



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1075P-NWWCE

گندزدایی آب آلوده با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی واجد الکتروکودمک استیل

فاطمه غنی زاده*^۱، عباس رضایی^۲، حاتم گودینی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مجتمع آموزش عالی سلامت دورد، دانشگاه علوم پزشکی

لرستان، خرم آباد

۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج

f.ghanizadeh58@yahoo.com

خلاصه

کلرزنی یکی از روش‌های مطرح در گندزدایی آب‌های آلوده می‌باشد با این وجود، کارایی کافی جهت حذف برخی از عوامل بیماری‌زا را ندارد. از این رو فرآیندهای نوین که توان بیشتری را در حذف عوامل ویژه داشته باشند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مطالعه، حذف باکتری‌های اشرشیا کلی و پseudomonas آئروژینوزا از آب آلوده با غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ عدد باکتری در هر میلی‌لیتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان داد که از میان پارامترهای مورد ارزیابی، دانسیته جریان بیشترین تأثیر را در راندمان گندزدایی داشت و پس از آن غلظت باکتری در آب و غلظت نمک طعام موجود در الکترولیت، به ترتیب در گندزدایی مؤثر بودند. در شرایط بهینه ۱۰۰ میلی‌آمپر به ترتیب در مدت زمان ۵ تا ۶۰ دقیقه کاملاً حذف شدند. همچنین افزودن نمک به الکترولیت، موجب کاهش میزان ولتاژ مصرفی به منظور تأمین دانسیته جریان مورد نظر و صرفه‌جویی در میزان مصرف انرژی می‌گردد. فرآیند الکتروشیمی با استفاده از الکترودهای مش استیل، یک فرآیند مناسب جهت گندزدایی آب آلوده حاوی باکتری‌های بیماری‌زا می‌باشد.

کلمات کلیدی: مش استیل، کیتیک گندزدایی، الکتروشیمی، اشرشیا کلی، پseudomonas آئروژینوزا

۱. مقدمه

کلرزنی به‌عنوان یکی از روش‌های مرسوم و کاربردی گندزدایی آب‌های آلوده مطرح می‌باشد. با این وجود مشخص گردیده که واکنش کلر با ترکیبات آلی موجود در آب، موجب تولید محصولات فرعی ناخواسته گندزدایی می‌گردد و توان حذف برخی از عوامل بیماری‌زای مقاوم را ندارد [۱،۲]. محصولات جانبی حاصل از گندزدایی با کلر نظیر ترکیبات تری هالومتان و هالواسیتیک اسیدها به دلیل خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی به‌عنوان یک مشکل اصلی در آب کلرزنی شده مطرح گردیدند. علاوه بر این، ترکیبات مذکور موجب تغییرات بو و مزه در آب شده و مشکلات مربوط به آن را ایجاد می‌نماید [۳].

به‌طور کلی، عوامل میکروبی در صورتی که در معرض شرایط نامطلوب نظیر تغییرات فشار اسمزی، جریان الکتریکی، گرما، سرما، مواد شیمیایی، اکسیدان‌ها و پرتو ماوراء بنفش قرار گیرند دچار تغییر و آسیب می‌شوند و می‌توان از این عوامل جهت گندزدایی آب استفاده نمود. بر اساس این مکانیسم عمل ترکیبات مذکور، روش‌های مختلف تصفیه آب آشامیدنی نظیر اسمز معکوس، فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی، پرتو ماوراء بنفش، پرتوهای ماوراء صوت، ازن، پراکسید هیدروژن، فتولیز، فتوکاتالیز، یکنواخت و غیریکنواخت، رادیولیز، تخلیه الکترویهیدرولیتیکی، سیستم‌های واجد ولتاژ بالا، و الکترولیز مورد مطالعه و جهت گندزدایی آب پیشنهاد گردیده‌اند [۴، ۵]. علاوه بر این تحقیقات صورت گرفته نشان داد که برخی از روش‌های تصفیه از جمله کلرزنی، کارایی کافی در برابر برخی از عوامل بیماری‌زا مقاوم را ندارند. عوامل بیماری‌زا نظیر زیاردیا لامبلیا،

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

کریپتوسپوریدیوم پاوروم، برخی از ویروس‌های گوارشی و میکروسپوریدیا از جمله این عوامل میکروبی هستند. در میان روش‌های مختلف، گندزدایی با الکتروشیمی، کاربردی‌ترین روش نوظهور به‌عنوان یک روش جایگزین برای کلرزنی می‌باشد [۶]. مسعودی نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۳، آب آلوده به اشرشیا کلی را با راکتور جریان پیوسته واجد الکترودهای مس با فاصله ۵ سانتی‌متر و ولتاژ ۴۸ ولت گندزدایی کردند و در مدت زمان ۷۰ دقیقه به راندمان ۹۹ درصد حذف باکتری دست یافتند. همچنین گزارش کرده‌اند که تغییر معنی‌داری در pH، TDS و EC در زمان‌های مختلف و با تغییر نوع منبع باکتری‌های کلی فرمی ایجاد نشد [۷]. رضایی و همکاران در سال ۱۳۹۰، حذف باکتری اشرشیا کلی را از آب آلوده به روش الکترولیز مورد آزمایش قرار دادند و گزارش کرده‌اند که راکتور با فرآیند الکترولیز واجد الکتروود روی و مس به ترتیب آند و کاتد با فاصله ۲ سانتی‌متر در مدت زمان ۱۰ دقیقه می‌تواند در ولتاژ ۲۰ و ۳۰ ولت غلظت ۱۰۳ و ۱۰۲ عدد باکتری در میلی‌لیتر نمونه را با راندمان بیش از ۹۷٪ حذف نماید [۸]. دیو و همکاران در سال ۲۰۰۴، گندزدایی اشرشیا کلی را با روش‌های مختلف گندزدایی کلرزنی، ازن زنی، واکنش‌های فنتون و الکتروشیمی با حضور حمایت‌کننده الکترولیتی نمک طعام با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در الکترولیت را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش گندزدایی الکتروشیمی نسبت به سایر روش‌ها موثرتر بوده است و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز این مطلب را تأیید کرد [۹]. فرآیند الکتروشیمی امروزه در حل مشکلات آلودگی بسیار موفقیت‌آمیز عمل کرده است. تصفیه آب به روش الکتروشیمی این پتانسیل را دارد که برای گندزدایی و بهبود کیفیت فیزیکی شیمیایی انواع آب از جمله آب شرب، صنعتی و فاضلاب خانگی بکار گرفته شود. تصفیه الکتروشیمی یک تکنولوژی بسیار قدرتمند که با دو مکانیسم عمل می‌کند: اکسیداسیون مستقیم در سطح آند و اکسیداسیون غیر مستقیم در محلول، توسط عوامل اکسیدانت که از مواد موجود در آب تولید می‌شوند. این تکنولوژی می‌تواند برای کاهش مواد آلی و گندزدایی آب حتی بدون حضور کلراید مورد استفاده قرار گیرد، از اینرو، بدون تشکیل کلر آزاد و محصولات فرعی ناشی از آن عمل می‌کند [۱۰]. فرآیند گندزدایی الکتروشیمی یک فرآیند ساده، کارآمد و کم‌هزینه است که فضای کم جهت عملکرد نیاز دارد. علاوه بر این مزایا، مزیت دیگر این روش، عدم نیاز به افزودن مواد شیمیایی نظیر کلر جهت گندزدایی آب شرب می‌باشد. از این‌رو به فرآیند پاک نیز شهرت دارد زیرا عوامل اصلی واکنشگر در این فرآیند، عوامل مضر شیمیایی نمی‌باشند [۹]. از آنجایی که در فرآیند الکتروشیمی شدت و دانسیته جریان زیاد موجب انحلال و خوردگی الکتروود آند در آب و صرف هزینه بیشتر می‌گردد، در این پژوهش سعی شد که با به‌کارگیری الکترودهای مش استیل و شدت و دانسیته جریان کمتر در حذف باکتری‌های بیماری‌زا استفاده گردد تا مشکلات خوردگی آند اتفاق نیفتد و هزینه مصرف انرژی کاسته شود، همچنین حذف ۲ سویه باکتری‌های بیماری‌زای شایع که همگی از طریق آب موجب انتقال بیماری می‌گردد با این فرآیند، مدنظر قرار گرفت. هدف اصلی این مطالعه تعیین میزان حذف باکتری‌های بیماری‌زا از آب آلوده با استفاده از سیستم الکتروشیمی واجد الکتروود مش استیل می‌باشد. همچنین اهداف جزئی عبارت‌اند از تعیین اثر میزان جریان القایی در سیستم الکتروشیمیایی، تعیین اثر ماهیت آند (مش استیل) و تعیین اثر حمایت‌کننده الکترولیتی نمک طعام در حذف باکتری‌های بیماری‌زا از آب آلوده می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

تهیه سوسپانسیون باکتری‌های بیماری‌زا:

در این تحقیق کاربردی باکتری‌های استاندارد اشرشیا کلی و پسودوموناس آئروژینوزا به‌عنوان باکتری‌های گرم منفی که باکتری‌های بیماری‌زا هستند، از آزمایشگاه مرجع وزارت بهداشت تهیه شده و مورد مطالعه قرار گرفتند.

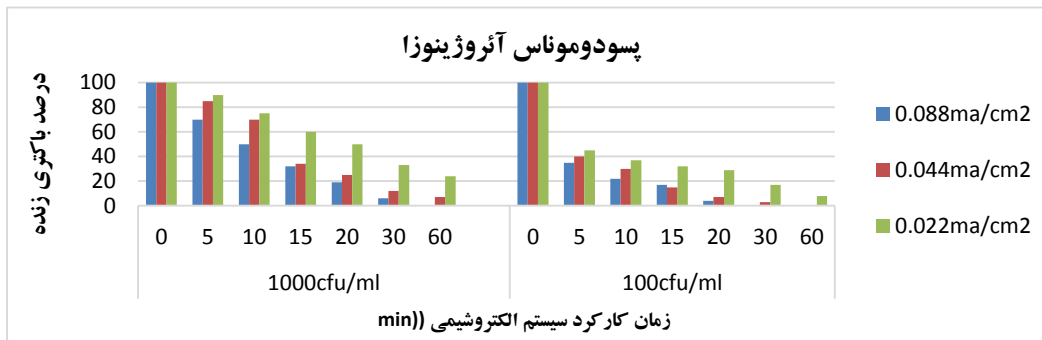
تهیه لوله‌های استاندارد مک فارلند:

جهت بررسی حذف هر کدام از سویه‌های باکتری توسط سیستم الکتروشیمی، غلظت باکتریها در محدوده ۱۰۳ و ۱۰۲ عدد در میلی‌لیتر مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور دستیابی به تعداد باکتری‌های مورد نظر از لوله‌های استاندارد مک فارلند استفاده شد که دارای نسبت‌های مختلف دو ترکیب اسید سولفوریک و کلروباریوم بودند. کلروباریوم در حضور سولفات کدورت شیری رنگ ایجاد می‌کند که شدت کدورت ایجادشده به میزان سولفات و کلرو باریوم بستگی دارد. در این روش کدورت ایجاد شده در لوله‌های مختلف با کدورت ایجادشده توسط تعداد معینی از باکتری متناسب است. محلول‌های شیمیایی مورد استفاده در تهیه محلول مک فارلند شامل اسید سولفوریک یک درصد و کلرو باریوم دوآبه (BaCl₂.2H₂O) ۱/۱۷۵ / بود. لوله استاندارد مک فارلند ۰/۵ بیانگر ۱/۵×۱۰۸ باکتری در میلی‌لیتر است. حجم محلول‌های کلرو باریوم و اسید سولفوریک مورد نیاز برای تهیه آن به ترتیب ۰/۰۵ و ۹/۹۵ میلی‌لیتر است. سوسپانسیون باکتری تا حدی به آب اضافه گردید تا کدورت ایجاد شده توسط

باکتری‌ها معادل با کدورت اندازه‌گیری شده در لوله استاندارد مک فارلند ۰/۵ باشد. سپس با انجام رقیق‌سازی، تعداد باکتری دارای ۱۰۳ و ۱۰۲ عدد در میلی‌لیتر آب آلوده تهیه گردید [۱۲، ۱۱]. باکتری‌ها در محیط کشت مایع به چهار روش تعیین می‌شود که روش سنجش کدورتی، بیشترین کاربرد را دارد و معمولاً در تعیین و برآورد تعداد باکتری‌های موجود در نمونه مورد مطالعه طبق دستورالعمل کمیته ملی استاندارد سازی آزمایشگاه‌های بالینی از آزمایش استاندارد مک فارلند، استفاده می‌شود.

آماده سازی راکتور:

ظرف پیرکس ۱۰۰۰ میلی‌لیتر، دو الکتروود مش استلنس استیل، فاصله الکتروودها ۲ سانتی‌متر جهت ساخت راکتور استفاده شد. حجم آب یک لیتر در نظر گرفته شد. منبع تغذیه جریان الکتریکی با دو اتصال سیم به‌عنوان کاتد و آند به الکتروودها متصل شد. جهت ثابت نگه داشتن دانسیته جریان مورد نظر در راکتور، ولتاژ را تغییر داده شد. نمونه‌ها در مدت زمان (۶۰-۵ دقیقه)، تعداد باکتری برای هر کدام از سویه‌ها (۱۰۰ و ۱۰۰۰ عدد باکتری در هر میلی‌لیتر)، الکتروولیت (آب خام و آب با غلظت نمک طعام ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و در دانسیته جریان‌های مختلف (۰/۲۲ تا ۰/۸۸ میلی‌آمپر بر سانتی‌متر مربع) تحت الکتروولیز قرار گرفتند. در هر نوبت آزمون از نمونه آب شهری که با افزودن چند قطره تیوسولفات سدیم ۳٪ کلر باقیمانده آن صفر شده بود برای تهیه سوسپانسیون باکتریایی مورد نظر استفاده گردید. با راه‌اندازی راکتور با الکتروودهای مورد نظر و دانسیته جریان‌های مختلف در هر کدام از باکتری‌های مورد مطالعه با توجه به نوع و غلظت باکتری در نمونه آب آلوده و دانسیته جریان در فواصل زمان ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵، ۱۲۰، ۱۵۰، ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۴۰، ۳۰۰، ۳۶۰، ۴۲۰، ۴۸۰، ۵۴۰، ۶۰۰، ۶۶۰، ۷۲۰، ۷۸۰، ۸۴۰، ۹۰۰، ۹۶۰، ۱۰۲۰، ۱۰۸۰، ۱۱۴۰، ۱۲۰۰، ۱۲۶۰، ۱۳۲۰، ۱۳۸۰، ۱۴۴۰، ۱۵۰۰، ۱۵۶۰، ۱۶۲۰، ۱۶۸۰، ۱۷۴۰، ۱۸۰۰، ۱۸۶۰، ۱۹۲۰، ۱۹۸۰، ۲۰۴۰، ۲۱۰۰، ۲۱۶۰، ۲۲۲۰، ۲۲۸۰، ۲۳۴۰، ۲۴۰۰، ۲۴۶۰، ۲۵۲۰، ۲۵۸۰، ۲۶۴۰، ۲۷۰۰، ۲۷۶۰، ۲۸۲۰، ۲۸۸۰، ۲۹۴۰، ۳۰۰۰، ۳۰۶۰، ۳۱۲۰، ۳۱۸۰، ۳۲۴۰، ۳۳۰۰، ۳۳۶۰، ۳۴۲۰، ۳۴۸۰، ۳۵۴۰، ۳۶۰۰، ۳۶۶۰، ۳۷۲۰، ۳۷۸۰، ۳۸۴۰، ۳۹۰۰، ۳۹۶۰، ۴۰۲۰، ۴۰۸۰، ۴۱۴۰، ۴۲۰۰، ۴۲۶۰، ۴۳۲۰، ۴۳۸۰، ۴۴۴۰، ۴۵۰۰، ۴۵۶۰، ۴۶۲۰، ۴۶۸۰، ۴۷۴۰، ۴۸۰۰، ۴۸۶۰، ۴۹۲۰، ۴۹۸۰، ۵۰۴۰، ۵۱۰۰، ۵۱۶۰، ۵۲۲۰، ۵۲۸۰، ۵۳۴۰، ۵۴۰۰، ۵۴۶۰، ۵۵۲۰، ۵۵۸۰، ۵۶۴۰، ۵۷۰۰، ۵۷۶۰، ۵۸۲۰، ۵۸۸۰، ۵۹۴۰، ۶۰۰۰، ۶۰۶۰، ۶۱۲۰، ۶۱۸۰، ۶۲۴۰، ۶۳۰۰، ۶۳۶۰، ۶۴۲۰، ۶۴۸۰، ۶۵۴۰، ۶۶۰۰، ۶۶۶۰، ۶۷۲۰، ۶۷۸۰، ۶۸۴۰، ۶۹۰۰، ۶۹۶۰، ۷۰۲۰، ۷۰۸۰، ۷۱۴۰، ۷۲۰۰، ۷۲۶۰، ۷۳۲۰، ۷۳۸۰، ۷۴۴۰، ۷۵۰۰، ۷۵۶۰، ۷۶۲۰، ۷۶۸۰، ۷۷۴۰، ۷۸۰۰، ۷۸۶۰، ۷۹۲۰، ۷۹۸۰، ۸۰۴۰، ۸۱۰۰، ۸۱۶۰، ۸۲۲۰، ۸۲۸۰، ۸۳۴۰، ۸۴۰۰، ۸۴۶۰، ۸۵۲۰، ۸۵۸۰، ۸۶۴۰، ۸۷۰۰، ۸۷۶۰، ۸۸۲۰، ۸۸۸۰، ۸۹۴۰، ۹۰۰۰، ۹۰۶۰، ۹۱۲۰، ۹۱۸۰، ۹۲۴۰، ۹۳۰۰، ۹۳۶۰، ۹۴۲۰، ۹۴۸۰، ۹۵۴۰، ۹۶۰۰، ۹۶۶۰، ۹۷۲۰، ۹۷۸۰، ۹۸۴۰، ۹۹۰۰، ۹۹۶۰، ۱۰۰۲۰، ۱۰۰۴۰، ۱۰۰۶۰، ۱۰۰۸۰، ۱۰۱۰۰، ۱۰۱۲۰، ۱۰۱۴۰، ۱۰۱۶۰، ۱۰۱۸۰، ۱۰۲۰۰، ۱۰۲۲۰، ۱۰۲۴۰، ۱۰۲۶۰، ۱۰۲۸۰، ۱۰۳۰۰، ۱۰۳۲۰، ۱۰۳۴۰، ۱۰۳۶۰، ۱۰۳۸۰، ۱۰۴۰۰، ۱۰۴۲۰، ۱۰۴۴۰، ۱۰۴۶۰، ۱۰۴۸۰، ۱۰۵۰۰، ۱۰۵۲۰، ۱۰۵۴۰، ۱۰۵۶۰، ۱۰۵۸۰، ۱۰۶۰۰، ۱۰۶۲۰، ۱۰۶۴۰، ۱۰۶۶۰، ۱۰۶۸۰، ۱۰۷۰۰، ۱۰۷۲۰، ۱۰۷۴۰، ۱۰۷۶۰، ۱۰۷۸۰، ۱۰۸۰۰، ۱۰۸۲۰، ۱۰۸۴۰، ۱۰۸۶۰، ۱۰۸۸۰، ۱۰۹۰۰، ۱۰۹۲۰، ۱۰۹۴۰، ۱۰۹۶۰، ۱۰۹۸۰، ۱۱۰۰۰، ۱۱۰۲۰، ۱۱۰۴۰، ۱۱۰۶۰، ۱۱۰۸۰، ۱۱۱۰۰، ۱۱۱۲۰، ۱۱۱۴۰، ۱۱۱۶۰، ۱۱۱۸۰، ۱۱۲۰۰، ۱۱۲۲۰، ۱۱۲۴۰، ۱۱۲۶۰، ۱۱۲۸۰، ۱۱۳۰۰، ۱۱۳۲۰، ۱۱۳۴۰، ۱۱۳۶۰، ۱۱۳۸۰، ۱۱۴۰۰، ۱۱۴۲۰، ۱۱۴۴۰، ۱۱۴۶۰، ۱۱۴۸۰، ۱۱۵۰۰، ۱۱۵۲۰، ۱۱۵۴۰، ۱۱۵۶۰، ۱۱۵۸۰، ۱۱۶۰۰، ۱۱۶۲۰، ۱۱۶۴۰، ۱۱۶۶۰، ۱۱۶۸۰، ۱۱۷۰۰، ۱۱۷۲۰، ۱۱۷۴۰، ۱۱۷۶۰، ۱۱۷۸۰، ۱۱۸۰۰، ۱۱۸۲۰، ۱۱۸۴۰، ۱۱۸۶۰، ۱۱۸۸۰، ۱۱۹۰۰، ۱۱۹۲۰، ۱۱۹۴۰، ۱۱۹۶۰، ۱۱۹۸۰، ۱۲۰۰۰، ۱۲۰۲۰، ۱۲۰۴۰، ۱۲۰۶۰، ۱۲۰۸۰، ۱۲۱۰۰، ۱۲۱۲۰، ۱۲۱۴۰، ۱۲۱۶۰، ۱۲۱۸۰، ۱۲۲۰۰، ۱۲۲۲۰، ۱۲۲۴۰، ۱۲۲۶۰، ۱۲۲۸۰، ۱۲۳۰۰، ۱۲۳۲۰، ۱۲۳۴۰، ۱۲۳۶۰، ۱۲۳۸۰، ۱۲۴۰۰، ۱۲۴۲۰، ۱۲۴۴۰، ۱۲۴۶۰، ۱۲۴۸۰، ۱۲۵۰۰، ۱۲۵۲۰، ۱۲۵۴۰، ۱۲۵۶۰، ۱۲۵۸۰، ۱۲۶۰۰، ۱۲۶۲۰، ۱۲۶۴۰، ۱۲۶۶۰، ۱۲۶۸۰، ۱۲۷۰۰، ۱۲۷۲۰، ۱۲۷۴۰، ۱۲۷۶۰، ۱۲۷۸۰، ۱۲۸۰۰، ۱۲۸۲۰، ۱۲۸۴۰، ۱۲۸۶۰، ۱۲۸۸۰، ۱۲۹۰۰، ۱۲۹۲۰، ۱۲۹۴۰، ۱۲۹۶۰، ۱۲۹۸۰، ۱۳۰۰۰، ۱۳۰۲۰، ۱۳۰۴۰، ۱۳۰۶۰، ۱۳۰۸۰، ۱۳۱۰۰، ۱۳۱۲۰، ۱۳۱۴۰، ۱۳۱۶۰، ۱۳۱۸۰، ۱۳۲۰۰، ۱۳۲۲۰، ۱۳۲۴۰، ۱۳۲۶۰، ۱۳۲۸۰، ۱۳۳۰۰، ۱۳۳۲۰، ۱۳۳۴۰، ۱۳۳۶۰، ۱۳۳۸۰، ۱۳۴۰۰، ۱۳۴۲۰، ۱۳۴۴۰، ۱۳۴۶۰، ۱۳۴۸۰، ۱۳۵۰۰، ۱۳۵۲۰، ۱۳۵۴۰، ۱۳۵۶۰، ۱۳۵۸۰، ۱۳۶۰۰، ۱۳۶۲۰، ۱۳۶۴۰، ۱۳۶۶۰، ۱۳۶۸۰، ۱۳۷۰۰، ۱۳۷۲۰، ۱۳۷۴۰، ۱۳۷۶۰، ۱۳۷۸۰، ۱۳۸۰۰، ۱۳۸۲۰، ۱۳۸۴۰، ۱۳۸۶۰، ۱۳۸۸۰، ۱۳۹۰۰، ۱۳۹۲۰، ۱۳۹۴۰، ۱۳۹۶۰، ۱۳۹۸۰، ۱۴۰۰۰، ۱۴۰۲۰، ۱۴۰۴۰، ۱۴۰۶۰، ۱۴۰۸۰، ۱۴۱۰۰، ۱۴۱۲۰، ۱۴۱۴۰، ۱۴۱۶۰، ۱۴۱۸۰، ۱۴۲۰۰، ۱۴۲۲۰، ۱۴۲۴۰، ۱۴۲۶۰، ۱۴۲۸۰، ۱۴۳۰۰، ۱۴۳۲۰، ۱۴۳۴۰، ۱۴۳۶۰، ۱۴۳۸۰، ۱۴۴۰۰، ۱۴۴۲۰، ۱۴۴۴۰، ۱۴۴۶۰، ۱۴۴۸۰، ۱۴۵۰۰، ۱۴۵۲۰، ۱۴۵۴۰، ۱۴۵۶۰، ۱۴۵۸۰، ۱۴۶۰۰، ۱۴۶۲۰، ۱۴۶۴۰، ۱۴۶۶۰، ۱۴۶۸۰، ۱۴۷۰۰، ۱۴۷۲۰، ۱۴۷۴۰، ۱۴۷۶۰، ۱۴۷۸۰، ۱۴۸۰۰، ۱۴۸۲۰، ۱۴۸۴۰، ۱۴۸۶۰، ۱۴۸۸۰، ۱۴۹۰۰، ۱۴۹۲۰، ۱۴۹۴۰، ۱۴۹۶۰، ۱۴۹۸۰، ۱۵۰۰۰، ۱۵۰۲۰، ۱۵۰۴۰، ۱۵۰۶۰، ۱۵۰۸۰، ۱۵۱۰۰، ۱۵۱۲۰، ۱۵۱۴۰، ۱۵۱۶۰، ۱۵۱۸۰، ۱۵۲۰۰، ۱۵۲۲۰، ۱۵۲۴۰، ۱۵۲۶۰، ۱۵۲۸۰، ۱۵۳۰۰، ۱۵۳۲۰، ۱۵۳۴۰، ۱۵۳۶۰، ۱۵۳۸۰، ۱۵۴۰۰، ۱۵۴۲۰، ۱۵۴۴۰، ۱۵۴۶۰، ۱۵۴۸۰، ۱۵۵۰۰، ۱۵۵۲۰، ۱۵۵۴۰، ۱۵۵۶۰، ۱۵۵۸۰، ۱۵۶۰۰، ۱۵۶۲۰، ۱۵۶۴۰، ۱۵۶۶۰، ۱۵۶۸۰، ۱۵۷۰۰، ۱۵۷۲۰، ۱۵۷۴۰، ۱۵۷۶۰، ۱۵۷۸۰، ۱۵۸۰۰، ۱۵۸۲۰، ۱۵۸۴۰، ۱۵۸۶۰، ۱۵۸۸۰، ۱۵۹۰۰، ۱۵۹۲۰، ۱۵۹۴۰، ۱۵۹۶۰، ۱۵۹۸۰، ۱۶۰۰۰، ۱۶۰۲۰، ۱۶۰۴۰، ۱۶۰۶۰، ۱۶۰۸۰، ۱۶۱۰۰، ۱۶۱۲۰، ۱۶۱۴۰، ۱۶۱۶۰، ۱۶۱۸۰، ۱۶۲۰۰، ۱۶۲۲۰، ۱۶۲۴۰، ۱۶۲۶۰، ۱۶۲۸۰، ۱۶۳۰۰، ۱۶۳۲۰، ۱۶۳۴۰، ۱۶۳۶۰، ۱۶۳۸۰، ۱۶۴۰۰، ۱۶۴۲۰، ۱۶۴۴۰، ۱۶۴۶۰، ۱۶۴۸۰، ۱۶۵۰۰، ۱۶۵۲۰، ۱۶۵۴۰، ۱۶۵۶۰، ۱۶۵۸۰، ۱۶۶۰۰، ۱۶۶۲۰، ۱۶۶۴۰، ۱۶۶۶۰، ۱۶۶۸۰، ۱۶۷۰۰، ۱۶۷۲۰، ۱۶۷۴۰، ۱۶۷۶۰، ۱۶۷۸۰، ۱۶۸۰۰، ۱۶۸۲۰، ۱۶۸۴۰، ۱۶۸۶۰، ۱۶۸۸۰، ۱۶۹۰۰، ۱۶۹۲۰، ۱۶۹۴۰، ۱۶۹۶۰، ۱۶۹۸۰، ۱۷۰۰۰، ۱۷۰۲۰، ۱۷۰۴۰، ۱۷۰۶۰، ۱۷۰۸۰، ۱۷۱۰۰، ۱۷۱۲۰، ۱۷۱۴۰، ۱۷۱۶۰، ۱۷۱۸۰، ۱۷۲۰۰، ۱۷۲۲۰، ۱۷۲۴۰، ۱۷۲۶۰، ۱۷۲۸۰، ۱۷۳۰۰، ۱۷۳۲۰، ۱۷۳۴۰، ۱۷۳۶۰، ۱۷۳۸۰، ۱۷۴۰۰، ۱۷۴۲۰، ۱۷۴۴۰، ۱۷۴۶۰، ۱۷۴۸۰، ۱۷۵۰۰، ۱۷۵۲۰، ۱۷۵۴۰، ۱۷۵۶۰، ۱۷۵۸۰، ۱۷۶۰۰، ۱۷۶۲۰، ۱۷۶۴۰، ۱۷۶۶۰، ۱۷۶۸۰، ۱۷۷۰۰، ۱۷۷۲۰، ۱۷۷۴۰، ۱۷۷۶۰، ۱۷۷۸۰، ۱۷۸۰۰، ۱۷۸۲۰، ۱۷۸۴۰، ۱۷۸۶۰، ۱۷۸۸۰، ۱۷۹۰۰، ۱۷۹۲۰، ۱۷۹۴۰، ۱۷۹۶۰، ۱۷۹۸۰، ۱۸۰۰۰، ۱۸۰۲۰، ۱۸۰۴۰، ۱۸۰۶۰، ۱۸۰۸۰، ۱۸۱۰۰، ۱۸۱۲۰، ۱۸۱۴۰، ۱۸۱۶۰، ۱۸۱۸۰، ۱۸۲۰۰، ۱۸۲۲۰، ۱۸۲۴۰، ۱۸۲۶۰، ۱۸۲۸۰، ۱۸۳۰۰، ۱۸۳۲۰، ۱۸۳۴۰، ۱۸۳۶۰، ۱۸۳۸۰، ۱۸۴۰۰، ۱۸۴۲۰، ۱۸۴۴۰، ۱۸۴۶۰، ۱۸۴۸۰، ۱۸۵۰۰، ۱۸۵۲۰، ۱۸۵۴۰، ۱۸۵۶۰، ۱۸۵۸۰، ۱۸۶۰۰، ۱۸۶۲۰، ۱۸۶۴۰، ۱۸۶۶۰، ۱۸۶۸۰، ۱۸۷۰۰، ۱۸۷۲۰، ۱۸۷۴۰، ۱۸۷۶۰، ۱۸۷۸۰، ۱۸۸۰۰، ۱۸۸۲۰، ۱۸۸۴۰، ۱۸۸۶۰، ۱۸۸۸۰، ۱۸۹۰۰، ۱۸۹۲۰، ۱۸۹۴۰، ۱۸۹۶۰، ۱۸۹۸۰، ۱۹۰۰۰، ۱۹۰۲۰، ۱۹۰۴۰، ۱۹۰۶۰، ۱۹۰۸۰، ۱۹۱۰۰، ۱۹۱۲۰، ۱۹۱۴۰، ۱۹۱۶۰، ۱۹۱۸۰، ۱۹۲۰۰، ۱۹۲۲۰، ۱۹۲۴۰، ۱۹۲۶۰، ۱۹۲۸۰، ۱۹۳۰۰، ۱۹۳۲۰، ۱۹۳۴۰، ۱۹۳۶۰، ۱۹۳۸۰، ۱۹۴۰۰، ۱۹۴۲۰، ۱۹۴۴۰، ۱۹۴۶۰، ۱۹۴۸۰، ۱۹۵۰۰، ۱۹۵۲۰، ۱۹۵۴۰، ۱۹۵۶۰، ۱۹۵۸۰، ۱۹۶۰۰، ۱۹۶۲۰، ۱۹۶۴۰، ۱۹۶۶۰، ۱۹۶۸۰، ۱۹۷۰۰، ۱۹۷۲۰، ۱۹۷۴۰، ۱۹۷۶۰، ۱۹۷۸۰، ۱۹۸۰۰، ۱۹۸۲۰، ۱۹۸۴۰، ۱۹۸۶۰، ۱۹۸۸۰، ۱۹۹۰۰، ۱۹۹۲۰، ۱۹۹۴۰، ۱۹۹۶۰، ۱۹۹۸۰، ۲۰۰۰۰، ۲۰۰۲۰، ۲۰۰۴۰، ۲۰۰۶۰، ۲۰۰۸۰، ۲۰۱۰۰، ۲۰۱۲۰، ۲۰۱۴۰، ۲۰۱۶۰، ۲۰۱۸۰، ۲۰۲۰۰، ۲۰۲۲۰، ۲۰۲۴۰، ۲۰۲۶۰، ۲۰۲۸۰، ۲۰۳۰۰، ۲۰۳۲۰، ۲۰۳۴۰، ۲۰۳۶۰، ۲۰۳۸۰، ۲۰۴۰۰، ۲۰۴۲۰، ۲۰۴۴۰، ۲۰۴۶۰، ۲۰۴۸۰، ۲۰۵۰۰، ۲۰۵۲۰، ۲۰۵۴۰، ۲۰۵۶۰، ۲۰۵۸۰، ۲۰۶۰۰، ۲۰۶۲۰، ۲۰۶۴۰، ۲۰۶۶۰، ۲۰۶۸۰، ۲۰۷۰۰، ۲۰۷۲۰، ۲۰۷۴۰، ۲۰۷۶۰، ۲۰۷۸۰، ۲۰۸۰۰، ۲۰۸۲۰، ۲۰۸۴۰، ۲۰۸۶۰، ۲۰۸۸۰، ۲۰۹۰۰، ۲۰۹۲۰، ۲۰۹۴۰، ۲۰۹۶۰، ۲۰۹۸۰، ۲۱۰۰۰، ۲۱۰۲۰، ۲۱۰۴۰، ۲۱۰۶۰، ۲۱۰۸۰، ۲۱۱۰۰، ۲۱۱۲۰، ۲۱۱۴۰، ۲۱۱۶۰، ۲۱۱۸۰، ۲۱۲۰۰، ۲۱۲۲۰، ۲۱۲۴۰، ۲۱۲۶۰، ۲۱۲۸۰، ۲۱۳۰۰، ۲۱۳۲۰، ۲۱۳۴۰، ۲۱۳۶۰، ۲۱۳۸۰، ۲۱۴۰۰، ۲۱۴۲۰، ۲۱۴۴۰، ۲۱۴۶۰، ۲۱۴۸۰، ۲۱۵۰۰، ۲۱۵۲۰، ۲۱۵۴۰، ۲۱۵۶۰، ۲۱۵۸۰، ۲۱۶۰۰، ۲۱۶۲۰، ۲۱۶۴۰، ۲۱۶۶۰، ۲۱۶۸۰، ۲۱۷۰۰، ۲۱۷۲۰، ۲۱۷۴۰، ۲۱۷۶۰، ۲۱۷۸۰، ۲۱۸۰۰، ۲۱۸۲۰، ۲۱۸۴۰، ۲۱۸۶۰، ۲۱۸۸۰، ۲۱۹۰۰، ۲۱۹۲۰، ۲۱۹۴۰، ۲۱۹۶۰، ۲۱۹۸۰، ۲۲۰۰۰، ۲۲۰۲۰، ۲۲۰۴۰، ۲۲۰۶۰، ۲۲۰۸۰، ۲۲۱۰۰، ۲۲۱۲۰، ۲۲۱۴۰، ۲۲۱۶۰، ۲۲۱۸۰، ۲۲۲۰۰، ۲۲۲۲۰، ۲۲۲۴۰، ۲۲۲۶۰، ۲۲۲۸۰، ۲۲۳۰۰، ۲۲۳۲۰، ۲۲۳۴۰، ۲۲۳۶۰، ۲۲۳۸۰، ۲۲۴۰۰، ۲۲۴۲۰، ۲۲۴۴۰، ۲۲۴۶۰، ۲۲۴۸۰، ۲۲۵۰۰، ۲۲۵۲۰، ۲۲۵۴۰، ۲۲۵۶۰، ۲۲۵۸۰، ۲۲۶۰۰، ۲۲۶۲۰، ۲۲۶۴۰، ۲۲۶۶۰، ۲۲۶۸۰، ۲۲۷۰۰، ۲۲۷۲۰، ۲۲۷۴۰، ۲۲۷۶۰، ۲۲۷۸۰، ۲۲۸۰۰، ۲۲۸۲۰، ۲۲۸۴۰، ۲۲۸۶۰، ۲۲۸۸۰، ۲۲۹۰۰، ۲۲۹۲۰، ۲۲۹۴۰، ۲۲۹۶۰، ۲۲۹۸۰، ۲۳۰۰۰، ۲۳۰۲۰، ۲۳۰۴۰، ۲۳۰۶۰، ۲۳۰۸۰، ۲۳۱۰۰، ۲۳۱۲۰، ۲۳۱۴۰، ۲۳۱۶۰، ۲۳۱۸۰، ۲۳۲۰۰، ۲۳۲۲۰، ۲۳۲۴۰، ۲۳۲۶۰، ۲۳۲۸۰، ۲۳۳۰۰، ۲۳۳۲۰، ۲۳۳۴۰، ۲۳۳۶۰، ۲۳۳۸۰، ۲۳۴۰۰، ۲۳۴۲۰، ۲۳۴۴۰، ۲۳۴۶۰، ۲۳۴۸۰، ۲۳۵۰۰، ۲۳۵۲۰، ۲۳۵۴۰، ۲۳۵۶۰، ۲۳۵۸۰، ۲۳۶۰۰، ۲۳۶۲۰، ۲۳۶۴۰، ۲۳۶۶۰، ۲۳۶۸۰، ۲۳۷۰۰، ۲۳۷۲۰، ۲۳۷۴۰، ۲۳۷۶۰، ۲۳۷۸۰، ۲۳۸۰۰، ۲۳۸۲۰، ۲۳۸۴۰، ۲۳۸۶۰، ۲۳۸۸۰، ۲۳۹۰۰، ۲۳۹۲۰، ۲۳۹۴۰، ۲۳۹۶۰، ۲۳۹۸۰، ۲۴۰۰۰، ۲۴۰۲۰، ۲۴۰۴۰، ۲۴۰۶۰، ۲۴۰۸۰، ۲۴۱۰۰، ۲۴۱۲۰، ۲۴۱۴۰، ۲۴۱۶۰، ۲۴۱۸۰، ۲۴۲۰۰، ۲۴۲۲۰، ۲۴۲۴۰، ۲۴۲۶۰، ۲۴۲۸۰، ۲۴۳۰۰، ۲۴۳۲۰، ۲۴۳۴۰، ۲۴۳۶۰، ۲۴۳۸۰، ۲۴۴۰۰، ۲۴۴۲۰، ۲۴۴۴۰، ۲۴۴۶۰، ۲۴۴۸۰، ۲۴۵۰۰، ۲۴۵۲۰، ۲۴۵۴۰، ۲۴۵۶۰، ۲۴۵۸۰، ۲۴۶۰۰، ۲۴۶۲۰، ۲۴۶۴۰، ۲۴۶۶۰، ۲۴۶۸۰، ۲۴۷۰۰، ۲۴۷۲۰، ۲۴۷۴۰، ۲۴۷۶۰، ۲۴۷۸۰، ۲۴۸۰۰، ۲۴۸۲۰، ۲۴۸۴۰، ۲۴۸۶۰، ۲۴۸۸۰، ۲۴۹۰۰، ۲۴۹۲۰، ۲۴۹۴۰، ۲۴۹۶۰، ۲۴۹۸۰، ۲۵۰۰۰، ۲۵۰۲۰، ۲۵۰۴۰، ۲۵۰۶۰، ۲۵۰۸۰، ۲۵۱۰۰، ۲۵۱۲۰، ۲۵۱۴۰، ۲۵۱۶۰، ۲۵۱۸۰، ۲۵۲۰۰، ۲۵۲۲۰، ۲۵۲۴۰، ۲۵۲۶۰، ۲۵۲۸۰، ۲۵۳۰۰، ۲۵۳۲۰، ۲۵۳۴۰، ۲۵۳۶۰، ۲۵۳۸۰، ۲۵۴۰۰، ۲۵۴۲۰، ۲۵۴۴۰، ۲۵۴۶۰، ۲۵۴۸۰، ۲۵۵۰۰، ۲۵۵۲۰، ۲۵۵۴۰، ۲۵۵۶۰، ۲۵۵۸۰، ۲۵۶۰۰، ۲۵۶۲۰، ۲۵۶۴۰، ۲۵۶۶۰، ۲۵۶۸۰، ۲۵۷۰۰، ۲۵۷۲۰، ۲۵۷۴۰، ۲۵۷۶۰، ۲۵۷۸۰، ۲۵۸۰۰، ۲۵۸۲۰، ۲۵۸۴۰، ۲۵۸۶۰، ۲۵۸۸۰، ۲۵۹۰۰، ۲۵۹۲۰، ۲۵۹۴۰، ۲۵۹۶۰، ۲۵۹۸۰، ۲۶۰۰۰، ۲۶۰۲۰، ۲۶۰۴۰، ۲۶۰۶۰، ۲۶۰۸۰، ۲۶۱۰۰، ۲۶۱۲۰، ۲۶۱۴۰، ۲۶۱۶۰، ۲۶۱

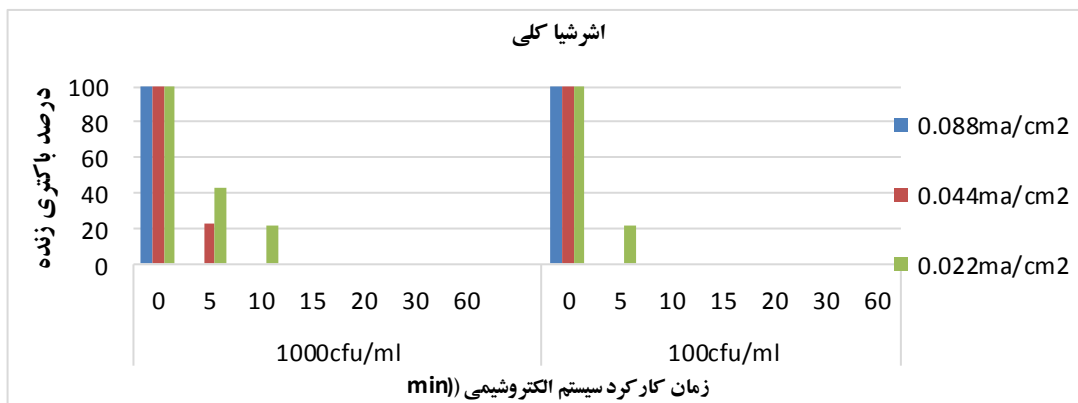


شکل ۱- درصد باکتری زنده اشرشیا کلی با فرآیند الکتروشیمی واجد الکتروود مش استیل

الکتروشیمیایی بر کنتیک حذف باکتری:

تأثیر تغییرات دانسیته جریان و غلظت اولیه باکتری در آب بر میزان حذف باکتری:

در دانسیته جریان ۰،۰۸۸ mA/cm²، با غلظت اولیه ۱۰۳ و ۱۰۲ اشرشیا کلی با زمان ۵ دقیقه و پسودوموناس آئروژینوزا به ترتیب با ۶۰ و ۳۰ دقیقه ۱۰۰٪ حذف شدند. پس از تصفیه آب در زمان‌های مذکور، کشت انجام شده بر روی محیط کشت نوترینت آگار هیچ باکتری رشد نکرد (نمودار ۱ و ۲).



شکل ۲. درصد باکتری های زنده پسودوموناس آئروژینوزا با فرآیند الکتروشیمی واجد الکتروود مش استیل

کینتیک گندزدایی:

جهت تعیین کینتیک فرآیند گندزدایی، $\log(N/N_0)$ نسبت به زمان برحسب دقیقه در دانسیته جریان‌های مختلف رسم گردید. نمودار غیر فعال سازی باکتریها معمولاً از رابطه کینتیک درجه اول زیر پیروی می کند.

$$\text{Log} (N_t/N_0) = -Kt \quad (2)$$

در نمودار $\log N_t/N_0$ در مقابل زمان t ، شیب خط نشان دهنده K (کینتیک ثابت غیر فعال سازی) است، یعنی k سرعت غیر فعال سازی را نشان می دهد [۱۴]. کینتیک گندزدایی باکتری های اشرشیا کلی، پسودوموناس آئروژینوزا در دانسیته جریان های مختلف در زمان حذف کامل باکتری از رابطه ۱۰ محاسبه گردید. با انجام فرآیند الکتروشیمی در فواصل زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه در دانسیته جریان مختلف با غلظت اولیه ۱۰۳ و ۱۰۲ باکتری در هر میلی لیتر به صورت جداگانه در ۲ باکتری مورد مطالعه، درصد تعداد باکتری های زنده در محیط کشت شمارش شد که (جدول ۱-۲) به صورت زیر می باشد:

جدول ۱- درصد باکتری زنده پس از فرآیند الکتروشیمی با دانسیته جریان مختلف

درصد باکتری زنده در هر میلی لیتر بر حسب زمان تا ۶۰ دقیقه کارکرد راکتور	غلظت اولیه باکتری (cfu/ml)	دانسیته جریان mA/cm ²	نوع باکتری
۶۰ ۳۰ ۲۰ ۱۵ ۱۰ ۵	۱۰ ^۳	۰/۰۸۸	اشرشیاکلی
۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۰	۱۰ ^۲	۰/۰۴۴	
۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۲۳	۱۰ ^۳	۰/۰۲۲	
۰ ۰ ۰ ۰ ۰ ۲۲	۱۰ ^۲	۰/۰۸۸	
۰ ۰ ۱۹ ۳۲ ۵۰ ۷۰	۱۰ ^۳	۰/۰۴۴	پسودوموناس آئروژینوزا
۰ ۰ ۴ ۱۷ ۲۲ ۳۵	۱۰ ^۲	۰/۰۲۲	
۷ ۱۲ ۲۵ ۳۴ ۷۰ ۸۵	۱۰ ^۳	۰/۰۸۸	
۰ ۳ ۷ ۱۵ ۳۰ ۴۰	۱۰ ^۲	۰/۰۴۴	
۲۴ ۳۳ ۵۰ ۶۰ ۷۵ ۹۰	۱۰ ^۳	۰/۰۲۲	پسودوموناس آئروژینوزا
۸ ۱۷ ۲۹ ۳۲ ۳۷ ۴۵	۱۰ ^۲	۰/۰۸۸	

جدول ۲- میزان K در زمان حذف باکتری های مورد مطالعه (logN₀=3) با دانسیته جریان مختلف

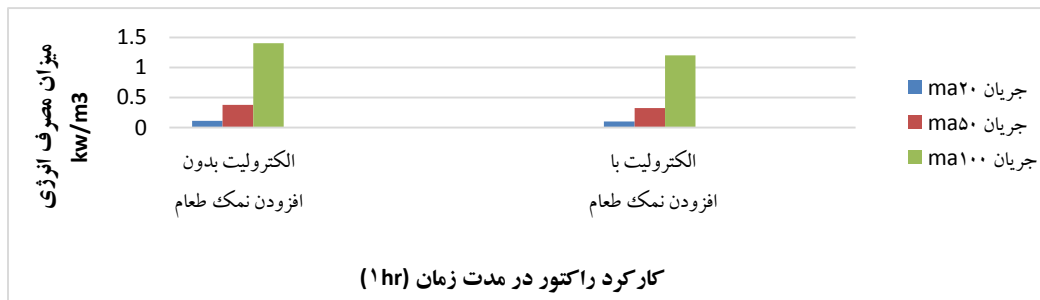
زمان حذف (min)	کنتیکت گذردایی (K)	دانسیته جریان mA/cm ²	نوع باکتری
۵	۰/۶	۰/۰۸۸	اشرشیاکلی
۱۰	۰/۳	۰/۰۴۴	
۱۵	۰/۲	۰/۰۲۲	
۶۰	۰/۰۵	۰/۰۸۸	پسودوموناس آئروژینوزا
۶۰	۰/۰۵	۰/۰۴۴	
۶۰	۰/۰۳۵	۰/۰۲۲	

در این تحقیق راندمان حذف باکتری با تعداد ۱۰^۲ و ۱۰^۳ عدد در میلی لیتر، زمانی که غلظت نمک طعام در الکترولیت ۱۵ و ۱۰، ۵ میلی گرم در لیتر بود، ولتاژ مصرفی جهت تأمین شدت جریان مورد نظر نسبت به الکترولیت آب خام، در شدت جریان ۵۰، ۲۰ و ۱۰۰ میلی آمپر به ترتیب ۰/۵، ۱ و ۲ ولت کاهش یافت. میزان مصرف انرژی الکتریکی در فرآیند الکتروشیمیایی یک مقوله بسیار مهم به شمار می رود. میزان مصرف انرژی الکتریکی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E = \frac{U \cdot I \cdot t}{V}$$

(۳)

در رابطه بالا E میزان مصرف انرژی (kWh/m³)، U ولتاژ (V)، I شدت جریان (A)، t زمان الکترولیز (h) و V حجم آب گندزدایی شده (L) می باشد [۱۵]. به این اساس، کاهش ولتاژ مصرفی جهت تأمین شدت جریان مورد نظر، موجب کاهش میزان مصرف انرژی می شود. در شدت جریان ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی آمپر زمانی که الکترولیت حاوی ۵ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر نمک طعام بود، در زمان یکسان (یک ساعت) الکترولیز نسبت به الکترولیت آب خام، میزان مصرف انرژی به ترتیب برابر با ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۲ کیلو وات بر متر مکعب از خود کاهش نشان داد (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میزان مصرف انرژی راکتور الکتروشیمی با شدت جریان ۱۰۰-۲۰ mA و یا بدون افزودن نمک طعام به الکترولیت در زمان یکسان

۴. بحث و نتیجه گیری

با عنایت به محدودیت‌های مطرح در آب شرب (تغییر کیفیت فیزیکی آب نظیر طعم آن و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه‌های تصفیه آب)، میزان نمک طعام (NaCl) که به الکترولیت افزوده می‌شود و همچنین میزان دانسیته جریان در راکتور باید بسیار کم باشد. تفاسیر مختلفی در مورد مکانیسم غیر فعال‌سازی میکروبی فرآیند الکتروشیمی وجود دارد. اغلب مطالعات بیان می‌کند که استریلیزاسیون موفق الکتروشیمی به فاکتورهای باکتری کشی همانند pH، پر اکسید هیدروژن، ازن، کلر آزاد و پتانسیل اکسیداسیون و احیا (ORP) نسبت داده می‌شود [۱۷، ۱۶]. اکسیدانت‌های فوق، زمانی که تولید می‌شوند، پتانسیل اکسیداسیون بسیار قوی دارند. آن‌ها می‌توانند به دیواره سلول و غشای باکتری حمله کنند و انسجام غشای را در هم بریزند و پاره کنند یا اینکه مولکول‌ها را در سلول الکترولیز کنند که در نتیجه آن موجب مرگ سلول و از بین رفتن آن می‌شوند [۱۹، ۱۸]. در فرآیند الکتروشیمی اکسیداسیون در آند و احیا در کاتد صورت می‌گیرد:



انواع کلر فعال همانند Cl_2 ، HOCl، OCl^- و ClO_2 به‌طور گسترده برای اکسیداسیون سلول‌های غیر فعال شناسایی شده است. این ترکیبات کلر در آند تولید می‌شوند [۲۰]:



حساسیت مختلف باکتریها در گونه‌های مختلف به دلیل نفوذپذیری غشای خارجی آن‌هاست. میزان نفوذپذیری غشای خارجی پسودوموناس آئروژنیوزا نسبت به اشرشیا کلی ۱۲ تا ۱۰۰ مرتبه کمتر گزارش شده است که همین مکانیسم باعث شده است، پسودوموناس آئروژنیوزا در برابر آنتی‌بیوتیک‌های مختلف از خود مقاومت نشان دهد که این ویژگی مهم را غشاهای موکوسی دارند [۲۱]. غشاء میکروارگانیزم‌ها، محل بحرانی جهت حمله اکسیدانت‌ها برای دسترسی به راندمان مؤثر گندزدایی بدون در نظر گرفتن نوع اکسیدانت می‌باشد. هنگامی که دیواره سلولی آسیب می‌بیند به دنبال آن سیتوپلاسم سلول و ترکیبات درون سلول دچار آسیب شدید می‌شوند. رادیکال‌های هیدروکسیل همانند سایر اکسیدکننده‌ها به ترکیبات پلی فسفولپید غیر اشباع موجود در غشاء لیپیدی حمله می‌کنند و اختلال جدی در دیواره سلولی را سبب می‌شوند. اکسیداسیون غشای لیپیدی موجب از دست دادن عملکرد ضروری و انسجام سلول می‌گردد مثل تنفس سلولی که در نهایت موجب مرگ سلول می‌شود [۲۲]. تنها عامل غیرفعال سازی میکروارگانیزم‌ها اکسیدانت‌هایی که در حین الکترولیز تولید می‌شوند، نیستند بلکه جریان مستقیم القایی نیز موجب مرگ آن‌ها می‌شود [۲۳]. در این تحقیق، باکتری اشرشیا کلی به‌عنوان یک باکتری مهم در این آزمایش است چون یک باکتری شاخص کیفیت آب مطرح می‌باشد که جهت دستیابی به راندمان میکروبی کشتی مورد آزمایش قرار گرفت. ملاحظات ناشی از استفاده از الکترولیت دارای نمک طعام در غلظت ۵ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر جهت الکترولیز آب آلوده حاوی باکتری‌های مورد مطالعه نشان داد که تاثیر چشمگیری در افزایش کارایی حذف باکتریها و کاهش زمان حذف ندارد. نکته



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



قابل توجه در این مورد، کاهش ولتاژ مصرفی جهت تامین دانسیته جریان مورد نظر، اقتصادی بودن فرآیند گندزدایی و کاهش هزینه‌ها بود. بنابراین، از آنجایی که با افزودن نمک طعام در الکترولیت کارایی حذف باکتریها تغییری حاصل نشد، می‌توان پی برد که تاثیر اکسیژن واکنشگر (ROS) نظیر رادیکال هیدروکسیل، ازن و پراکسید هیدروژن در فرآیند گندزدایی در این روش مورد مطالعه بسیار چشمگیر بود. این مطالعه با مطالعه انجام گرفته توسط گیلو و مردر ۲۰۰۲، سون و همکاران در ۲۰۰۴، کرویک و همکاران در ۲۰۰۵ و هونگ نالی و همکاران در سال ۲۰۱۱ مطابقت دارد [۲۴، ۲۵]. در این مطالعه غلظت کلر وازن در الکترولیت موجود در راکتور اندازه گیری نشد و ملاک حذف باکتری، عدم رشد بر روی محیط کشت پس از فرآیند الکتروشیمی بود. پس از انجام فرآیند الکترولیز، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب نظیر TDS، TSS، EC، pH و کدورت تغییر نکرد. از آنجایی که میزان شدت جریان در این مطالعه پایین بود با انجام فرآیند الکتروشیمی جهت گندزدایی آب، لجن تولیدی مشاهده نشد. به طور کلی، گندزدایی آب بروش الکتروشیمیایی، یک روش جایگزین مناسب در گندزدایی آب بر علیه باکتری‌های *اشرشیا کلی* و *پسودوموناس آئروژینوزا* محسوب می‌شود. حذف کامل باکتریها با تعداد 10^2 عدد در میلی‌لیتر در بهترین شرایط با الکتروود مش استیل با فاصله ۲ سانتی‌متر، با دانسیته جریان 0.08 میلی‌آمپر در سانتی‌متر مربع به ترتیب در مدت زمان ۵ و ۳۰ دقیقه حاصل گردید. حذف کامل باکتریها با تعداد 10^3 عدد در میلی‌لیتر در بهترین شرایط با الکتروود مش استیل با فاصله ۲ سانتی‌متر، به ترتیب در مدت زمان ۵ و ۶۰ دقیقه اخذ شد.

۵. تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مختلف دانشگاه تربیت مدرس تهران تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۶. مراجع

1. Crittenden J, Russell R, Hand D, Howe K, Tchobanoglous G . *Water Treatment: Principles and Design, 2 nd Wiley, New Jersey, USA Edition 2005*
2. Tchobanoglous G, Burton F, Stensel H . *Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4 th Edition, McGraw Hill, Singapore 2004*
3. Freuze I, Bouillon S, Laplace A, Tozza D, Cavard J “*Effect of chlorination on the formation of odorous disinfection by-products*” *Water Res* 2005; 39:2636
4. Kalisvaart B. Re-use of wastewater: *preventing the recovery of pathogens by using medium-pressure UV lamp technology. Water Sci and Technol* 2004; 50: 337.
5. Lubicki P, Jayaram V. *High voltage pulse application for the destruction of the Gramnegative bacterium Yersinia enterocolitica. Bioelectrochem Bioenerg.* 1997; 43: 135.
6. Szewzyk U, Szewzyk R, Manz W, Schleifer K. *Microbiological safety of drinking water. Annu. Rev. Microbiol* 2000; 54: 81.
7. 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. AMUJ* 2014; 17(84): 56-64
8. Rezaee A, Kashi G, Jonidi Jafari A, Khataee A. *Investigation of E. coli Removal from Polluted Water Using Electrolysis Method. Ijhe.* 2011; 4 (2):201-212
9. Celeste Caíres Pereira Gusmão I, Bueno Moraes P, Dino Bidoia E. *Studies on the Electrochemical Disinfection of Water Anodes Containing Escherichia coli using a Dimensionally Stable. Braz. arch. biol. technol.* 2010; 53:5
10. López-Gálvez F, Guiomar D, Posada-Izquierdo B, María V, Selma A, Pérez-Rodríguez Jean Gobet F, María I. *A Electrochemical disinfection: An efficient treatment to inactivate Escherichia coli O157:H7 in process wash water containing organic matter. Food Microbiology;* 2012, 30(1): 146-156



11. Kumar S, Gabriel O, Hung Y, Michael P. *Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivation Escherichia coli O157: H7, Salmonella enteritidis and Listeria monocytogenes*. Appl Environ Microbiol. 1999;65(9):4276-79.
12. Yoon K, Byeon J, Park J, Hwang J. *Susceptibility constants of Escherichia coli and Bacillus subtilis to silver and copper nanoparticles*. Sci Total Environ. 2007;373:57275
13. Akbal F, Camci S. *Copper, Chromium and nickel removal from metal plating wastewater by electrocoagulation*. J. Electrochem. Sci 2014; 9:4315 – 4330
14. Barashkor N.N, Eisenberg D.A, Iragibaeva I.S. *Chlorine-free Electrochemical Disinfection of water contaminated with salmonella Typhimurium and E.coli*. 2013;2:21-33
15. Patermarakis G, Fountoukidis E. *Disinfection of water by electrochemical treatment* J Water Res 1990; 24:1491-1496
16. Kim C, Hung Y. C, Brackett R. E. *Roles of oxidation-reduction potential in electrolyzed oxidizing and chemically modified water for the inactivation of food-related pathogens*. J. Food Prot. 2000; 63: 19–24
17. Diao H. F, Li X. Y, Gu J. D, Shi H. C. Xie Z. M. *Electron microscopic investigation of the bactericidal action of electrochemical disinfection in comparison with chlorination, ozonation and Fenton reaction*. Process Biochem. 2004; 39:1–6
18. Liu W. K, Brown M. R, Elliott T. S. *Mechanisms of the bactericidal activity of low amperage electric current (DC)*. J. Antimicrob. Chemother. 1997; 39: 687–695
19. Reimanis M, Mezule L, Malers J, Ozolins J, Juhna T. *Model water disinfection with electrolysis using TinO_{2n-1} containing ceramic electrodes*. J Envi Biotech; 2011:7 (1) 34-40
20. Pulido Elena M. *Evaluation of an Electro-Disinfection Technology as an Alternative to Chlorination of Municipal Wastewater Effluents*. University of New Orleans Theses and Dissertations 2005;309:23-24
21. Nikaido H, Hancock R. *Outer membrane permeability in Pseudomonas aeruginosa*. In: The Bacteria . Academic Press 1986;10:145–193.
22. Xekoukoulotakis N.P, Mantzavinos D, Kalogerakis N. *Electrochemical Disinfection of Secondary Treated Municipal Waste Water Over Boron Doped Diamond Electrodes*. Department of electrodes for the disinfection of secondary treated municipal wastewater (STMW)
23. Dreesa K, Abbaszadegan M, Raina M. *Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage*. Water Research; 2003;37(10):2291-300
24. Jeong J, Yeon Kim J. *Inactivation of Escherichia coli in the electrochemical disinfection process using a Pt anode*. Seoul National Chemosphere 2007; 67(4):652-9
25. Hongna Li, Xiuping Zhu, Jinren Ni. *Comparison of electrochemical method with ozonation, chlorination and monochloramination in drinking water disinfection*. Electrochimica Acta 2011;56(27):9789-9796.