

بررسی کارایی حذف باکتری های کلیفرمی از آب آشامیدنی به روش الکترولیز

دکتر علیرضا رحمانی*، دکتر محمدرضا سمرقندی**

دریافت: ۸۶/۱۰/۱۱، پذیرش: ۸۷/۷/۱۳

چکیده:

مقدمه و هدف: عملیات حذف میکروارگانیسم های بیماریزا از آب سابقه ای تاریخی دارد. روشهای متداولی که برای گندزدایی آب استفاده می شود شامل کاربرد مواد شیمیایی، اوزن زنی، اشعه ماورا بنفش، فرآیندهای غشایی و غیره می باشد. در طی سالیان اخیر تمایل به استفاده از روشهای الکتروشیمیایی جهت گندزدایی آب رو به گسترش بوده است. هدف اصلی در این مطالعه بررسی کارایی حذف باکتری های کلیفرمی به عنوان شاخص آلودگی آب آشامیدنی به روش الکترولیز می باشد. متغیرهای مورد بررسی در گندزدایی آب خام شامل ولتاژهای مختلف، الکترودهای مختلف (آلومینیوم، مس و استنلس استیل)، فاصله بین الکترودها بوده است.

روش کار: جهت انجام آزمایش ها، نمونه آب آلوده با اضافه نمودن یک کلنی باکتری های کلیفرمی رشد داده شده در محیط کشت EMB به آب تهیه گردید. به منظور بررسی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی در حذف باکتری های شاخص آلودگی آب از چند ترکیب مختلف جفت الکترود در ولتاژها و فواصل الکترودی مختلف استفاده شد. آب آلوده وارد راکتور الکتروشیمیایی گردید و در حالت های مختلف و در زمان مواجهه ثابت کارایی حذف بررسی گردید.

نتایج: یافته ها نشان می دهد که کارایی حذف بستگی به ولتاژ و جنس جفت الکترودها دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایش ها بهترین کارایی گندزدایی مربوط به جفت الکترود استنلس استیل با فاصله ۲ سانتیمتر از یکدیگر، ولتاژ ۱۰ ولت و شدت جریان ۱۳۵ میلی آمپر است که در مدت ۵ دقیقه $MPN/100 ml=0$ حاصل شده است.

نتیجه نهایی: با توجه به نتایج حاصله، استفاده از روش الکتروشیمیایی به عنوان یک روش نوید بخش و سازگار با محیط در گندزدایی آب پیشنهاد می گردد.

کلید واژه ها: الکترولیز / تصفیه آب / کلیفرم / گندزدایی

مقدمه:

گروه کلیفرم بوده است. نتایج مطالعات صورت گرفته در سال ۱۹۷۰ بر روی مواد گندزدایی که بطور طولانی مدت مصرف می شده است نشان دهنده ایجاد محصولات جانبی ناشی از گندزدایی بوده است (۱). این مواد حاصل واکنش عامل گندزدا با مواد آلی خاص موجود در آب بوده و می توانند برای سلامتی انسان مضر باشند (۲) به همین دلیل تلاش در جهت جایگزینی روش های جدیدتری که دارای اثرات جانبی کمتری باشند مورد توجه مراکز تحقیقاتی قرار گرفته است.

با توجه به نیاز حیاتی انسان به آب سالم، موضوع سالم سازی آب آشامیدنی قدمتی طولانی داشته و به دوران یونان باستان بر می گردد. امروزه معمولترین طرق گندزدایی آب استفاده از روش های شیمیایی، اوزن زنی، اشعه فرابنفش و فرایندهای غشایی می باشد (۱). در گذشته اولین تاکید در بحث گندزدایی آب آشامیدنی، پیشگیری از ایجاد بیماری های منتقله توسط آب بوسیله کنترل حضور باکتری های شاخص از جمله باکتریهای

* دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان (rahmani@umsha.ac.ir)

** استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان

به عنوان یک شاخص مناسب در کیفیت آب شناخته شده است زیرا تعیین و مشخص کردن آنها در آب به راحتی صورت می گیرد. در آب تصفیه شده نباید کلیفرم وجود داشته باشد و اعتقاد بر این است که در صورت وجود، عمل تصفیه کافی نبوده و یا آلودگی به نحوی در طول تصفیه وارد گردیده است. اگر چه وجود ارگانسیم های کلیفرم به طور مستقیم ارتباطی با وجود ویروسها ندارد و کیست بعضی از انگل های شناخته شده نیز نسبت به میکروارگانسیم های کلیفرم در مقابل گندزدایی مقاوم تر می باشند، معهداً هنوز به عنوان شاخص آلودگی در کنترل کیفیت آب به کار می روند. چون امروزه جهت کنترل کیفیت میکروبی در تصفیه خانه های آب نیز اقدام به پایش باکتریهای شاخص کلیفرمی می گردد (۱۰) و بر آن اساس کارایی واحد تصفیه در حذف بار آلودگی باکتریایی معین می گردد، در این مطالعه نیز از این شاخص برای بررسی کارایی روش الکترولیز در حذف عوامل باکتریایی استفاده شده است از طرف دیگر کاربرد الکترودهای ترکیبی به شکلی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته در منابع دیگر گزارش نگردیده است. بنابراین در مطالعه حاضر حذف یا غیر فعال شدن باکتری کلیفرم به عنوان شاخص میکروبی در آب توسط عبور جریان الکتریسیته پیوسته با ولتاژهای مختلف، کاربرد انواع الکتروده و ترکیب آنها و نیز فاصله متغیر بین الکترودها، در زمان ثابت مورد پژوهش قرار گرفته است.

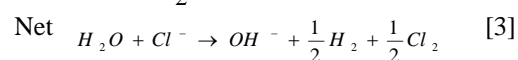
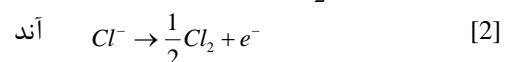
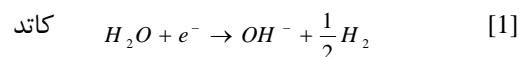
روش کار:

کشت و شمارش باکتری: در این مطالعه کاربردی تحلیلی جهت تهیه نمونه آب خام آلوده به باکتری های کلیفرم، ابتدا مقداری از آب آلوده در محیط لاکتوز برات (Merck) کشت داده شد. محیط کشت حاوی باکتری به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت در انکوباتور با درجه حرارت 35°C قرار داده شد. پس از کدر شدن محیط کشت بدلیل رشد باکتریها، نمونه به محیط کشت EMB آگار (Merck) منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در حرارت 35°C قرار داده شد. نمونه آب آلوده با اضافه کردن یک کلنی با جلای فلزی رشد کرده بر روی پلیت به ۱۰۰۰ میلی لیتر آب آماده گردید. بدین ترتیب نمونه مناسبی جهت انجام آزمایشها فراهم گردید. به منظور تعیین کارایی فرآیند در نابودی باکتریها در ابتدا و انتهای هر مرحله از آزمایشها اقدام به نمونه برداری و تعیین شاخص MPN/100ml (محتملترین تعداد باکتری در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه) گردید. کشت میکروبی نیز بر

یکی از روش هایی که طی سالهای اخیر توسعه زیادی داشته است کاربرد روش الکترولیز در جنبه های مختلف بهسازی محیط بوده است. کشتن یا غیرفعال شدن باکتریها و سلولهای قارچی به روش الکتروشیمیایی در حال حاضر بخوبی به اثبات رسیده است (۵-۲). در خصوص چگونگی تاثیر این روش بر عوامل میکروبی مکانیزم های مختلفی شناخته شده است. از جمله این عوامل می توان به تاثیر اکسید کنندگی و مرگ سلول میکروبی ناشی از تولید شدن مواد اکسید کننده در واکنش الکتروشیمیایی، تراوا شدن غیر قابل برگشت غشاء سلولی با اعمال میدان الکتریکی و نیز اکسیداسیون الکتروشیمیایی سلول های حیاتی به هنگام مواجهه با جریان الکتریسیته و یا وارد شدن در میدان الکتریکی اشاره نمود (۵، ۲).

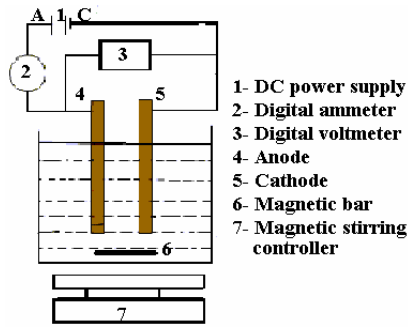
هنگامی که جریان الکتریسیته از طریق الکترودهای غوطه ور در آب در محیط آبی اعمال می گردد، ترکیبات اکسید کننده شیمیایی شکل می یابد (۶) در فرآیند الکترولیز حضور اکسیژن محلول باعث تولید اکسید کننده های مختلفی از جمله هیدروژن پراکسید، OH^- و اوزن و در حضور یون های کلراید باعث تولید کلر آزاد و دی اکسید کلر در محل الکترودها خواهد شد (۸، ۱۰، ۷). چنین اکسید کننده هایی غالباً عامل کشنده برای میکروب ها در حین کاربرد جریان الکتریسیته مستقیم برشمرده می شوند. تحقیقات جاری حاکی از آن است که عوامل ضد میکروبی (اکسید کننده های تولید شده) و جریان الکتریسیته بصورت تشدید کننده ای در غیرفعال کردن میکروب ها عمل می نمایند (۶) بسیاری از پژوهش ها بر کاربرد میدان های الکتریکی و جریان الکتریسیته جهت کشتن باکتری ها و قارچ ها در صنایع و کاربردهای پزشکی متمرکز شده است (۹، ۵، ۳).

نحوه عمل فرآیند الکتروشیمیایی در سیستم های مایعی کاملاً پیچیده است. طبق روابط ۱، ۲ و ۳ بر روی الکترودهای آند و کاتد بترتیب عمل اکسیداسیون احیا بصورت زیر انجام می پذیرد (۷):



هدف اصلی از این مطالعه، بررسی کارایی حذف باکتری های کلیفرمی به عنوان شاخص آلودگی آب آشامیدنی به روش الکترولیز بوده است. میکروارگانسیم های کلیفرم

استفاده قرار گرفت. پس از تعیین تعداد کلیفرم، کارآیی حذف برای هر ترکیب الکترودی در ولتاژ بکار رفته با یکدیگر مقایسه گردیدند. شکل ۱ نمایی از پایلوت مورد استفاده را نشان می دهد. به کمک همزن مغناطیسی، عمل هموژن نمودن محتویات داخل بشر به انجام رسیده است.



شکل ۱: نمای راکتور طراحی شده

نتایج:

نتایج حاصل از تاثیر جریان مستقیم بر گندزدایی آب با استفاده از روش الکترولیز در ولتاژها، جفت الکترودها و فواصل مختلف بین الکترودها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: MPN/100ml نمونه های خروجی از راکتور بر اساس

تغییرات ولتاژ با کاربرد جفت الکترودهای ترکیبی

اختلاف پتانسیل (ولت)	فاصله بین الکترودها (سانتیمتر)					تعداد کلیفرم (MPN/100ml)
	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۸	
St-St						
۰	۰	۰	۰	۲/۲	۳/۶	۲
۰	۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۴
۰	۰	۱/۱	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۸
Al-Al						
۱/۱	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۹/۲	۱۲	۲
۱/۱	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۹/۲	۱۲	۴
۳/۶	۵/۱	۶/۹	۱۲	۱۶/۱	۲۳	۸
Cu-Cu						
۰	۱/۱	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۶/۹	۲
۱/۱	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۹/۲	۱۲	۴
۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۹/۲	۱۲	۸
Al-St						
۰	۰	۰	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۲
۰	۰	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۴
۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۹/۲	۸
Cu-St						
۰	۰	۰	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۲
۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۴
۰	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۹/۲	۸
Al-Cu						
۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۲
۰	۱/۱	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۴
۱/۱	۲/۲	۳/۶	۵/۱	۶/۹	۹/۲	۸

اساس روش ارائه شده در کتاب روش های استاندارد آزمایش های آب و فاضلاب با روش ۵ لوله ای انجام شد (۱۲،۱۱).

آماده سازی راکتور و اندازه گیری ها: از یک بشر استریل ۵۰۰ میلی لیتری و دو عدد الکتروود به عنوان سلول الکتروشیمیایی استفاده شد. به منظور تعیین اثر جنس الکتروود بر کارآیی گندزدایی، از الکترودهایی از جنس استنلس استیل، آلومینیوم و مس در ابعاد ۱۵×۴ سانتیمتر استفاده گردید. ترتیب قرار گرفتن زوج الکترودها با یکدیگر به شرح زیر بود: الکتروود مس و آلومینیوم (Al-Cu) الکترودهای آلومینیوم و استنلس استیل (Al-St) الکترودهای مس و مس (Cu-Cu) الکترودهای مس و استنلس استیل (Cu-St)، الکترودهای آلومینیوم و آلومینیوم (Al-Al) و الکترودهای استنلس استیل و استنلس استیل (St-St).

قبل از کاربرد الکترودها، به منظور پاکسازی سطح آنها، از محلول اسید کلریدریک (۱۵ wt٪) استفاده گردید. ۲۵۰ میلی لیتر از نمونه آب آلوده تهیه شده به بشر استریل اضافه گردید (pH = ۷/۵) سپس الکترودها در مراحل جداگانه در فواصل ۲، ۴، ۸ و ۱۶ سانتی متری از یکدیگر داخل بشر غوطه ور شدند. برای تمامی جفت الکترودهای یاد شده از یک شرایط ثابت از لحاظ فاصله الکترودی، زمان مواجهه و نیز شدت ولتاژ در طی آزمایش ها استفاده گردید. از آنجائیکه ولتاژ و آمپر متناسب با یکدیگر تغییر می کنند و هر یک به تنهایی می توانند شرایط کار را در آزمایشات توصیف نمایند، لذا تنها از پارامتر ولتاژ استفاده گردید. به منظور ارزیابی تاثیر جریان مستقیم بر فرآیند گندزدایی، نمونه در معرض ولتاژهای مختلف (۵، ۸، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ ولت) در زمان ثابت قرار داده شد. شدت جریان بکار گرفته شده نیز متناسب با ولتاژ مصرفی (۵ تا ۲۵ ولت) در حدفاصل ۵۰ تا ۴۰۰ میلی آمپر اندازه گیری گردید. با وجودی که یکی از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر کارآیی حذف زمان تماس می باشد ولی به دلیل بررسی تاثیر ۶ سری جفت الکتروود ترکیبی در گندزدایی، عملاً با توجه به تعداد زیاد متغیرها، زمان الکترولیز بطور ثابت ۵ دقیقه در نظر گرفته شد. در ابتدا و انتهای آزمایش ها اقدام به تعیین MPN/100ml گردید. بدین ترتیب تعداد نمونه های برداشت شده در مجموع ۱۲۶ مورد بدست آمد. در هر مورد نمونه برداشتی، بطور جداگانه دو آزمون شمارش کلیفرم انجام و میانگین نتایج حاصله مورد

الکترودهای Al-Al و نیز جفت الکترودهای Cu-Cu، ولتاژ لازم جهت گندزدایی بترتیب ۲۰ و ۲۵ ولت بوده است در حالی که در خصوص جفت الکترودهای St-St این مقدار ۱۰ ولت (۱۳۵ میلی آمپر) بدست آمده است. هنگامی که از الکترودهای استنلس استیل بصورت ترکیبی با سایر الکترودها استفاده شود، ولتاژ مورد نیاز ۱۵ ولت بوده است. تاثیر شدت جریان بر کارایی گندزدایی برای جفت الکترودهای St-Al و St-Cu تقریباً یکسان بوده است. بنابراین قدرت گندزدایی بر اساس نوع جفت الکترودهای ترکیبی را می توان بصورت زیر نتیجه گیری نمود:

$$\text{St-St} > \text{St-Al}, \text{St-Cu} > \text{Cu-Cu}, \text{Al-Cu} > \text{Al-Al}$$

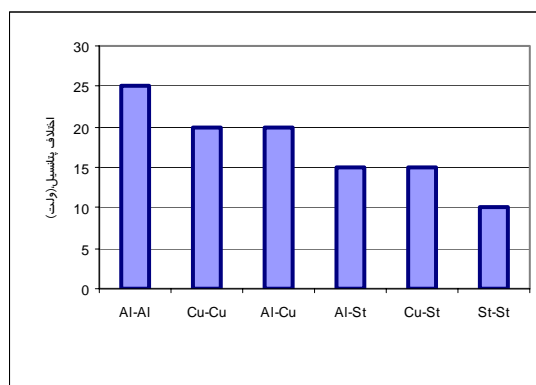
اعتقاد بر این است که افزایش زمان الکترولیز و یا شدت جریان به دلیل تولید سریعتر محصولات حاصل از الکترولیز با بهبود کارایی گندزدایی همراه می باشد. در طی فرآیند الکتروشیمیایی، هنگامی که اختلاف پتانسیلی بین الکترودها برقرار شود، یون های هیدروکسیل و Cl^- بترتیب بر روی الکترودهای کاتد و آند تولید می شوند. این محصولات مسئول گندزدایی آب می باشند. علاوه بر عوامل یاد شده، محصولات دیگری نیز در فرآیند الکتروشیمیایی تولید می شود که از بین این مجموعه محصولات یک یا تعداد بیشتری از آنها در فرآیند گندزدایی نقش دارند (۲، ۶، ۸).

طبق نتایج حاصل از مطالعات انجام شده، کارایی گندزدایی آب عمدتاً به شدت جریان بکار رفته در سیستم و جنس الکترودها بستگی دارد (۸) این تاثیر مربوط به افزایش نیروی برشی بر روی سطح الکترودها، با افزایش ولتاژ می باشد. نیروی برشی ناشی از اختلاف پتانسیل بین الکترودها عامل اصلی در انجام فرآیند الکتروشیمیایی محسوب می گردد (۶).

تاداشی و همکاران از الکترودهای کربن- پارچه ای جهت گندزدایی آب آشامیدنی استفاده نموده اند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، بکارگیری ولتاژ ۰/۷ ولت باعث نابودی باکتری های اشیریشیا کلی گردیده است (۵). کوین و همکاران سرعت غیر فعال شدن باکتری های اشیریشیاکلی را ۲/۱ تا ۴/۳ برابر بیشتر از باکتریوفازهایی که در معرض شدت جریان ۲۵-۳۵۰ میلی آمپر بوده اند گزارش کرده اند (۶). گزارش کومر و همکاران حاکی از آن است که استفاده از روش الکتروشیمیایی با ایجاد عوامل اکسید کننده در ولتاژ ۱۰ ولت پس از ۱۰ دقیقه

طبق نتایج حاصله، با افزایش اختلاف پتانسیل، کارایی فرآیند گندزدایی نیز افزایش یافته است. جفت الکترودهای استنلس استیل نسبت به سایر جفت الکترودها، بیشترین کارایی را در حذف میکروبی نشان داد.

در شکل ۲ نیز کارایی فرآیند گندزدایی بعنوان تابعی از نوع ترکیب جفت الکترودها و ولتاژ در فاصله الکترودی ۲ سانتی متر و زمان مواجهه ۵ دقیقه با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج نشان می دهد که جفت الکترودهای St-St نیازمند شدت جریان و ولتاژ کمتری در مقایسه با سایر جفت الکترودها می باشد.



شکل ۲: مقایسه ولتاژهای مورد نیاز در جفت الکترودهای بکار گرفته شده جهت انجام گندزدایی

(پتانسیل الکتریکی: ۲۵-۵ ولت، زمان تماس: ۵ دقیقه و فاصله بین جفت الکترودها ۲ سانتیمتر)

بحث:

گندزدایی آب با استفاده از فرآیندهای الکتروشیمیایی از جمله روشهای رو به توسعه می باشد. در این مطالعه حذف باکتری های کلیفرمی به عنوان یکی از شاخص های آلودگی آب با تاکید بر نوع الکترودها، فاصله جفت الکترودها از یکدیگر و ولتاژ مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تاثیر جریان پیوسته با استفاده از الکترودهای آلومینیوم، آهن و استنلس استیل نشان داده است که برای تمام ترکیب الکترودهای بکار گرفته شده کارایی حذف با افزایش ولتاژ رابطه مستقیم و با فاصله نسبت معکوس دارد.

در مقایسه کارایی فرآیند گندزدایی بعنوان تابعی از نوع ترکیب جفت الکترودها و ولتاژ در فاصله الکترودی ۲ سانتی متر و زمان مواجهه ۵ دقیقه مشخص شد که جفت الکترودهای St-St نیازمند شدت جریان و ولتاژ کمتری در مقایسه با سایر جفت الکترودها می باشد. بطوری که با بکارگیری جفت

اقدام به گندزدایی آب نمود، در این بین استفاده از جفت الکتروستاتیک استیل در ولتاژ ۱۰ ولت و شدت جریان ۱۳۵ میلی آمپر در ۵ دقیقه زمان ماند به عنوان بهترین گزینه قابل استفاده در این پژوهش تعیین گردیده است.

سپاسگزاری:

نویسندگان این مقاله از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان به خاطر حمایت مالی از این تحقیق و فراهم نمودن امکانات لازم و همچنین از خانمها معصومه مبرا و صدیقه لک به خاطر همکاری در انجام تحقیق تشکر و قدردانی می نمایند.

منابع:

1. Bryant ED, Fulton GP, Budd GC, Disinfection alternatives for safe drinking water. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
2. Bisneto RT, Bidoia E. Effects of the electrolytic treatment on bacillus subtilis. Brazilian J Microbiol 2003; 34: 48-50.
3. Kumar S, Gabriel O, Hung YC, Michael P. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivation Escherichia coli O157: H7, Salmonella enteritidis and Listeria monocytogenes. Appl Environ Microbiol 1999; 65 (9): 4276-4279.
4. Johnstone PT, Bodger PS. High voltage disinfection of liquids. IPENZ Transaction 1997; 24: 30-35.
5. Tadashi M A, Satoshi N, Takamuka T, Grant BJ, Noriyuki N, Koji S. Disinfection of drinking water by using a novel electrochemical reactor employing carbon-cloth electrodes. Appl Environ Microbiol 1992; 58: 686-689.
6. Kevin PD, Abbaszadegan M, Maire RM. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. J Water Res 2003; 37: 2291-2300.
7. Sawyer C, McCarty P, Parkin G. Chemistry for environmental engineering and science. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
8. Philippe R, Haenni W, Pupunat L. Water treatment without chemistry, Chimia 2003; 57(10): 655-658.
9. Patermarakis G, Fountoukidis E. Disinfection of water by electrochemical treatment. J Water Res 1990; 24:1491-1496.
10. Bitton G. Wastewater microbiology. 3rd ed. New Jersey: Wiley & Sons, 2005.
11. Alley ER. Water quality control handbook. New York: McGraw-Hill, 2000.
12. Eaton AD, Clesceri LA, Greenberg E. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. New York: APHA, AWWA, WEF, 1998.
13. Tokudoa H, Nakanishi K. Application of direct current to protect bioreactor against

بطور مؤثری باعث کشته شدن باکتری های اشریشیا کلی نوع 0157:H، سالمونلا اینتریدیس و لیستریا منوسیوتوزنس شده است (۳). توکودوا و ناکانیشی از جریان الکتروسیسته مستقیم به شدت ۶۰ میلی آمپر جهت ممانعت از رشد اشریشیاکلی، با سیلوس سوبتیلیس، سودوموناس آئروژینوزا و استافیلوکوکوس ائروس استفاده نموده اند (۱۳). همچنین پاترماریس و همکاران طی مطالعه ای باکتری های کلیفرمی و استرپتوکوکوسی های مدفوعی موجود در آب های سطحی طبیعی را در معرض جریان مستقیم ۲/۵ میلی آمپر در سانتی متر مربع قرار دادند. پس از گذشت زمان ۳۰ دقیقه تعداد قابل توجهی از باکتری های یاد شده کاهش یافتند (۹).

نتایج حاصل از این مطالعه و پژوهش های مشابه نشان می دهد که امکان استفاده از روش های الکتروشیمیایی در مقیاس واقعی وجود دارد اما باید اذعان نمود که بررسی های اقتصادی به موازات بررسی های تکنیکی صورت نپذیرفته است. اما مطالعات انجام شده توسط کوبایا و همکاران در خصوص حذف رنگ، COD و کدورت از صنایع نساجی با استفاده از روش الکتروکواگولاسیون نشان داده است که هزینه های عملیاتی برای حذف هر کیلو گرم COD با استفاده از الکترودهای آهن و آلومینیوم به ترتیب ۰/۱ و ۰/۳ دلار و هزینه مصرف الکترودها در فرآیند نیز به ترتیب ۵۰ و ۸۰ درصد کل هزینه ها می باشد (۱۴). همچنین در مطالعه دیگری که توسط ایشان در خصوص تصفیه پذیری پساب حاصل از کشتارگاه مرغ با استفاده از روش الکتروشیمیایی انجام شده مشخص گردیده است که کل هزینه عملیاتی برای تصفیه هر متر مکعب پساب برای الکترودهای آهن و آلومینیوم به ترتیب ۰/۴-۰/۳ و ۰/۷-۰/۶ دلار خواهد بود (۱۵). اما در پژوهش حاضر جفت الکتروستاتیک استیل به عنوان بهترین گزینه مورد انتخاب قرار گرفته است، استنلس استیل به دلیل مقاومت بالاتری که نسبت به خوردگی از خود نشان می دهد در تاسیسات طول عمر بیشتری داشته و می توان پیش بینی نمود که هزینه های عملیاتی گندزدایی کمتر خواهد بود.

نتیجه نهایی:

طبق نتایج حاصل از مطالعه با استفاده از جفت الکترودهای مختلف و ولتاژ مناسب می توان از روش الکتروشیمیایی به عنوان یک روش سازگار با محیط و پاک

- contamination. *Biosci Biotechnol Biochem* 1995; 59: 753-755.
14. Bayramoglu M, Kobya M, Can OT, Sozbir M. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separ Purifi Technol* 2004;37:117-125.
15. Bayramoglu M, Kobya M, Eyvaz M, Senturk E. Technical and economic analysis of electrocoagulation for the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Separ Purifi Technol* 2006; 51(3): 404-408.