**مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی**
**انجمن علمی بهداشت محیط ایران**
دوره چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۰، صفحات ۲۰۱ تا ۲۱۲

# بررسی حذف باکتری اشرشیا کلی از آب آلوده به روش الکترولیز

**عباس رضایی[۱]، گیتی کاشی[۲]، احمد جنیدی جعفری[۳]، علیرضا ختایی[۴]**

نویسنده مسئول: تهران، بزرگراه جلال آل احمد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پزشکی،گروه بهداشت محیط *rezaee@modares.ac.ir*

دریافت: ۸۹/۰۸/۰۵ پذیرش: ۸۹/۱۱/۰۲

## چکیده

***زمینه و هدف:*** *روش های فیزیکی و شیمیایی متداول در گندزدایی آب، استفاده از پرتو فرابنفش، کلرزنی و ازن زنی هستند. در سال های اخیر گندزدایی آب به روش الکترولیز رو به گسترش است. هدف در این تحقیق کاربردی ـ تحلیلی بررسی حذف باکتری اشرشیا کلی (شاخص آلودگی میکروبی آب) از آب آشامیدنی به روش الکترولیز است.*

***روش بررسی:*** *نمونه آب آلوده با افزودن $10^2$ و $10^3$ عدد باکتری اشرشیا کلی در میلی لیتر آب آشامیدنی تهیه گردید. آب آلوده به باکتری وارد راکتور الکترولیزی شد و کارایی حذف باکتری در شرایط مختلف pH (۶، ۷، ۸)، تعداد باکتری ($10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر) ، زمان (۵، ۱۰، ۲۰ و ۴۰ دقیقه) ، فاصله بین الکترودها (۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ سانتی متر) و ولتاژ (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ ولت) مورد بررسی قرار گرفت.*

***یافته ها:*** *یافته ها همبستگی غیرمستقیم کارایی حذف را با فاصله بین الکترودها نشان دادند. نتایج همبستگی مستقیم بین راندمان حذف باکتری و متغیرهای ولتاژ و مدت زمان الکترولیز را نشان دادند. نتایج نشان دادند که بهترین حذف باکتری با تعداد $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر در شرایط pH معادل ۷، مدت زمان الکترولیز ۱۰ دقیقه، فاصله ۲ سانتی متر بین الکترودها به ترتیب در ولتاژ ۲۰ و ۳۰ ولت به دست آمد.*

***نتیجه گیری:*** *تحقیق نشان داد که ولتاژ و مدت زمان الکترولیز بیشترین اثر را در عملکرد الکترولیز داشته است. یافته های تحقیق نشان دادند که الکترولیز روش امیدبخشی در حذف باکتری اشرشیا کلی از آب آشامیدنی است.*

**واژگان کلیدی: باکتری، اشرشیا کلی، الکترولیز، گندزدایی، آب آلوده**

۱- دکترای میکروب شناسی، دانشیار دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
۲- دانشجوی دکترای بهداشت محیط دانشگاه تربیت مدرس
۳- دکترای بهداشت حرفه ای، دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۴- دکترای شیمی کاربردی، استادیار دانشکده شیمی، گروه شیمی کاربردی دانشگاه تبریز

[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

## مقدمه

آب غیربهداشتی عامل اصلی مرگ و میر کودکان در کشورهای توسعه یافته محسوب می شود(۱). گندزدایی آب به کاهش مرگ و میر جهانی و محدود کردن بیماری های خطرناک از قبیل وبا و تیفوئید منجر می گردد (۲). متداول ترین روش های حذف میکروارگانیسم های بیماری زا، گندزدایی فیزیکی و شیمیایی آب، جداسازی توسط صافی غشایی، پرتو فرابنفش، پرتوهای یونیزان، حرارت، امواج فراصوت، استفاده از کلر و ترکیبات آن و ازن زنی است (۳ و ۴). روش های گندزدایی شیمیایی آب از محدودیت هایی نظیر مزه و بوی نامطبوع، تولید فرآورده های جانبی ناشی از گندزدایی نظیر تری هالومتان های سرطان زا و کلرآمین ها برخوردارند که در اثر واکنش جانبی ناخواسته عوامل گندزدا با مواد آلی طبیعی موجود در آب، ایجاد می گردند(۵). اخیرا روش های الکتروشیمیایی، به عنوان روش تصفیه پاک در گندزدایی آب، به علت تولید الکترود پایدار و بررسی کردن رابطه بین کنش گندزدایی و عواملی از قبیل غلظت کلراید آب، چگالی جریان الکتریکی و تولید کلر آزاد به روش الکتروشیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. در روش الکتروشیمیایی میکروارگانیسم ها توسط جریان الکتریکی متلاشی می گردند. واژه های مختلفی برای این فرایند نظیر گندزدایی الکترولیتیکی، گندزدایی الکتروشیمیایی، اکسیداسیون آندی، آب کنشی و آب فعال شده به روش الکتروشیمیایی مطرح گردیده است (۷-۵). اتفاق افتادن فرایند گندزدایی برپایه اکسیژن، اجتناب از تولید فراورده های جانبی مضر، قابلیت اطمینان در گندزدایی آب آشامیدنی، آب استخر و آب خنک سازی صنعتی از جمله مزایای گندزدایی آب به روش الکتروشیمیایی است. جریان الکتریکی به تولید کردن انواع گندزداها به روش الکتروشیمیایی در آب نظیر ازن و اکسیداسیون کلراید به کلر آزاد در الکترودها منجر می گردد (۳). غیرفعال سازی ارگانیسم به علت تولید کلر آزاد و دی اکسید کلر در اثر واکنش کلراید در الکترودها، مرگ سلول میکروبی به علت تولید مواد اکسیداتیو در واکنش الکتروشیمیایی، اکسیداسیون الکتروشیمیایی اجزای حیاتی سلول نظیر کوآنزیم A در تماس با جریان الکتریکی، فعالیت میکروب کشی اکسیژن محلول به عنوان محصول اصلی واکنش آندی برعلیه باکتری های هوازی و تولید مواد اکسیداتیو شیمیایی از اکسیژن محلول نظیر پراکسید هیدروژن (پتانسیل اکسیداسیون کم)، هیدروکسیل و ازن (پتانسیل اکسیداسیون زیاد) از جمله مکانیسم های روش الکتروشیمیایی هستند(۸-۶). عمل اکسیداسیون و احیا در فرایند الکتروشیمیایی به ترتیب در الکترودهای آند و کاتد همراه با تولید اکسیدان های پراکسید هیدروژن در کاتد، ازن در حضور اکسیژن و کلرآزاد و دی اکسید کلر در حضور یون کلراید در آند انجام می شود(۳، ۴و ۸). محصول اصلی در آند اکسیژن و کلراست که با اسیدی شدن آب در نزدیکی آند همراه است. محصول اصلی در کاتد هیدروژن است که با قلیایی شدن آب در نزدیکی کاتد و تولید رسوبات کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم همراه است (۳ و ۹). محققان مختلفی در مورد عملکرد الکترولیز در کشتن و غیرفعال شدن باکتری ها و قارچ ها گزارش کرده اند. برای مثال رحمانی و همکاران در سال ۲۰۰۵ بر روی حذف باکتری توسط الکترولیز تحقیق نموده و متوجه شدند که میزان حذف به ولتاژ و مدت زمان الکترولیز بستگی دارد و در ولتاژهای بالاتر راندمان حذف بیش تر می شود(۴). کرافت در سال ۲۰۰۸ به مطالعه حذف باکتری های مختلف با روش الکترولیز پرداخت که طبق این تحقیق واحد گندزدایی آب به روش الکترولیز، یک روش جایگزین امیدبخش در گندزدایی آب خنک سازی بر علیه لژیونلا، استافیلوکوکوس اورئوس، اشرشیا کلی و پسودوموناس آئروژینوزا است (۳). واحدهای گندزدای خانگی آب به روش الکترولیز امروزه در برخی کشورها به صورت تجاری ارایه می شوند و دارای ظرفیت $1\ Lit.min^{-1}$، منبع تغذیه جریان مستقیم و پتانسیل الکتریکی ۲۴۰ ولت هستند (۱۰). هدف از انجام این تحقیق بررسی حذف باکتری اشرشیا کلی (شاخص آلودگی میکروبی آب آشامیدنی) از آب آشامیدنی به روش الکترولیز است. باکتری اشرشیا کلی به عنوان شاخص



[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

و ارگانیسم مدل در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. زیرا آب آشامیدنی سالم باید فاقد باکتری اشرشیاکلی باشد.

## مواد و روش ها

### تهیه سوسپانسیون میکروبی

در این تحقیق باکتری استاندارد اشرشیاکلی (ATCC 25922) که از آزمایشگاه مرجع وزارت بهداشت تهیه شده بود به عنوان باکتری گرم منفی شاخص آلودگی آب استفاده شد. باکتری مذکور در مطالعات حذف باکتری مورد استفاده قرار گرفت. سوسپانسیون باکتری لیوفیلیزه فوق با تزریق چند میلی لیتر از محیط کشت استریل مغز و قلب آگار (BHI) تهیه گردید. چند میلی لیتر از سوسپانسیون باکتری به محیط کشت BHI تلقیح و جهت کشت به انکوباتور شیکردار با سرعت ۱۲۰ rpm منتقل شد. پس از ۱۲ ساعت که باکتری ها در داخل محیط کشت رشد کردند. سوسپانسیون باکتری جهت تهیه کشت تازه در محیط کشت آگار مغذی تلقیح و کلنی های باکتری پس از رشد جداسازی شده و در یخچال نگه داری گردیدند. پس از تلقیح باکتری در محیط کشت BHI براث و گرمخانه گذاری در دمای ۳۷ °C با استفاده از سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰ × g به مدت ۱۰ دقیقه اقدام به جدا سازی جرم باکتری شد. جرم باکتری های جدا شده سه مرتبه با نمک بافر فسفات شستشو داده شد. دانسیته نوری سوسپانسیون سلول توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۱۰ nm اندازه گیری گردید.

### تهیه لوله های استاندارد مک فارلند

جهت بررسی راندمان حذف باکتری توسط سیستم، غلظت باکتری اشرشیا کلی دارای $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر تهیه گردید. به منظور دستیابی به تعداد باکتری های مورد نظر از لوله های استاندارد مک فارلند استفاده شد که دارای نسبت های مختلف دو ترکیب اسیدسولفوریک و کلروباریوم بودند. کلرور باریم در حضور سولفات کدورت شیری رنگ ایجاد می کند که شدت کدورت ایجاد شده به میزان سولفات و کلرور باریوم بستگی دارد. در این روش کدورت ایجاد شده در لوله های مختلف با کدورت ایجاد شونده توسط تعداد معینی از باکتری متناسب است. محلول های شیمیایی مورد استفاده شامل اسیدسولفوریک یک درصد و کلرور باریم دو آبه ($BaCl_2.2H_2O$) ۱/۱۷۵ درصد بود. لوله استاندارد ۰/۵ مک فارلند دارای $1/5 \times 10^8$ باکتری در ملی لیتر است. حجم محلول های کلرور باریم و اسید سولفوریک مورد نیاز برای تهیه آن به ترتیب ۰/۰۵ و ۹/۹۵ میلی لیتر است. جذب نوری کدورت ایجاد شده در این لوله در طول موج ۶۱۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر (مدل UNICO) اندازه گیری گردید که دارای میزان جذب نوری کدورت ایجاد شده ۰/۱-۰/۰۸ بود. سوسپانسیون باکتری تا حدی به آب اضافه گردید تا کدورت ایجاد شده توسط باکتری ها معادل با کدورت اندازه گیری شده در لوله استاندارد ۰/۵ مک فارلند باشد. سپس با انجام رقیق سازی (با نسبت ۱ به ۷۵۰۰ و ۷۵۰) تعداد باکتری اشرشیا کلی دارای $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر آب آلوده حاصل شد (۱۱ و ۱۲).

### طراحی و ساخت راکتور ناپیوسته

راکتوری با مشخصات زیر جهت انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت. ظرف شیشه ای ۳۶۰ میلی لیتر (۶×۶×۱۰ سانتی متر)، دو الکترود روی و مس که هر کدام دارای مساحت ۳۶ سانتی متر مربع (۴×۹)، فاصله الکترودها از کف ۱ سانتی متر، فاصله بین الکترودها (۳/۵-۲ سانتی متر)، نسبت سطح الکترود به حجم راکتور ۲۰. الکترود مس به قطب منفی منبع تغذیه و الکترود روی به قطب مثبت منبع تغذیه متصل گردید. محلول اسید کلریدریک ۱۵٪ وزنی جهت تمیز کردن سطح الکترودها قبل از کاربرد مورد استفاده قرار گرفت (۴). منبع برق جریان مستقیم دارای توان تولید جریان الکتریکی ۵-۱ آمپر و توان الکتریکی حداکثر ۶۰ وات در نظر گرفته شد (شکل ۱). راکتور قبل از آزمایش کاملا استریل گردید و حجم آب آلوده ورودی ۲۰۰ میلی لیتر در نظر گرفته شد.

### تنظیم pH

محلول اسید کلریدریک و سود ۱ نرمال جهت تنظیم کردن pH مورد استفاده قرار گرفتند (۴).



[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

**سنجش عملکرد فرایند**

بـه منظـور ارزیابی کـردن تاثیـر جریان مسـتقیم بـر فرایند گندزدایـی، نمونه هـا در pH (۸-۶)، تعـداد باکتری (۱۰۲ و ۱۰۳ عـدد در میلی لیتر)، زمـان (۴۰-۵ دقیقه)، فاصله های بین الکترودها(۳/۵-۲ سانتی متر) و در ولتاژهای مختلف (۴۰-۱۰ ولت)، متناسـب با شـدت جریان الکتریکـی ۵۰ تا ۴۰۰ میلی آمپـر تحـت الکترولیز قرار گرفتند. کلیـه آزمایش ها در دمای آزمایشگاه (۲۰ درجه سانتی گراد) انجام شد. همزن مغناطیسی (مـدل IKA) بـرای یکنواخت نمودن نمونـه آب آلوده مورد اسـتفاده قرار گرفت. برای تنظیم pH از دستگاه pH متر(مدل Hach) اسـتفاده گردید. راندمان حذف باکتری در این تحقیق تحلیلی-کاربردی از رابطه زیرمحاسبه شد (۱۳):

$$\text{درصد حذف} = (1-B_t/Bt_0) * 100$$

$B_t$ و $B_{t0}$ به ترتیب تعداد باکتری پس از الکترولیز در زمان t و تعداد باکتری اولیه در زمان ۰ است.

پس از انجام هر آزمایش الکترودها توسط آب مقطر به مدت ۱ دقیقه آب کشی می شدند.

## یافته ها

نتایج حاصل از اثر الکترولیز برروی گندزدایی آب در حالت های مختلف (تغییر pH، تعداد باکتـری، زمان الکترولیز، فاصله بین الکترودها و ولتاژها) در جدول های ۱ الی ۳ ارائه گردیده است.

**اثر تعداد باکتری بر روی کارایی حذف باکتری اشرشیا کلی**

کارایی فرایند گندزدایی با افزایش تعداد باکتری اشرشـیا کلی از ۱۰۲ به ۱۰۳ عدد در میلی لیتر کاهش می یابد (شکل۲). طبق استانداردهای جهانی غلظت مجاز اشرشیا کلی در ۱۰۰ میلی لیتر منفی بیان شـده است. همچنین نتایج نشـان دادند که افزایش تعداد باکتری اشرشـیا کلی از ۱۰۲ به ۱۰۳ عدد در میلی لیتر در pH معادل ۷، ولتاژ ۲۰ ولت و فاصله بین الکترودهای ۲ سانتی متر به افزایش زمان الکترولیز از کمتر از ۵ دقیقه به کمتر از ۲۰ دقیقه برای رسـیدن به ۱۰۰٪ مرگ منجر می شود (جدول های ۳-۱). در ایـن تحقیق راندمان حذف باکتری با تعداد ۱۰۲ عدد باکتری اشرشـیا کلـی در میلی لیتر در ولتـاژ ۱۰ ولت، فاصله بیـن الکتـرود ۲ سـانتی متر و زمـان الکترولیـز ۲۰ دقیقه در pH هـای ۶، ۷ و ۸ بـه ترتیـب ۹۹٪، ۱۰۰ و ۱۰۰٪ حاصل گردید. درخصوص ۱۰۳ عدد باکتری اشرشیا کلی در میلی لیتر راندمان حذف باکتری در ولتاژ ۱۰ ولت، فاصله بین الکترودهای ۲ سانتی متر و زمان الکترولیز ۲۰ دقیقه در pH های ۶، ۷و ۸ به ترتیب ۹۶/۷٪ ، ۹۷/۳٪ و ۹۷٪ به دست آمد.

**اثر pH بر روی کارایی حذف باکتری اشرشیا کلی**

کارایـی فرایند حذف باکتری اشرشـیا کلی با افزایش pH از ۶ بـه ۷ در هر دو تعداد ۱۰۲ و ۱۰۳ عدد باکتری اشرشـیا کلی در میلی لیتر افزایش و در pH معادل ۸ کاهش می یابد(شـکل ۲). pH معادل ۷ نیازمند ولتاژ و شـدت جریان کمتری در مقایسه با دو pH دیگر است. بهترین pH برای دست یابی به حداکثر حذف اشرشیا کلی در ۱۰۰ میلی لیتر، pH معادل ۷ است.

**اثر جریان الکتریکی بر روی کارایی حذف باکتری اشرشیاکلی**

کارایی فرایند حذف باکتری اشرشیا کلی با افزایش ولتاژ و زمان الکترولیز در هر دو تعداد ۱۰۲ و ۱۰۳ عدد باکتری اشرشیاکلی در میلی لیتر افزایـش می یابد (جدول های ۳-۱). ضمنا نتایج نشـان دادند که بهترین ولتاژ برای دسـت یابی به حذف کامل اشرشـیا کلی در ۱۰۰ میلی لیتر در pH هـای ۶، ۷ و۸ ، ۳۰ و ۴۰ ولت به ترتیب برای تعداد ۱۰۲ و ۱۰۳ عدد باکتری اشرشـیا کلی در میلی لیتر اسـت. بهترین زمان برای دست یابی به بیش از ۹۹٪ حذف ۱۰۲ اشرشیا کلی در ۱۰۰ میلی لیتر در pH های ۶، ۷ و۸ ، ولتاژ ۲۰ ولت و فاصله ۲ سـانتی متر به ترتیب ۱۰، کمتر از ۵ و ۵ دقیقه می باشـد. بهترین زمان برای دسـت یابی به بیش از ۹۹٪ حذف ۱۰۳ اشرشـیا کلی در ۱۰۰ میلی لیتر در pH هـای ۶، ۷ و۸ ، ولتـاژ ۲۰ ولت و فاصله ۲ سـانتی متر به ترتیب بیش از ۲۰، کمتر از ۲۰ و ۲۰ دقیقه است.

**اثر فاصله بین الکترودها بر روی کارایی حذف باکتری اشرشیا کلی**

کارایی فرایند حذف باکتری اشرشـیا کلی با افزایش فاصله بین الکترودها از ۲ به ۳/۵ سـانتی متـر در هر دو تعداد ۱۰۲ و ۱۰۳ عدد باکتری اشرشـیا کلی در میلی لیتر کاهش یافت(شکل ۳).



[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

جـدول ۱ : نتایـج اثـر الکترولیز در حذف باکتری اشرشـیا کلی از آب آلـوده $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر در pH معادل ۶ ، زمـان الکترولیز، فاصله بین الکترودها و ولتاژهای مختلف

| ولتاژ (v) | فاصله بین الکترودها (cm) | درصد راندمان حذف میکروبی با تعداد اولیه باکتری ۱۰۰۰ CFU | | | | درصد راندمان حذف میکروبی با تعداد اولیه باکتری ۱۰۰ CFU | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | زمان (min) | | | | زمان (min) | | | |
| | | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ |
| ۱۰ | ۲/۰ | ۵۴/۳ | ۸۱/۸ | ۹۶/۷ | ۱۰۰ | ۶۷/۰ | ۹۰/۰ | ۹۹/۰ | ۱۰۰ |
| | ۲/۵ | ۴۵/۸ | ۶۵/۴ | ۷۷/۴ | ۹۷/۳ | ۶۱/۰ | ۸۲/۰ | ۹۲/۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۰ | ۳۸/۲ | ۵۴/۵ | ۶۴/۵ | ۹۰/۹ | ۵۵/۸ | ۷۵/۲ | ۸۴/۵ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۳۲/۷ | ۴۶/۷ | ۵۵/۳ | ۸۰/۰ | ۵۱/۵ | ۶۹/۵ | ۸۰/۲ | ۱۰۰ |
| ۲۰ | ۲/۰ | ۸۰/۸ | ۹۷/۷ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۹۱/۰ | ۹۹/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۲/۵ | ۶۶/۴ | ۷۸/۴ | ۹۸/۳ | ۱۰۰ | ۸۳/۰ | ۹۳/۰ | ۹۹/۶ | ۱۰۰ |
| | ۳/۰ | ۵۵/۵ | ۶۵/۵ | ۹۱/۹ | ۱۰۰ | ۷۶/۲ | ۸۵/۵ | ۹۷/۷ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۴۷/۷ | ۵۶/۳ | ۸۱/۰ | ۱۰۰ | ۷۰/۵ | ۸۲/۲ | ۹۷/۳ | ۱۰۰ |
| ۳۰ | ۲/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۲/۵ | ۷۹/۴ | ۹۹/۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۰ | ۶۶/۵ | ۹۲/۰ | ۹۹/۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۵۷/۳ | ۸۲/۰ | ۹۸/۷ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۴۰ | ۲/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۲/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

## بحث

همان طور که مشخص است بهترین فاصله بین الکترودها برای دسـت یابی به حذف کامل اشرشـیا کلـی در ۱۰۰ میلی لیتر، فاصله ۲ سـانتی متر است. راندمان حذف باکتری با تعداد $10^2$ عدد باکتری اشرشـیا کلی در میلی لیتر در ولتاژ ۱۰ ولت، زمان الکترولیـز ۲۰ دقیقه در pH معادل ۷ و در فاصله های ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ سـانتی متر به ترتیب ۱۰۰٪ ، ۱۰۰٪ ، ۱۰۰٪ و ۱۰۰٪ به دسـت آمد. در خصوص $10^3$ عدد باکتری اشرشـیا کلی در میلی لیتر همان طور که درشکل مشخص است راندمان حذف باکتـری در فاصلـه های ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ بـه ترتیب ۹۷/۳٪ ، ۹۲/۸٪ ، ۸۸/۹٪ و ۸۳/۵٪ تعیین گردید.

بـر طبـق نتایـج حاصل از بررسـی تعـداد $10^2$ و $10^3$ عدد باکتری اشرشـیا کلی در میلی لیتر بر روی کارایی حذف، می تـوان نتیجه گیری نمود که کارایی حـذف به دلیل افزایش تعداد سـلول در مقابل ولتاژ و مقدار ثابت مواد شیمیایی تولید شـده نظیر تولید اکسـیژن در آند کاهش یافته است. این یافته تحقیـق بـا تحقیق انجام گرفته توسـط کوین در سـال ۲۰۰۳ مطابقت دارد. این محقق نشـان داد که افزایش باکتری اشرشیا کلی از $10^3$ به $10^6$ عدد در میلی لیتر در مدت الکترولیز ۵ دقیقه و شـدت جریان الکتریکی ۵ میلـی آمپر به کاهش حذف ۵۰٪ منجر می شود (۸).



[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

جدول ۲ : نتایج اثر الکترولیز در حذف باکتری اشرشیا کلی از آب آلوده $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر در pH معادل ۷، زمان الکترولیز، فاصله بین الکترودها و ولتاژهای مختلف

| ولتاژ (v) | فاصله بین الکترودها (cm) | درصد راندمان حذف میکروبی با تعداد اولیه باکتری ۱۰۰۰ CFU | | | | درصد راندمان حذف میکروبی با تعداد اولیه باکتری ۱۰۰ CFU | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | زمان (min) | | | | زمان (min) | | | |
| | | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ |
| ۱۰ | ۲/۰ | ۷۶/۴ | ۸۳/۵ | ۹۷/۳ | ۱۰۰ | ۹۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۴۷/۵ | ۷۵/۸ | ۹۲/۸ | ۱۰۰ | ۹۶.۷ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۳۹/۶ | ۶۷/۷ | ۸۸/۹ | ۹۹/۵ | ۹۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۳۶/۳ | ۵۹/۴ | ۸۳/۵ | ۹۷/۳ | ۹۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۲۰ | ۲/۰ | ۸۵/۵ | ۹۸/۳ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۷۶/۸ | ۹۳/۸ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۶۸/۷ | ۸۹/۹ | ۹۹/۷ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۶۰/۴ | ۸۴/۵ | ۹۸/۳ | ۱۰۰ | ۹۳/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳۰ | ۲/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۹۰/۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۸۵/۵ | ۹۹/۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۴۰ | ۲/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

در خصوص بررسی کارایی حذف باکتری اشرشیا کلی در سه pH=۶،۷ و ۸ می توان بیان نمود اثر باکتری کش این روش ارتباط مستقیم با pH دارد. همچنین بار سطحی منفی اشرشیاکلی در فاز رشد لگاریتمی به وسیله pH آب تحت تاثیر قرار می گیرد. این یافته ها با تحقیق انجام گرفته توسط رحمانی در سال ۲۰۰۵ و لی در سال ۲۰۰۳ مطابقت دارد (۴ و ۱۴). می توان نتیجه گیری نمود که افزایش واکنش های شیمیایی در pH معادل ۷ به حداکثر افزایش انتقال الکترون بین باکتری اشرشیا کلی و الکترود و کاهش فولینگ الکترود منجر می شود. ملاحظات ناشی از تغییرات ولتاژ (جریان الکتریکی)، مدت زمان الکترولیز و فاصله بین الکترودها تاییدکننده این نتیجه گیری است که کارایی حذف باکتری اشرشیا کلی در سه pH=۶،۷ و ۸ وقتی ولتاژ و مدت زمان الکترولیز افزایش می یابند افزایش یافته و با افزایش فاصله بین الکترودها کاهش می یابد. افزایش ولتاژ و مدت زمان الکترولیز به علت تولید سریع تر فراورده های ناشی از الکترولیز نظیر یون های $OH^-$ و $Cl^-$ به ترتیب در الکترودهای کاتد و آند به افزایش کارایی گندزدایی منجر می شود. فراورده های مورد نظر مسئول گندزدایی آب محسوب می شوند (۴). این مطالعات با مطالعه انجام گرفته توسط رحمانی در سال ۲۰۰۵ و لی در سال ۲۰۰۳ مطابقت دارد (۴ و ۱۴). رحمانی نشان داد که افزایش ولتاژ از ۸ ولت به ۲۵ ولت و کاهش فاصله از ۸ سانتی متر به ۲ سانتی متر به



[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

جـدول ۳ : نتایـج اثـر الکترولیز در حذف باکتری اشرشـیا کلی از آب آلـوده $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر در pH معادل ۸ ، زمـان الکترولیز، فاصله بین الکترودها و ولتاژهای مختلف

| ولتاژ (v) | فاصله بین الکترودها (cm) | درصد راندمان حذف میکروبی با تعداد اولیه باکتری ۱۰۰۰ CFU زمان (min) | | | | درصد راندمان حذف میکروبی با تعداد اولیه باکتری ۱۰۰ CFU زمان (min) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ | ۵ | ۱۰ | ۲۰ | ۴۰ |
| ۱۰ | ۲/۰ | ۵۷/۴ | ۸۲/۸ | ۹۷/۰ | ۱۰۰ | ۸۷/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۴۶/۸ | ۷۰/۴ | ۸۴/۴ | ۹۹/۰ | ۸۱/۰ | ۹۶/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۳۷/۲ | ۶۰/۵ | ۷۶/۵ | ۹۵/۰ | ۷۷/۸ | ۹۵/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۳۴/۷ | ۵۲/۷ | ۶۹/۳ | ۸۹/۰ | ۷۳/۰ | ۹۳/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۲۰ | ۲/۰ | ۸۳/۸ | ۹۸/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۷۱/۴ | ۸۵/۴ | ۹۹/۵ | ۱۰۰ | ۹۷/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۶۱/۵ | ۷۷/۵ | ۹۶/۰ | ۱۰۰ | ۹۶/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۵۳/۷ | ۷۰/۳ | ۹۰/۰ | ۱۰۰ | ۹۴/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۳۰ | ۲/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۸۶/۴ | ۹۹/۷ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۷۸/۵ | ۹۷/۰ | ۹۹/۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۷۱/۳ | ۹۱/۰ | ۹۸/۷ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| ۴۰ | ۲/۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۲/۵** | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | **۳/۰** | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| | ۳/۵ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

افزایـش راندمان حذف باکتری اشرشـیا کلی بـا تعداد ا کلنی در لیتر منجر می شـود (۴). کوین نشان داد که نابودی باکتری اشرشـیاکلی با $10^3$ و $10^6$ عدد در میلی لیتر در شـدت جریان الکتریکی ۵ میلی آمپر به ترتیب به مدت الکترولیز ۵ و ۱۰ دقیقه نیاز دارد (۸). این محققان نشـان دادندکه مولکول های لیپوپلی سـاکارید غشـای خارجی باکتری گرم منفی اشرشیا کلی با بار منفی به جذب بر روی الکترود روی، به عنوان قطب مثبت (آند)، منجر می شود. همچنین می توان نتیجه گرفت که افزایش ولتاژ به افزایش نیروی رانشـی بر روی سطح الکترود مس که عامل اصلی در فرایند الکتروشـیمیایی محسـوب می شود و جذب الکترواستاتیکی باکتری اشرشیا کلی بر روی الکترود روی منجر می شود (۴ و ۸). این یافته تحقیق با تحقیق انجام گرفته توسط کوین در سـال ۲۰۰۳، رحمانی در سـال ۲۰۰۵ و یون در سال ۲۰۰۷ مطابقت دارد (۱۰).

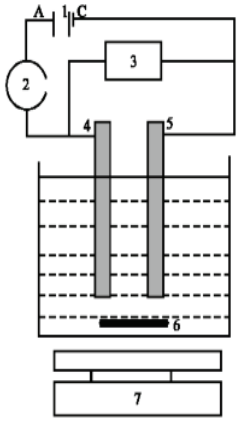
## نتیجه گیری

گندزدایـی آب به روش الکترولیـز، یک روش جایگزین امیدبخـش در گندزدایی آب بر علیه اشرشـیا کلی محسـوب می شـود. بالاترین راندمان حذف اشرشـیا کلی بـا تعداد $10^2$ عدد در میلی لیتر در بهترین شـرایط pH معادل ۷، مدت زمان الکترولیـز کمتر از ۵ دقیقه، فاصله ۲ سـانتی متر بین الکترودها در ولتاژ ۲۰ ولت به دست آمد. بالاترین راندمان حذف اشرشیا



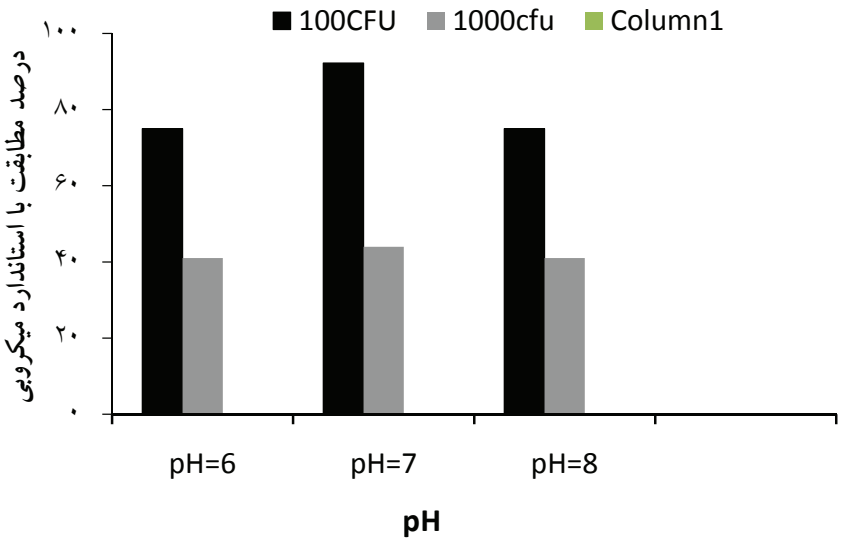
[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

کلی با تعداد $10^3$ عدد در میلی لیتر در بهترین شرایط pH معادل ۷، مـدت زمان الکترولیز کمتر از ۵ دقیقه، فاصله ۲ سـانتی متر بین الکترودها در ولتاژ ۳۰ ولت به دست آمد. توصیه می شود اسـتفاده از الکترودهای ارزان تر برای کاربردهای بالقوه جهت گندزدایی آب به روش الکترولیز، بررسی اثر متغیرهای محیطی بـر روی گندزدایـی آب بـه روش الکترولیـز در تحقیق های تکمیلی مورد بررسی قرار گیرند.




**شکل۱: طرح شماتیک از رآکتور ناپیوسته الکترولیز**

**۱- منبع تغذیه ۵- الکترود روی قطب مثبت**
**۲- آمپرسنج ۶- میله مغناطیسی**
**۳- ولت سنج ۷- همزن مغناطیسی**
**۴-الکترود مس قطب منفی**

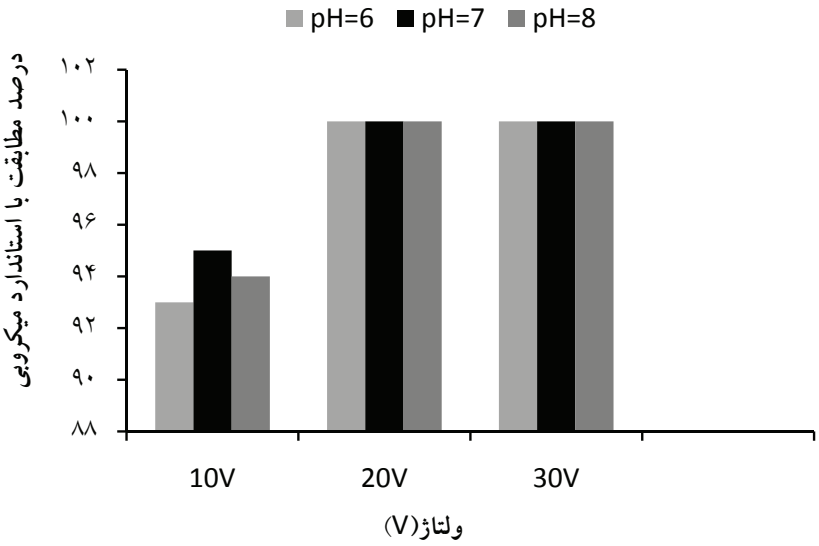



**شکل ۲: نتایج درصد حذف میکروبی در سیستم الکترولیز برای حذف باکتری اشرشیا کلی از آب آلوده $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر در زمان الکترولیز ۲۰ دقیقه، فاصله بین الکترودهای ۲ سانتی متر، ولتاژ ۱۰ ولت و در pH های مختلف**

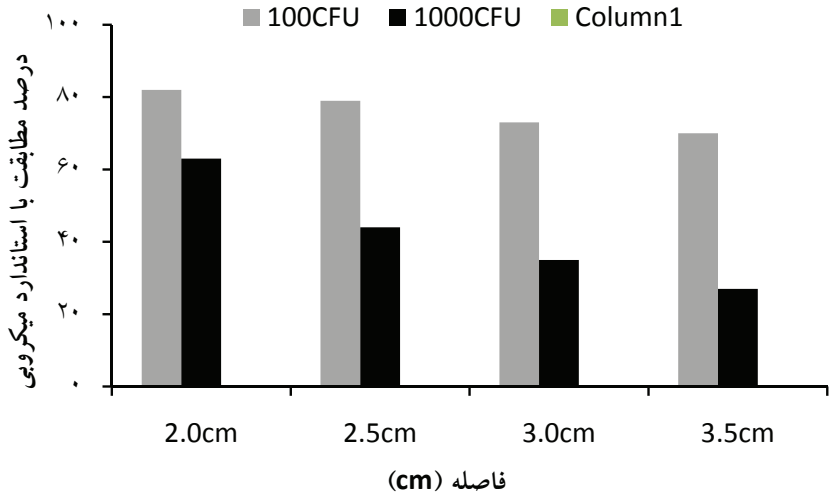


[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

(الف)



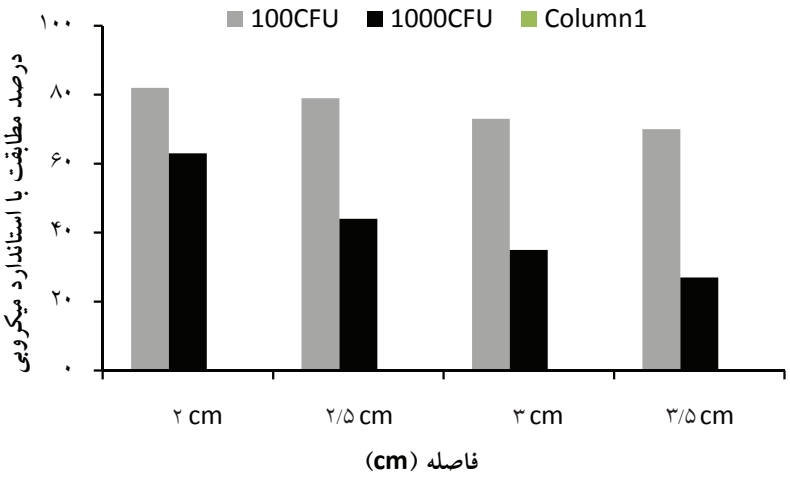

(ب)




**شـکل ۳: نتایج درصد حذف میکروبی در سیســتم الکترولیز برای حذف باکتری اشرشــیا کلی از آب آلوده الف) ۱۰۳ عدد در میلی لیتر، ب) ۱۰۲عدد در میلی لیتر در زمان الکترولیز ۵ دقیقه، فاصله بین الکترودهای ۲ سانتی متر و ولتاژهای مختلف**



[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]




**شکل ۴: نتایج درصد حذف میکروبی در سیستم الکترولیز برای حذف باکتری اشرشیا کلی از آب آلوده $10^2$ و $10^3$ عدد در میلی لیتر در زمان الکترولیز ۲۰ دقیقه، pH معادل ۷، ولتاژ ۱۰ ولت و در فاصله های مختلف بین الکترودها**

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه تربیت مدرس به خاطر پشتیبانی مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

## منابع


1. John stone PT, Bodger PS. High voltage disinfection of liquids. IPENZ Transaction. 1997;24:30-35.
2. Martines-Huitel CA. Conductive diamond electrodes for water purification. Mater Res. 2007;10(4):419-24.
3. Atabakhsh P, Amin MM, Mortazavi H, Yaran M, Akhavan Sepahi A, Nouhi A, Jalali M. Identification of total and fecal coliforms and heterotrophic to microbiological method and E.coli O157:H7 to immunological, and real time PCR methods in Isfahan water treatment plant. Iranian Journal of Health and Environment. 2010;3(3):335-46.
4. Kraft A. Electrochemical water disinfection: A short review. Platinum Metals Rev. 2008;52(3):177-85.
5. Rahmani AR, Jonidi Jafari A, Mahvi AH. Investigation of water disinfection by electrolysis. Pakistan J Biol Sci. 2005;8(6):910-13.
6. Hashemi H, Amin MM, Bina B, Movahedian Attar H, Farrokhzadeh H. Survey on possibility of disinfection of Isfahan north wastewater treatment plant effluent by low and medium pressure ultraviolet systems in pilot scale. Iranian Journal of Health and Environment . 2010;3(1):47-58.
7. Bisneto RT, Bidoia E. Effects of the electrolytic treatment on bacillus subtilis. Brazilian J Microbiol. 2003;34:48-50.
8. Tai-Cheng A, Xi-Hai Z, Ya X. Feasibility study of photoelectrochemical degradation methylene blue with three-dimensional electrode-photocatalytic reactor. Chemosphere. 2002;46:897-903.
9. Yang Z, Li Y, Slavik MF. Antibacterial efficacy of electrochemically activated solution for poultry spraying and chilling. J Food Sci. 1999;64(3):469-72.
10. Kevin PD, Abbaszadegan M, Maire RM. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. Appl Environ Microbiol. 2003;37:2291-300.
11. Kumar S, Gabriel O, Hung YC, Michael P. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivation Escherichia coli O157: H7, Salmonela enteritidis and Listeria monocytogenes. Appl Environ Microbiol. 1999;65(9):4276-79.
12. Yoon KY, Byeon JH, Park JH, Hwang J. Susceptibility constants of Escherichia coli and Bacillus subtilis to silver and copper nanoparticles. Sci Total Environ. 2007;373:572–75.
13. Lorian V. Antibiotic in Laboratory Medicine. 4th ed. New York: Williams and Wilkins; 1996.
14. Baron EJ, Finegold SM. Diagnostic Microbiology. 8th ed. New York: C.V. Mosby Company; 1990.
15. Hua D, Cheuk K, Zheng W, Wen C, Xiao C. Low temperature preparation of nano TiO2 and its application as antibacterial agents. Trans Nanoferrous Met Soc China. 2007;17:700-703.
16. Liu HL, Yang TCK. Photocatalytic inactivation of Escherichia coli and Lactobacillus helveticus by ZnO and TiO2 activated with ultraviolet light. Process Biochem. 2005;39:475-81.


[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]

# Investigation of E. coli Removal from Polluted Water Using Electrolysis Method

***Rezaee A.[1], Kashi G.[1], Jonidi Jafari A.[2], Khataee A.R.[3]**

[1]Department of Environmental Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

[2]Department of Environmental Health, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences Tehran, Iran

[3]Department of Applied Chemistry, Faculty of Chemistry, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received; 27 October 2010 Accepted; 22 January 2011

## ABSTRACT

**Background and objective:** The conventional chemical and physical methods for water disinfection include the application of ultraviolet (UV), chlorination, and ozonation. Water disinfection by electrochemical methods has been increasingly carried out recently. The goal of this applied – analytical research is to investigate the removal of E. coli bacteria, as the index of water microbial contamination, from drinking water by electrochemistry method.

**Materials and Methods:** In this study, the contaminated water sample was prepared through adding 102 and 103 E. coli bacteria per ml of drinking water. The contaminated water entered into the electrochemical reactor and different conditions were studied, included pH (6, 7, and 8), number of bacterium (102 and 103 per milliliter), time (5, 10, 20, and 40 min), distance between electrodes (2, 2.5, 3, and 3.5 cm), and voltage (10, 20, 30, and 40 volts).

**Results:** The findings indicated the indirect correlation between bacteria removal efficiency and the variable distances between two electrode. The results indicated the direct correlation between bacteria removal efficiency and the variables voltage and electrolysis times. The results showed that the best conditions for removal of 102 and 103 bacteria per milliliter obtained at pH 7, electrolysis time of 10 min, distance between electrodes 2 cm, in the voltage 20 and 30 volts, respectively.

**Conclusion:** The results of this study indicate that voltage and electrolysis time have the most significant effect on electrolysis efficiency. Research findings showed that electrolysis is a promising method for removal of E. coli bacterium from drinking water.

**Key words:** Bacterium, E. coli, Electrolysis, Disinfection, Polluted Water

**Corresponding Author:** *rezaee@modares.ac.ir*
***Tel:*** *+98 21 82883575* ***Fax:*** *+98 21 82883825*

[ Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08 ]