaBr مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش‌ها بر اساس حالت مداتصال مونوپلار Fe-Fe با الکترودهای استنلس استیل و با فاصله 2 cm از یکدیگر، pH طبیعی آب (محدوده خنثی) و دمای محیط (حدود 21°C) انجام شد. متغیرهای تعداد باکتری، میزان الکترولیت حمایتی، میزان جریان القایی، و زمان واکنش مورد ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: افزودن الکترولیت‌های حمایتی باعث کاهش مقاومت باکتری‌ها در مقابل غیرفعال سازی الکتروشیمیایی گردید. الکترولیت حمایتی یدیمس (CuI) در مقایسه با الکترولیت‌های KCl و NaBr راندمان بالاتری را در غیرفعال سازی باکتری‌ها ارائه نمود.

نتیجه‌گیری: غلظت 2 mg/L الکترولیت حمایتی CuI ، ضمن ارتقاء توانایی فرآیند الکتروشیمیایی، به دلیل افزایش سرعت انتقال یونی و بهبود برقراری اختلاف پتانسیل سیستم، زمان تماس واکنش برای غیرفعال سازی میکربی را کاهش و تأثیر میکربکشی را افزایش می‌دهد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

کلید واژه‌ها: گندزدایی آب، الکترولیت حمایتی، اشریشیاکلی، اسپور باکتری

◀ **استناد:** غلامی س، نادری م، مقدم ارجمند م. بررسی بقای باکتری‌ها تحت تأثیر الکترولیت‌های حمایتی NaBr و KCl ، CuI در روش گندزدایی الکتروشیمیایی آب. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان

۱۳۹۷؛ ۴(۲): ۱۰۴-۱۱۱.

مقدمه

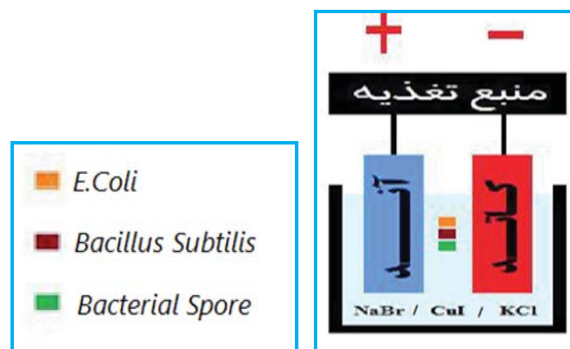
حضور باکتری‌های بیماری‌زا در سیستم توزیع آب آشامیدنی، یکی از نگرانی‌های اصلی مسئولین صنعت آب است. اشریشیاکلی در ارزیابی کیفیت باکتریولوژیک آب آشامیدنی، به عنوان شاخص آلودگی میکروبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱) و نباید در آب تصفیه شده وجود داشته باشد و حضور آن، آب را غیرقابل شرب و نیازمند تصفیه و گندزدائی بیشتر می‌نماید (۲). در منابع آب، آلودگی به باکتری‌های کلیفرم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و گونه‌های بیماری‌زای آن موجب مشکلات بهداشتی متعددی می‌شود. برای تعیین کیفیت میکروبی آب آشامیدنی از ارگانیس‌های شاخص استفاده می‌شود. ارگانیس‌های شاخص شامل اشریشیاکلی، کلیفرم‌های گوارشی گرمای، مجموع کلیفرم‌ها، استرپتوکوک گوارشی و کلستریدیوم پرفرنزنس می‌باشند. معمول‌ترین روش برای آزمایش کیفیت بهداشتی باکتریولوژی آب آشامیدنی، روش آزمایش باکتری‌های کلیفرم و اشریشیاکلی است (۳).

انتخاب مدل جایگزین اسپور باسیلوس سوبتیلیس به دلیل برخورداری از مقاومت مشابه کیست تک یاخته‌ای‌ها، به عنوان مقاوم‌ترین عامل میکروبی در برابر ضدعفونی‌کننده‌ها، می‌تواند به عنوان شاخص مناسب پایش سیستم آب رسانی آشامیدنی استفاده شود (۴-۶).

باسیل‌ها و کلیستریدیاهای مختلف هنگامی که تحت تأثیر فشارها مانند گرسنگی قرار می‌گیرند، یک نوع سلول خفته تولید می‌کنند که اسپور نامیده می‌شود و می‌تواند در طیف گسترده‌ای از هجوم که سبب تخریب سلول‌های رویشی می‌شود، مقاومت کند. چند لایه اطراف اسپور را تشکیل می‌دهند. این لایه‌ها اغلب از بیش از ۲۵ گونه‌های پلی‌پپتیدی متقاطع تشکیل شده که به مقاومت اسپور کمک می‌کنند (۷). یکی از روش‌هایی که طی سال‌های اخیر توسعه زیادی داشته است، کاربرد روش الکترولیز در جنبه‌های مختلف بهسازی محیط بوده است (۸). روش الکتروشیمیایی در دهه‌های اخیر جهت حذف آلاینده‌های

مختلف و حفظ کیفیت محیط زیست و ارتقاء سلامت جوامع، به طور موفقیت‌آمیز در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار گرفته است (۹). Tsolaki و Diamadopoulos (۲۰۱۰) دریافتند که اکسیداسیون مستقیم سطح آند، در غیرفعال‌سازی الکتروشیمیایی میکروب‌ها مؤثر است (۱۰). مطالعه López-Gálvez و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که گندزدایی آب در روش الکتروشیمیایی به واسطه استفاده از الکترولیت حمایتی NaCl، علاوه بر مؤثر بودن نسبت به کلر متداول، باعث کاهش تشکیل ترکیبات جانبی در آب می‌گردد (۱۱). در روش الکتروشیمیایی، میکروارگانیس‌ها توسط جریان الکتریکی متلاشی می‌شوند (۱۲). در این روش، جریان الکتریکی در حضور مولکول اکسیژن سبب تولید هیدروژن پراکسید و ازن می‌شود و همچنین زمانی که یون کلر در محلول وجود داشته باشد، سبب تولید کلر آزاد و دی‌اکسید کلر می‌شود (۱۳). فعالیت میکروب‌کشی اکسیژن محلول به عنوان محصول اصلی واکنش آندی علیه باکتری‌های هوازی و تولید مواد اکسیداتیو شیمیایی از اکسیژن محلول نظیر پراکسید هیدروژن (پتانسیل اکسیداسیون کم)، هیدروکسیل و ازن (پتانسیل اکسیداسیون زیاد) از جمله مکانیسم‌های روش الکتروشیمیایی محسوب می‌شود (۱۴). تأثیر اکسید کنندگی و مرگ سلول میکروبی ناشی از تولید مواد اکسیدکننده در واکنش الکتروشیمیایی، تراوا شدن غیر قابل برگشت غشاء سلولی با اعمال میدان الکتریکی و نیز اکسیداسیون الکتروشیمیایی سلول‌های حیاتی به هنگام مواجهه با جریان الکتریسیته و یا وارد شدن در میدان الکتریکی، از جمله مکانیسم‌های میکروب‌کشی الکتروشیمیایی است (۱۵). عدم نیاز به افزودن مواد شیمیایی، سهولت کاربری و تجهیزات توسط فرآیند الکتروشیمی، از جمله مزایای گندزدایی آب نسبت به سایر روش‌هاست (۱۶). فرآیند الکتروشیمی از توانایی تولید عوامل قوی ضد میکروبی برخوردار بوده و با استفاده از کلرید (Cl⁻) موجود در آب و الکترولیت‌های حمایتی مناسب، فرآیند ضدعفونی آب را به خوبی انجام می‌دهد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر الکترولیت‌های حمایت کننده

به تهیه اسپور باکتریال گردید. استریل‌سازی محیط‌های کشت به روش اتوکلاو در دمای 121°C و به مدت ۱۵ min انجام شد. جهت ارزیابی تعداد باکتری‌های زنده مانده پس از انقضای فاصله زمانی طراحی شده، به روش پورپلیت و انتقال به محیط‌های کشت و شمارش (CFU) انجام شد. غلظت‌های مختلف الکترولیت‌های حمایتی به‌طور روزانه تهیه گردید.



شکل ۱. شمای راکتور مورد استفاده در تحقیق

یافته‌ها

داده‌های جدول شماره ۱ تاثیر اختلاف پتانسیل سلول الکترولیت‌های حاوی الکترولیت‌های حمایتی ($\text{Cu}=2\text{ mg/L}$, $\text{KCl}=5\text{ mg/L}$, $\text{NaBr}=10\text{ mg/L}$) در $\text{pH}=7$ و دمای محیط ارائه نموده است.

جدول ۱. تأثیر جریان الکتریسیته بر روی رشد اسپور باسیلوس سوبتیلیس (تعداد کلنی)

ولتاژ	الکترولیت حمایت کننده (mg/L)	آب آلوده قبل از گندزدایی الکترولیت‌های	۵ min پس از گندزدایی الکترولیت‌های	۱۰ min پس از گندزدایی الکترولیت‌های	۱۵ min پس از گندزدایی الکترولیت‌های
۴/۵ volt	CuI	غیر قابل شمارش	۷۳	۶۰	۵۰
	NaBr	غیر قابل شمارش	۹۲	۹۰	۷۸
	KCl	غیر قابل شمارش	۱۰۰	۹۰	۸۵
۶/۵ volt	CuI	غیر قابل شمارش	۷۰	۵۸	۴۷
	NaBr	غیر قابل شمارش	۹۰	۸۰	۷۱
	KCl	غیر قابل شمارش	۹۹	۸۷	۸۲
۸ volt	CuI	غیر قابل شمارش	۶۳	۵۳	۴۰
	NaBr	غیر قابل شمارش	۸۸	۷۸	۷۰
	KCl	غیر قابل شمارش	۹۱	۷۸	۷۳

بالاتری در کاهش پاتوژن‌ها برخوردار بود؛ به‌طوری‌که به مدت زمان بیشتری برای حذف کامل اسپور باسیلوس سوبتیلیس نیاز بود.

در غیرفعال‌سازی الکترولیت‌های باکتری‌ها و برگزیدن الکترولیت مناسب جهت حذف باکتری‌های آب انجام شد.

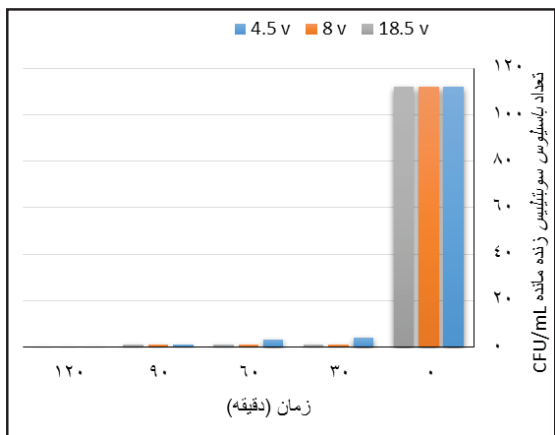
روش کار

در این مطالعه که به صورت تجربی - آزمایشگاهی صورت گرفت، از راکتور الکترولیت‌های متشکل از دو الکترود استنلس استیل با ابعاد $2\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ (به فاصله ۲ cm از یکدیگر) و با گنجایش مفید ۱۰۰ CC استفاده شد. منبع تغذیه برق مستقیم (DC) جهت تأمین جریان القایی مورد نیاز، منظور شد (شکل ۱). تعداد نمونه‌ها و اجرای ران‌های الکترولیت‌های با استفاده از نرم‌افزار R تعیین گردید.

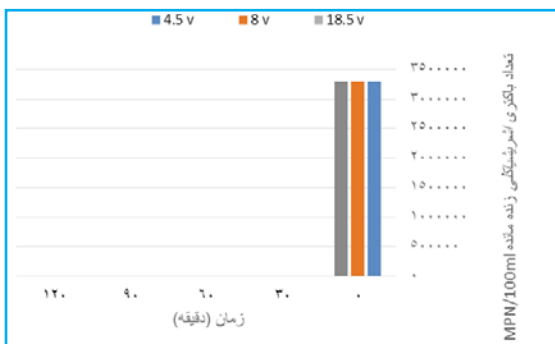
سویه باکتری‌های اشریشیاکلی و باسیلوس سوبتیلیس از کلکسیون میکروبی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران تهیه شد. به منظور فعال‌سازی مجدد باکتری‌ها، از محیط‌های کشت نوترینت آگار، TSA و EMB (محصول مرک آلمان) استفاده شد. تمامی پلیت‌های کشت داده شده به منظور رشد اشریشیاکلی و باسیلوس سوبتیلیس به مدت ۲۴ h در انکوباتور با دمای $35/5^{\circ}\text{C}$ قرار داده شدند. با قرار دادن کشت حاوی کلنی‌های باسیلوس سوبتیلیس در دمای 25°C به مدت یک هفته، اقدام

در جدول ۱ کاهش تعداد کلنی باکتری و افزایش گندزدایی آب با گذشت زمان مشاهده می‌شود. از بین الکترولیت‌ها، دیدمس از راندمان

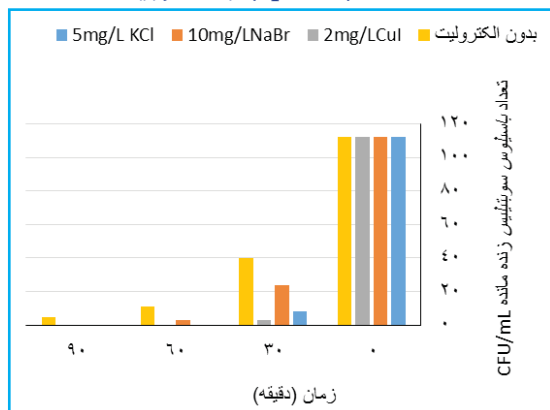
نتایج بررسی بقای تعداد باکتری باسیلوس سوبتیلیس و اشریشیاکلی در راکتور الکتروشیمیایی بدون الکترولیت حمایت کننده، در شکل های ۳ و ۴ ارائه شده است.



شکل ۳. تعداد باکتری باسیلوس سوبتیلیس زنده مانده در جریان الکتریکی ۵۰۰ mA در pH=۷ (بدون الکترولیت)

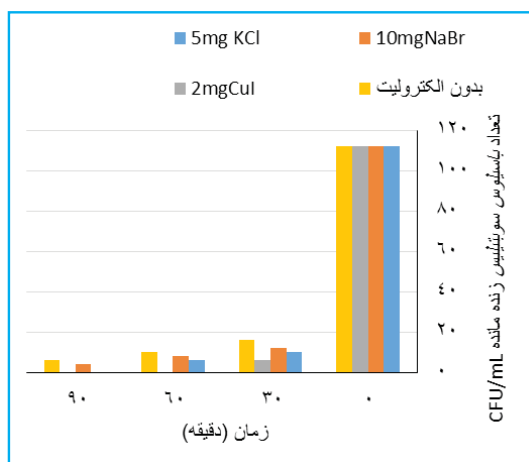


شکل ۴. بررسی تعداد اشریشیاکلی زنده مانده در جریان الکتریکی ۵۰۰ mA در pH=۷ (بدون الکترولیت)

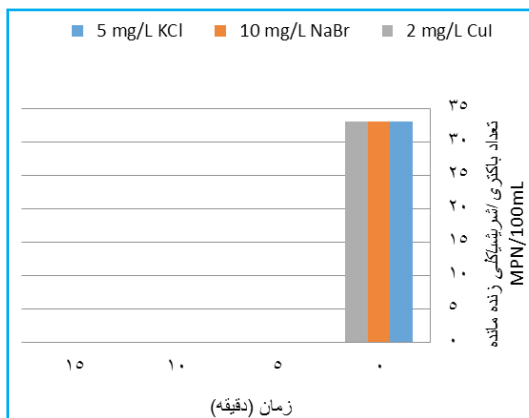


شکل ۵. تعداد باسیلوس سوبتیلیس زنده مانده در جریان الکتریکی ۵۰۰ mA توأم با حضور حمایت کننده های الکترولیتی پتاسیم کلراید، سدیم برمید و یدیدمس در ولتاژ ۸ ولت و pH=۷

نتایج حاصل از تأثیر جریان الکتریسیته و همچنین الکترولیت های مورد نظر بر باکتری باسیلوس سوبتیلیس در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل کاهش تعداد باکتری با گذشت زمان مشاهده می گردد. الکترولیت CuI بهتر از دو الکترولیت دیگر عمل کرده و NaBr قدرت کمتری در کاهش رشد باکتری ارائه نمود.

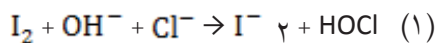


شکل ۱. بررسی تعداد باسیلوس سوبتیلیس زنده مانده در جریان الکتریکی ۵۰۰ mA توأم با حضور حمایت کننده های الکترولیتی پتاسیم کلراید، سدیم برمید و یدیدمس در ولتاژ ۴/۵ ولت و pH=۷ تأثیر جریان الکتریسیته و الکترولیت ها بر باکتری اشریشیاکلی در شکل ۲ نشان داده شده است. این باکتری پس از ۵ min حذف شد که نشان دهنده برخورداری آن از مقاومت کمتر در برابر الکترولیز می باشد.

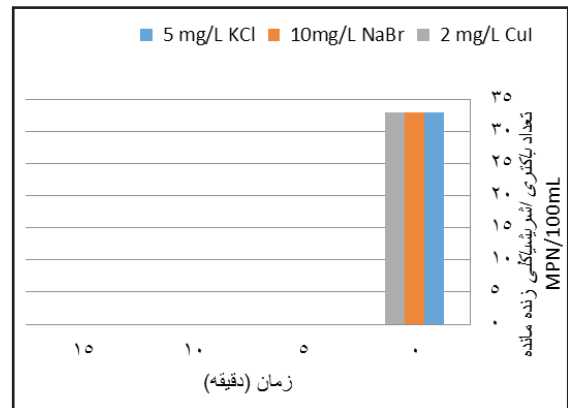


شکل ۲. تعداد باکتری اشریشیاکلی زنده مانده در جریان الکتریکی ۵۰۰ mA توأم با حضور حمایت کننده های الکترولیتی پتاسیم کلراید، سدیم برمید و یدیدمس در ولتاژ ۴/۵ ولت و pH=۷

کاربرد وسیع کلر، دی اکسید کلر، ازون و پرتو فرابنفش، باقی ماندن کیست های بسیار مقاوم ژیا ردیا و کریپتوسپوریدیوم در آب، اثربخشی گندزدایی متداول را با چالشی بزرگ روبرو ساخته است (۱۸، ۱۹). تکنولوژی الکتروشیمی با استفاده از الکترودها و الکترولیت های مناسب، با برخورداری از قابلیت تولید عوامل اکسیداتیو قوی رادیکال هیدروکسیل، پراکسید هیدروژن، ازون و کلر فعال آزاد، می تواند بر عملکرد غشاء سلولی و اکسیداسیون کوآنزیم سلول اثر کرده و شرایط غیرفعال سازی و حذف سلول میکروبی را فراهم سازد (۲۰). افزایش ولتاژ، باعث افزایش انتقال الکترون و در نتیجه ارتقاء اثر ضد میکروبی سیستم الکتروشیمی می گردد (۱۶). با توجه به مقایسه عملکرد الکترولیت های مورد استفاده در پژوهش حاضر، می توان دریافت که الکترولیت حمایت کننده یدیدمس (Cul) بیشترین تأثیر را بر غیرفعال سازی میکروبی داشته است. این پدیده را می توان به بالا بودن سرعت انتقال یونی Cul و بهبود برقراری اختلاف پتانسیل سیستم نسبت داد که امکان برقراری جریان القایی را در ولتاژ پایین ممکن می سازد. برقراری میدان الکتریکی کارآمد، در ایجاد اختلال در نفوذپذیری غشاء سلولی مؤثر بوده؛ به طوری که ورود ید مولکولی را تسریع می کند. هالوژن ید دارای فعالیت ضد میکروبی ضعیف تری نسبت به کلر است. ید مولکولی با نفوذ به دیواره سلولی میکروبی و مداخله در واکنش های متابولیک پروتوپلاست، سبب مرگ آنها می شود. مکانیسم اثر فرآیند الکتروشیمی حاوی Cul به صورت رابطه ۱ خواهد بود:



افزایش زمان الکترولیز به دلیل تولید بیشتر محصولات حاصل از الکترولیز باعث بهبود فرآیند گندزدایی می شود. در طی فرآیند الکترولیز، یون های هیدروکسیل و Cl^- به ترتیب بر روی الکترودهای کاتد و آند تولید می شود. این محصولات مسئول گندزدایی آب هستند (۲۱). در پژوهش Rahmani (۲۰۰۴)، از روش الکترولیز در گندزدایی آب های صنعتی استفاده شد. در نتیجه در زمان ۵ min کاهش معنی داری از تعداد



شکل ۶. بررسی تعداد باکتری اشريشیاکلی زنده مانده در جریان الکتریکی ۵۰۰ mA توأم با حضور حمایت کننده های الکترولیتی پتانسیم کلراید، سدیم برومید و یدیدمس در ولتاژ ۸ ولت با pH=۷

نتایج حاصل از تأثیر جریان الکتریسیته و الکترولیت بر روی رشد باکتری باسیلوس سوبتیلیس در شکل ۵ نشان داده شده است. مقایسه روند کاهش تعداد باکتری های باسیلوس سوبتیلیس در سیستم های بدون الکترولیت حمایت کننده و با الکترولیت حمایتی کننده، نشان دهنده اثربخشی قابل توجه الکترولیت های حمایتی در غیرفعال سازی باکتری ها بوده است. بر اساس نتایج حاصل از تأثیر زمان در معرض جریان قرار گرفتن با کلنی های باکتری اشريشیاکلی و باسیلوس سوبتیلیس مشخص شد که افزایش الکترولیت و زمان در کاهش تعداد این باکتری نیز تأثیر مثبتی داشته است. همچنین نتایج حاصل از تأثیر جریان الکتریسیته و الکترولیت ها بر روی رشد باکتری اشريشیاکلی در نمودار ۶ نشان داده شده است. در این نمودار کاهش تعداد کلنی های باکتری و افزایش گندزدایی آب با گذشت زمان مشاهده می شود. باکتری اشريشیاکلی از مقاومت کمتری در مقابل الکتریسیته برخوردار بود، اما باسیلوس سوبتیلیس مقاومت بیشتری داشته و افزودن الکترولیت سبب تسهیل در حذف این باکتری شد.

بحث

شیوع بیماری های گاستروانتریت، هپاتیت A و E، ژیا ردیازیس و کریپتوسپوریدیوزیس به واسطه مصرف آب آلوده، سالانه جان بسیاری از افراد جهان را به مخاطره می اندازد (۱۷). علی رغم

کلیفرم‌ها در آب‌های صنعتی گزارش شد (۱۵). نتایج پژوهش همکاران Hoseini و همکاران (۲۰۱۶) در مورد تأثیر جریان الکتریکی بر باکتری اشریشیاکلی ثابت نمود که این باکتری با جریان مستقیم ۲۵ mA، پس از زمان ۱۰ ثانیه در سوسپانسیون حاوی کلراید از بین می‌رود (۲۲). در مطالعه کسری کرمانشاهی و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی تأثیر میدان الکتریکی بر تعداد کلنی باکتری اشریشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس، جمعیت این باکتری‌ها در مدت زمانی که توسط میدان الکتریکی تیمار شدند، کاهش یافت و تأثیر میدان الکتریکی بر روی باکتری اشریشیاکلی نسبت به استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر بود. تعداد کلنی‌های باکتری تیمار شده با میدان الکتریکی در طول مدت قرار گرفتن در معرض میدان الکتریکی افزایش نشان داد، اما این افزایش نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر بود که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی داشت (۲۲) میزان حساسیت باکتری‌های مختلف در شرایط یکسان غلظت و زمان تماس می‌تواند نسبت به هم بسیار متفاوت باشد (۲۳). طبق نتایج حاصل از مطالعه Rychen و همکاران (۲۰۰۳) کارایی گندزدایی آب عمدتاً به زمان الکترولیز و جنس

الکترودها بستگی دارد (۲۴). نتایج پژوهش رحمانی و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که قدرت گندزدایی الکترودها به ترتیب $St-St > St-Al, St-Cu > Cu-Cu, Al-Cu > Al-Al$ می‌باشد (۱۵).

نتیجه‌گیری

افزودن الکترولیت‌های حمایت‌کننده، سبب افزایش توانایی غیرفعال‌سازی فرآیند الکتروشیمیایی می‌گردد. با اضافه کردن جداگانه هر یک از الکترولیت‌های حمایتی کلرید پتاسیم، برومید سدیم و یدید مس به سیستم الکتروشیمیایی، فرآیند غیرفعال‌سازی باکتری‌ها، در مدت زمان کوتاه‌تری صورت پذیرفته که می‌تواند در کاهش مصرف انرژی الکتریسته اعمالی مؤثر باشد. الکترولیت حمایت‌کننده یدید مس از قابلیت غیرفعال‌سازی بالاتری برخوردار است.

تشکر و قدردانی

تمامی تست‌ها در آزمایشگاه میکروبیولوژی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شده است. بدین‌وسیله از دانشگاه علوم پزشکی تهران برای در اختیار قرار دادن امکانات، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References:

1. Delaet Y, Daneels A, Declerck P, Behets J, Ryckeboer J, Peters E, et al. The impact of electrochemical disinfection on Escherichia coli and Legionella pneumophila in tap water. *Microbiological research*. 2008;163(2):192-9.
2. Kerwick M, Reddy S, Chamberlain A, Holt D. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*. 2005;50(25-26):5270-7.
3. Derayat J PM, Jafari Motlagh Z, Zinatizadeh A.A. Performance of Electrocoagulation Process in the Removal of Total Coliform and Heterotrophic Bacteria from Surface Water. *Journal of water & wastewater*. 2015.
4. Rice EW, Fox KR, Miltner RJ, Lytle DA, Johnson CH. Evaluating plant performance with endospores. *Journal of The American water works Association*. 1996;8(1):122-30.
5. Facile N, Barbeau Ib, Prevost M, Koudjonou B. Evaluating Bacterial aerobic spores as a surrogate for Giardia and Cryptosporidium inactivation by ozone. *Water Res*. 2000;34(12):3238-46.
6. Owens JH, Miltner RY, Rice Ew, Johnson CH, Dahling DR, Schaefer FW, et al. Pilot-Scale Ozone Inactivation of Cryptosporidium and Other Microorganisms in Natural Water. *Ozone: Science & Engineering*. 2000;22(5):501-17.
7. Driks A. Bacillus subtilis spore coat. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 1999;63(1):1-20.
8. Massoudinejad MR, MTA, Ghanbari F, Mirshafian. Evaluation of the Efficiency of electrolysis process with continuous flow in the disinfection of water contaminated with fecal coliform. *Arak Medical University Journal (AMUJ)*. 2014.
9. Kraft A. Electrochemical water disinfection: a short review. *Platinum metals review*. 2008;52(3):177-85.
10. Tsolaki E, P. P, Diamadopoulos E. Electrochemical disinfection of simulated ballast water using Artemia salina as indicator. *Chemical Engineering Journal*. 2010;156(2):305-12.
11. López-Gálvez F, D.Posada-Izquierdo G, V. Selma M, Pérez-Rodríguez F, Gobet J, I.Gil M, et al. Electrochemical disinfection: An efficient treatment to inactivate Escherichia coli O157:H7 in process wash water containing organic matter. *Food Microbiology*. 2012;30(1):146-56.
12. Rezaee A, Kashi G, Jonidi Jafari A, Khataee A. Investigation of E. coli Removal from Polluted Water Using Electrolysis

- Method. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;4(2):201-12.
13. Gholami M, Nazari S, Yari AR, Mohseni SM, Matboo SA. Removal of E. coli and S. aureus from polluted water using electrolysis method with Al-Fe electrodes. Tehran University Medical Journal. 2017;75(2):85-95.
 14. Massoudinejad M, Yazdanbakhsh A, Mohamadi B, Habibe M. Possibility of making liquid Disinfectant from Electrolysis of NaCl. Safety Promotion and Injury Prevention. 2016;4(2):69-74.
 15. Rahmani Alireza sMR. Investigation of Coliform Removal from Drinking Water by Electrolysis. Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences & Health services. Summer 2008;15.
 16. Mogadam Arjmand A, Rezaee M, Naseri S, Eshraghi S. Study of sodium chloride supporting electrolyte on electrochemical removal of Bacillus subtilis spores from drinking water. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;8(1):81-8.
 17. WHO. Death and Disability - adjusted life year (DALY) Rates , by WHO Region , World Health Organization. 2009.
 18. Fayer R, Speer C, Dubey J. General biology of Cryptosporidium. Cryptosporidiosis of man and animals. 1990:1-29.
 19. Taylor RH, Falkinham JO, Norton CD, LeChevallier MW. Chlorine, chloramine, chlorine dioxide, and ozone susceptibility of Mycobacterium avium. Applied and Environmental Microbiology. 2000;66(4):1702-5.
 20. Ghernaout D, Ghernaout B. From chemical disinfection to electrodisinfection: The obligatory itinerary? Desalination and Water Treatment. 2010;16(1-3):156-75.
 21. Drees KP, Abbaszadegan M, Maier RM. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. Water research. 2003;37(10):2291-300.
 22. Hoseini S.A., Amiri Kojuri S., Hashemi Karuei S.M. . Effects of Electrical Current on Fungal and Bacterial Removal from Water. 2016.
 23. Jin T, He Y. Antibacterial activities of magnesium oxide (MgO) nanoparticles against foodborne pathogens. Journal of Nanoparticle Research. 2011;13(12):6877-85.
 24. Rychen P, Haenni W, Pupunat L. Water treatment without chemistry. CHIMIA International Journal for Chemistry. 2003;57(10):655-8.