

## **Comparing the effect of electrochemical process and Alum coagulation in removing turbidity and coliform bacteria from the synthetic wastewater**

**Rabbani D\*, Bigdeli M, Ghadami F**

Department of Environmental Health, Faculty of Health, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, I.R. Iran.

Received May 22, 2011; Accepted April 18, 2012

### **Abstract:**

**Background:** Nowadays, 1.1 billion people in the world do not have access to a safe and adequate water supply. So, seeking more efficient water treatment methods are a critical need. This study designed to compare the effects of the electrochemical process (EP) and Alum coagulation on turbidity and coliform bacteria removal from the synthetic wastewater (SW).

**Materials and Methods:** This experimental study was conducted on five SW samples in a batch system. First, the optimum Alum dosage and pH were determined by Jar-test. Thereafter, samples were subjected to coagulation and 10 samples were taken before and after the process. The EP was accomplished on each five SW samples. In each run, a 600 mA DC was applied on 1700 ml of SW using aluminum electrodes for 1 hour and one sample was taken every 10 minutes (35 samples). The turbidity and most probably numbers of total coliforms were confirmed and the fecal coliforms as well as the heterotrophic plate count (HPC) were determined for all samples according to the standard methods book instructions (21st edition).

**Results:** The optimum Alum dosage and pH range for coagulation were 16mg/L and 7 pH units, respectively. Using coagulation, the removal efficiencies for the total, confirmed and fecal coliforms were 80.57%, 48.89%, and 65.59%, respectively. Moreover, the removal efficiencies for HPC and turbidity were 89.92% and 91.11%, respectively. The EP not only removed 100% of the coliforms, but also reduced both HPC and turbidity to 91.05% and 96.31%, respectively.

**Conclusion:** The EP is more effective than Alum coagulation in the removal of turbidity and bacteriological indicators from the synthetic wastewater.

**Keywords:** Water, Electrochemical, Wastewater

\* **Corresponding Author.**

**Email:** d-rabbani@kaums.ac.ir

**Tel:** 0098 361 555 0111

**Fax:** 0098 361 555 0111

**Conflict of Interests:** *No*

*Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences July, 2012; Vol. 16, No 3, Pages 273-281*

*Please cite this article as:* Rabbani D, Bigdeli M, Ghadami F. Comparing the effect of electrochemical process and Alum coagulation in removing turbidity and coliform bacteria from the synthetic wastewater. *Feyz* 2012; 16(3): 273-81.

# مقایسه اثر فرآیند الکتروشیمیایی و انعقاد با آلوم بر حذف کدورت و باکتری‌های کلیفرم از آب آلوده دست‌ساز

داورخواه ربانی<sup>۱\*</sup>، محمود بیگدلی<sup>۲</sup>، فائزه قدمی<sup>۲</sup>

## خلاصه:

**سابقه و هدف:** هم اکنون ۱/۱ میلیارد نفر از جمعیت جهان به آب سالم و کافی دسترسی ندارند. بنابراین یافتن روش‌های کارآمدتر تصفیه آب یک نیاز جدی است. این تحقیق با هدف مقایسه اثر فرآیند الکتروشیمیایی و انعقاد با آلوم بر حذف کدورت و باکتری‌های کلیفرم از فاضلاب دست‌ساز انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه تجربی در سیستم بسته بر روی ۵ نمونه فاضلاب دست‌ساز انجام شد. ابتدا به کمک آزمایش جار دوز آلوم و pH بهینه تعیین شد، سپس بر روی هر کدام انعقاد صورت گرفت و قبل و بعد از آن نمونه برداشت شد (۱۰ نمونه). بر روی هریک از محلول‌های فاضلاب دست‌ساز فرآیند الکتروشیمیایی انجام گرفت. هر بار ۱۷۰۰ ml فاضلاب به مدت ۶۰ دقیقه به کمک الکترودهای آلومینیومی، تحت جریان مستقیم ۶۰۰ mA قرار گرفت و هر ۱۰ دقیقه یکبار نمونه برداشت شد (۳۵ نمونه). نمونه‌ها از نظر کدورت، محتمل‌ترین تعداد کلیفرم‌های کل، تاییدی، مدفوعی و شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف (HPC) مطابق دستورالعمل‌های چاپ ۲۱ کتاب استاندارد متود آزمایش شد.

**نتایج:** دوز آلوم و pH بهینه انعقاد به ترتیب ۱۶ و ۷ و بازده حذف کلیفرم‌های کل، تاییدی و مدفوعی به کمک انعقاد به ترتیب ۸۰/۵۷، ۴۸/۸۹ و ۶۵/۵۹ درصد بود. به علاوه بازده حذف کدورت و HPC به ترتیب ۸۹/۹۲ و ۹۱/۱۱ درصد بود. فرآیند الکتروشیمیایی کلیفرم‌های را تا ۱۰۰ درصد حذف نمود و کدورت و HPC را به ترتیب تا ۹۱/۰۵ و ۹۶/۳۱ درصد کاهش داد. نتیجه‌گیری: مطالعه حاضر نشان می‌دهد فرآیند الکتروشیمیایی در حذف کدورت و شاخص‌های باکتری‌شناسی کارآمدتر از انعقاد با آلوم است.

**واژگان کلیدی:** آب، الکتروشیمی، فاضلاب

دو ماه‌نامه علمی - پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۱، صفحات ۲۸۱-۲۷۳

## مقدمه

بسیاری از مردم کیفیت آب را تنها با ویژگی‌های ظاهری مثل شفافیت، رنگ، بو، مزه و کدورت ارزیابی می‌کنند؛ در حالی که ممکن است آب ویژگی‌های ظاهری مناسبی داشته باشد، اما از نظر میکروبی‌شناسی و کیفیت شیمیایی سالم نباشد [۴]. بر اساس گزارش WHO در سال ۲۰۰۳ دسترسی به آب آشامیدنی سالم نیاز و حق اساسی هر انسانی است، آب آلوده سلامتی فردی و اجتماعی انسان را به خطر می‌اندازد و یک توهین به شان و مقام انسان است [۵]. آب طبیعی می‌تواند توسط میکروب‌ها به شدت آلوده شده و گندزدایی این آب‌ها توسط فرآیندهای مختلف شیمیایی و فیزیکی انجام می‌گیرد [۷، ۶]. فرآیندهای شیمیایی شامل تصفیه به کمک هالوژن‌ها، ازن، نمک‌های هیپوهالوس، کاتیون‌های نقره و آنزیم‌ها و فرایندهای فیزیکی شامل تصفیه حرارتی، کاربرد التراسونیک، پرتوهای الکترومغناطیسی مثل پرتو ماوراء بنفش، اشعه ایکس و گاما، فیلتراسیون به کمک فیلترهایی که توانایی گرفتن باکتری را دارند و اسمز معکوس می‌باشد [۷، ۶]. استفاده از برق در تصفیه آب برای اولین بار در سال ۱۸۸۹ در اروپا مطرح گردیده و کاربرد الکترولیز برای جداسازی مواد معدنی توسط Elmore در

زندگی و سلامتی بشر بیش از هر چیز به آب آشامیدنی سالم بستگی دارد و اساس زندگی بشر با آب سالم مرتبط است؛ از این رو تلاش برای تامین آب سالم اهمیت بسیار زیادی [۲، ۱]. بر اساس اعلام سازمان جهانی بهداشت در حال حاضر ۱/۱ میلیارد نفر از جمعیت جهان به یک منبع آب پاکیزه و کافی دسترسی نداشته و تخمین زده می‌شود که بیماری اسهال موجب ۱/۵ میلیون مرگ و میر کودک در سال باشد [۳]. در کشورهای در حال توسعه این بیماری تقریباً در ۱۵ درصد کل مرگ و میر کودکان زیر ۵ سال نقش دارد [۳].

<sup>۱</sup> استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

## \*نشانی نویسنده مسئول:

کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب روانی، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۱۱ دوتایی: ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۱۱

پست الکترونیک: d-rabbani@kaums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۳/۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۱/۳۰

در اروپا صورت گرفته است، حذف ۹۹ درصدی شمارش بشقابی، کلیرم‌های مدفوعی و استرپتوکوکوس سودوموناس از آب رودخانه و حذف ۹۰ درصدی کدورت از آب‌های آشامیدنی گزارش شده است [۱۶]. اندازه ذرات کلوئیدی موجود در آب بین ۰/۱-۰/۰۰۱ میکرون بوده و سرعت ته‌نشینی طبیعی ذره‌ای با قطر ۰/۱ میکرون حدود ۳ متر در یک میلیون سال می‌باشد و لذا فرآیند تصفیه آب بدون استفاده از مواد و روش‌هایی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلوئیدی را افزایش دهند غیر ممکن به نظر می‌رسد [۱۶]. به‌طور کلی مواد ایجاد کننده کدورت شامل خاک رس، سیلت، ویروس، باکتری، اسیدهای فولویک و هیومیک، مواد معدنی نظیر آزبست، سیلیکات و ذرات رادیواکتیو هستند [۱۶]. کدورت ضمن ایجاد ظاهر نامطلوب، می‌تواند پناهگاهی برای میکروارگانیسم‌ها در مقابل گندزدایی باشد، ضمن آنکه کدورت بیش از حد مجاز وجود نقص در سیستم تصفیه را نشان می‌دهد [۲۰-۱۸]. با توجه به مطالب ذکر شده این تحقیق با هدف مقایسه کارایی فرآیند الکتروشیمیایی و انعقاد شیمیایی به کمک آلوم در حذف کدورت و شاخص‌های باکتری شناسی آب آلوده دست‌ساز به انجام رسیده است.

#### مواد و روش‌ها

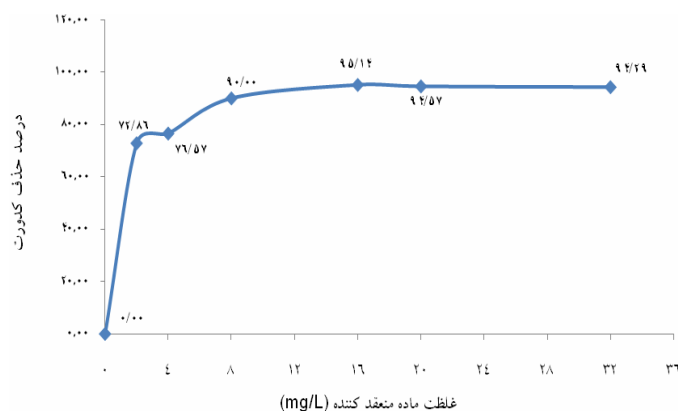
این مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی در سیستم بسته (Batch) بر روی نمونه‌های آب آلوده دست‌ساز صورت گرفته است. در هر مورد با اضافه کردن خاک رس الک شده با شماره ۱۲۰ میکرون و ۵۰ میلی‌لیتر پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری از نوع لجن فعال به ۱۰ لیتر آب شبکه شهری که با استفاده از تیوسولفات سدیم کلرزدایی شده بود، یک منبع آب آلوده دست‌ساز که از نظر کدورت و تعداد باکتری‌ها تقریباً مشابه با آب سطحی رودخانه‌ها باشد، تهیه شد. در اینجا با سعی و خطا کدورت نمونه‌های آب آلوده در حدود ۳۰ NTU تنظیم شده و سپس بررسی‌های مورد نظر بر روی آنها صورت گرفت. ابتدا به منظور تعیین دوز بهینه ماده منعقد کننده ۱ مورد آب آلوده تهیه شد و آزمایش جار طی ۳ مرحله و در هر مرحله ۶ ظرف مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش مذکور با دور تند ۱۲۰ rpm به مدت ۱ دقیقه، دور کند ۳۵ rpm به مدت ۱۵ دقیقه و ته‌نشینی به مدت ۳۰ دقیقه با غلظت‌های مختلف سولفات آلومینیوم (آلوم) صورت گرفت. در مرحله اول به هر کدام از ظروف شش‌گانه جار غلظت‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۰، ۳۲ میلی‌گرم در لیتر آلوم افزوده شد. سپس، برای تعیین pH بهینه، با افزودن محلول‌های اسید سولفوریک یا سود، اثر pH های ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ همراه با دوز

سال ۱۹۰۴ انجام شد [۷]. فرآیند الکتروشیمیایی که تاکنون برای حذف بسیاری از آلاینده‌های موجود در آب و فاضلاب با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است، طی مکانیزم‌های مختلف الکتروکواگولاسیون، الکتروفلوئاسیون و الکترواکسیداسیون موجب حذف آلودگی‌ها می‌شود [۹،۸]. یک فرآیند گندزدایی الکتروشیمیایی از طریق عبور آب آلوده شده از بین دو یا چند الکتروود صورت می‌گیرد. مزیت اصلی این فرآیند برای گندزدایی، تولید یک گندزدای شیمیایی در محل تصفیه می‌باشد [۶]. همچنین، این فرآیند برای خالص سازی آب و حذف یون‌هایی مانند سولفات، فسفات‌ها، کلرایدها، کاتیون‌های فلزات سنگین هم‌چون مس، جیوه، سرب، نیکل، آهن و ترکیبات آلی به کار برده شده است. در این فرآیند هم‌چنین کدورت و بو کاهش یافته و مزه آب بهبود می‌یابد [۶]. برای گندزدایی الکتروشیمیایی، جریان برق مستقیم و نیز جریان متناوب با فرکانس بالا و پایین به کار برده شده است. انواع الکترودهایی که در این فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل گرافیت، الکترودهای کامپوزیتی، فیبرهای کربنی، تیتانیوم پلاتینی شده، آهن زنگ نزن، کربن خالص، پلاتین، نقره، آلومینیوم است و در بعضی مواقع برای افزایش کارایی از کلرید یا برمید سدیم استفاده می‌شود [۸]. تصفیه الکتروشیمیایی آب، طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها را تخریب می‌کند. حدود ۴۰ گونه از میکروارگانیسم‌های گوناگون در اندازه‌های مختلف مثل ویروس‌ها، باکتری‌ها و الگ‌ها (بیشتر از نوع یوگلا) توسط این فرآیند حذف می‌شود [۱۰،۶]. روش الکتروشیمیایی نسبت به سایر روش‌ها مانند اسمز معکوس و تبادل یونی، تصفیه بیولوژیکی و غیره مزیت‌هایی دارد که عدم نیاز به مواد شیمیایی قبل و بعد از تصفیه، تولید لجن ناچیز و نیاز به فضای کوچک و سرمایه گذاری پایین از آن جمله‌اند؛ البته این روش دارای محدودیت‌هایی نظیر تهیه جریان الکتریسته نیز می‌باشد [۱۵-۱۱]. تصفیه الکتروشیمیایی برای افزایش شفافیت و خلوص آب‌های کدر، روش بسیار موثری به‌شمار می‌آید. در این فرآیند از آنودهای آهن یا آلومینیوم استفاده شده است. این آندها خورده شده و یون‌های حاصل از آن‌ها با رس و دیگر ذرات معلق واکنش داده و منجر به تولید فلاک‌هایی می‌شوند، یک مزیت قابل توجه دیگر این روش آن است که امکان حذف آسان مواد معلق، نفتی، پلی‌کلرین بی‌فنیل‌ها و یون‌های فلزی و آلاینده‌های باکتریایی را فراهم می‌کند [۱۲]. به‌تازگی روش‌های الکتروشیمیایی مطرح شده که نه تنها رنگ، بلکه هم‌زمان BOD، COD، جامدات معلق و فلزات سنگین را از فاضلاب حذف می‌کنند [۱۷،۱۶]. طی مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۱ توسط Koiich و همکاران جهت بررسی اثر فرآیند الکتروشیمیایی بر تصفیه آب

از محتوای سلول نمونه برداشت شد. هم‌زمان، جهت مقایسه از آب‌های آلوده قبل از اعمال فرآیند نیز نمونه برداری شد (مجموعاً ۳۵ نمونه). نمونه‌های برداشتی از نظر باقیمانده کدورت، شمارش تعداد کلیفرم احتمالی، تاییدی، مدفوعی و کشت بشقابی بررسی شد. کدورت با استفاده از دستگاه کدورت سنج مدل 2100p turbid meter تعیین شد و اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH سنج دیجیتالی مدل pH 262 (TS- technology , full Automatic pH Meter) انجام گرفت. تعداد کلیفرم‌ها به روش تخمیر ۱۵ لوله‌ای تعیین و سایر آزمایشات نیز بر اساس دستورالعمل‌های چاپ بیستم و یکم کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام شد [۲۲].

### نتایج

نتایج انجام آزمایشات جار بر روی نمونه آب آلوده دست‌ساز با کدورت اولیه ۳۰/۵ NTU در غلظت‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۰ و ۳۲ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیم و بدون تنظیم pH در نوار شماره ۱ نشان داده شده است. آنچه‌ان که دیده می‌شود بهترین دوز ماده منعقدکننده بدون تنظیم pH برابر ۱۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

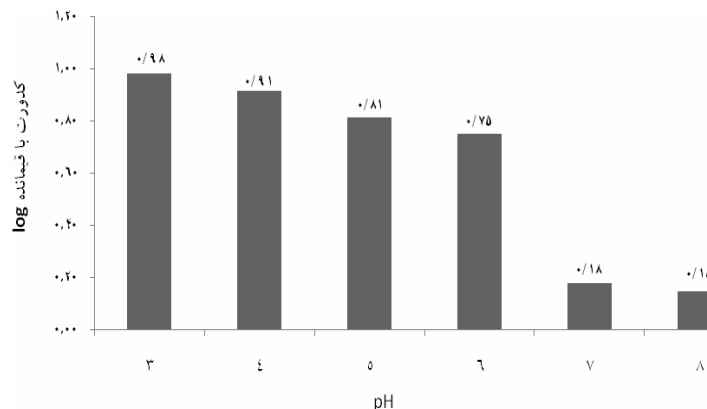


نمودار شماره ۱- روند تغییرات حذف کدورت نسبت به غلظت ماده منعقد کننده (بدون تنظیم pH)

تعیین شد. لازم به ذکر است که با افزایش pH از ۷ به ۸ اختلاف ناچیزی در کاهش کدورت مشاهده می‌شود (باقیمانده ۱/۴۱ NTU به جای ۱/۵۱ NTU) که از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نیست؛ چرا که بالا بردن pH مستلزم مصرف ماده شیمیایی است.

بهینه ماده منعقدکننده مشخص شده در مرحله قبل بررسی شد. در مرحله سوم برای تعیین دقیق‌تر غلظت بهینه ماده منعقدکننده، با حفظ pH بهینه حاصل از مرحله دوم، غلظت‌های دیگری از ماده منعقدکننده در محدوده نزدیک‌تری به غلظت بهینه به دست آمده از مرحله اول یعنی غلظت‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت. معیار انتخاب غلظت و pH بهینه در این مراحل از مطالعه کدورت باقیمانده در نمونه‌ها بود که برحسب واحد NTU مورد بررسی قرار گرفت [۲۱، ۲۰]. در ادامه ۵ مورد آب آلوده دست‌ساز به صورت جداگانه تهیه شد. پس از تهیه هر مورد، ابتدا با همان غلظت و pH بهینه به دست آمده از مراحل قبل آزمایش جار بر روی آنها صورت گرفت و پس از ته نشینی از سطح آن نمونه برداشت شد. همچنین، به عنوان شاهد از همان آب آلوده تهیه شده قبل از اعمال فرآیند نیز نمونه برداری شد (در مجموع ۱۰ نمونه). هر نمونه برداشتی از نظر کدورت، شمارش تعداد کلیفرم احتمالی، تاییدی، مدفوعی و کشت شمارش بشقابی بررسی شد. هم‌زمان، جهت بررسی اثر فرآیند الکترو-شیمیایی از هر یک از پنج مورد آب آلوده مذکور مقدار ۱۷۰۰ میلی‌لیتر در یک سلول الکترولیتی ریخته شد و با کمک الکترودهای آلومینیوم شدت جریان الکتریکی ثابت ۶۰۰ میلی آمپر بر آن اعمال شد. در زمان‌های واکنش مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه

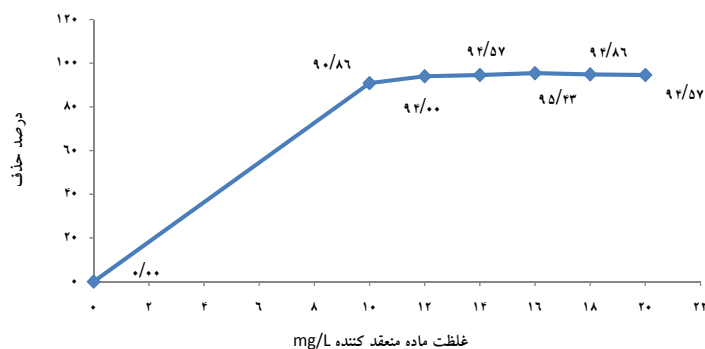
نتایج بررسی‌های انجام شده برای تعیین pH بهینه در دوز ۱۶ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیم در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است. آنچه‌ان که دیده می‌شود لگاریتم باقیمانده کدورت نمونه‌ها در pH ۷ افت قابل ملاحظه‌ای داشته و این نقطه از نظر ریاضی یک نقطه عطف به حساب می‌آید، لذا pH بهینه معادل ۷



نمودار شماره ۲- روند تغییرات لگاریتم کدورت باقیمانده نسبت به pH

نمودار شماره ۳ نشان داده شده است. باتوجه به این نمودار مشخص می‌شود که حداقل دوز ماده منعقدکننده با درصد حذف مطلوب، همان ۱۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

نتایج انجام آزمایش جار بر روی نمونه آب آلوده دست‌ساز با کدورت اولیه ۳۰/۵ NTU در غلظت‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات آلومینیم و در pH بهینه ۷ در



نمودار شماره ۳- روند تغییرات حذف کدورت نسبت به غلظت ماده منعقد کننده در pH بهینه

الکتروشیمیایی بر حذف کدورت و عوامل میکروبی نمونه‌های آب آلوده در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

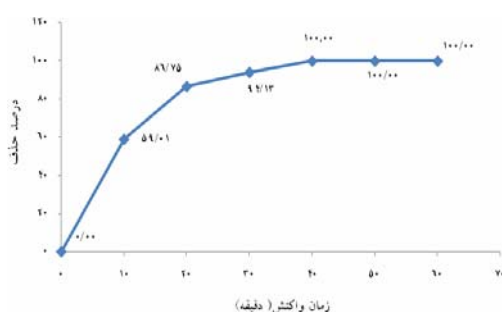
نتایج اعمال فرآیند انعقاد بر حذف کدورت و عوامل میکروبی نمونه‌های آب آلوده نیز در جدول شماره ۱ و نتایج اعمال فرآیند

جدول شماره ۱- باقیمانده کدورت و عوامل میکروبی آب آلوده قبل و بعد از اعمال فرآیند انعقاد شیمیایی با آلوم در غلظت و pH بهینه

باقیمانده عامل مورد بررسی	آب خام (n=5) $\bar{X} \pm SD$	بعد از انعقاد (n=5) $\bar{X} \pm SD$
کدورت (NTU)	۲۹/۷۶±۲/۳۵	۲/۹۹±۰/۶۶
کلیفرم احتمالی (MPN/۱۰۰ml)	۸۵/۰۴±۳۴/۲۰	۱۶/۵۲±۶/۳۶
کلیفرم تاییدی (MPN/۱۰۰ml)	۲۰/۳۷±۴/۵۹	۱۰/۴۱±۵/۰۹
کلیفرم مدفوعی (MPN/۱۰۰ml)	۱۰/۴۳±۲/۷۸	۳/۵۹±۰/۰۰
کشت بشقابی آب خام (۱ ml/تعداد)	۱۲۳/۸۰±۱۴/۵۸	۱۱/۰۰±۶/۴۴

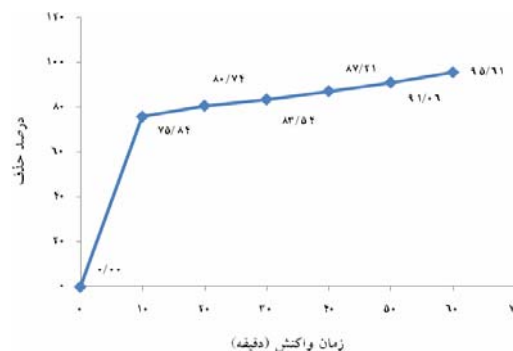
جدول شماره ۲- نتایج اعمال فرآیند الکتروشیمیایی بر حذف عوامل کیفی آب

عوامل کیفی					زمان واکنش (دقیقه)
کلیرم مدفوعی (MPN/۱۰۰ml)	کلیرم تاییدی (MPN/۱۰۰ml)	کلیرم احتمالی (MPN/۱۰۰ml)	کشت بشقابی (تعداد/۱۰۰ml)	کدورت (NTU)	
۷/۹۷ (SD=۱/۰۰)	۱۶/۶۶ (SD=۷/۲۷)	۷۷/۶۶ (SD=۲۳/۸۷)	۱۳۰/۲ (SD=۱۸/۷۴)	۲۹/۶۴ (SD=۲/۶۱)	آب خام (n=۵)
۴/۷۳ (SD=۲/۶۶)	۸/۹۴ (SD=۵/۵۵)	۳۱/۸۳ (SD=۳۰/۷۲)	۱۵ (SD=۲/۵۴)	۷/۱۶ (SD=۱/۵۴)	۱۰ (n=۵)
۱/۳۲ (SD=۱/۸۲)	۵/۳۵ (SD=۴/۴۵)	۱۰/۲۹ (SD=۵/۴۶)	۱۱/۸ (SD=۱/۳۰)	۵/۷۱ (SD=۰/۸۴)	۲۰ (n=۵)
۰/۶۰ (SD=۱/۳۴)	۱/۹۰ (SD=۴/۲۴)	۴/۵۶ (SD=۶/۰۸)	۹/۴ (SD=۱/۱۴)	۴/۸۸ (SD=۰/۳۳)	۳۰ (n=۵)
۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۷/۲ (SD=۰/۸۳)	۳/۷۹ (SD=۰/۹۶)	۴۰ (n=۵)
۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۴/۸ (SD=۰/۴۴)	۲/۶۵ (SD=۰/۸۲)	۵۰ (n=۵)
۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۰/۰۰ (SD=۰/۰۰)	۲/۴ (SD=۰/۸۹)	۱/۳۰ (SD=۰/۳۴)	۶۰ (n=۵)



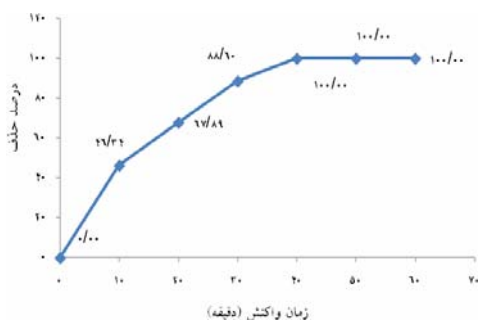
نمودار شماره ۴ اثر فرآیند الکتروشیمیایی بر حذف کدورت در زمان‌های واکنش ۱۰ تا ۶۰ دقیقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود فرآیند الکتروشیمیایی در زمان واکنش ۵۰ دقیقه توانسته است با بازدهی ۹۱/۰۶ درصد کدورت باقیمانده را به کمتر از ۳NTU کاهش دهد.

نمودار شماره ۵- روند تغییرات حذف کلیرم احتمالی با زمان واکنش در فرآیند الکتروشیمیایی



نمودار شماره ۶ نیز اثر فرآیند الکتروشیمیایی بر حذف کلیرم تاییدی را نشان می‌دهد و همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در زمان واکنش ۴۰ دقیقه و بیشتر این فرآیند صد درصد حذف کلیرم تاییدی را به دنبال داشته است.

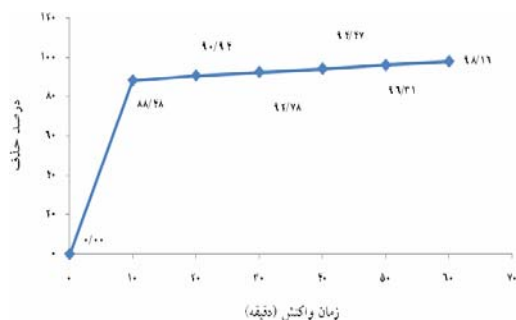
نمودار شماره ۴- روند تغییرات حذف کدورت با زمان واکنش در فرآیند الکتروشیمیایی



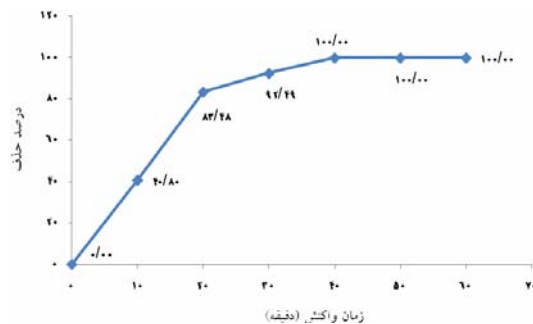
نمودار شماره ۶- روند تغییرات حذف کلیرم تاییدی با زمان واکنش در فرآیند الکتروشیمیایی

نمودار شماره ۵ اثر فرآیند الکتروشیمیایی با زمان واکنش ۱۰ تا ۶۰ دقیقه بر حذف کلیرم احتمالی را نشان می‌دهد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود در زمان واکنش ۴۰ دقیقه و بیشتر این فرآیند حذف صد درصدی کلیرم احتمالی را به دنبال داشته است.

آنچنان که از جدول و نمودار یاد شده بر می آید این فرآیند موفق شده است با ۹۸/۱۶ درصد حذف، تعداد باکتری‌های هتروتروف را از ۱۳۰ عدد در میلی‌لیتر آب خام پس از ۶۰ دقیقه زمان واکنش به ۲/۴ عدد در میلی‌لیتر کاهش دهد.



نمودار شماره ۷ اثر فرآیند الکتروشیمیایی بر حذف کلیفرم مدفوعی را نشان می‌دهد و با توجه به آن می‌توان دریافت در زمان واکنش ۴۰ دقیقه و بیشتر فرآیند الکتروشیمیایی موفق به حذف صد درصدی این نوع کلیفرم شده است.



نمودار شماره ۸- تغییرات درصد حذف کشت بشقابی از طریق فرآیند الکتروشیمیایی با آلوم در زمان‌های مختلف واکنش

نمودار شماره ۷- روند تغییرات حذف کلیفرم مدفوعی با زمان واکنش در فرآیند الکتروشیمیایی

نتایج فرآیندهای الکتروشیمیایی با زمان واکنش ۵۰ دقیقه و انعقاد شیمیایی با آلوم نیز در نمودار شماره ۹ مقایسه شده است.

نتایج شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف قبل و بعد از فرآیند الکتروشیمیایی در جدول شماره ۲ و روند حذف آن طی زمان‌های واکنش ۱۰ تا ۶۰ دقیقه در نمودار شماره ۸ نشان داده شده است.



نمودار شماره ۹- مقایسه فرآیند الکتروشیمیایی و انعقاد شیمیایی با آلوم در حذف آلودگی‌های آب

نشان می‌دهد. حذف کلیفرم احتمالی در زمان واکنش ۴۰ دقیقه، صد درصد و حذف آن در دوز و pH بهینه سولفات آلومینیوم ۸۰/۵۷ درصد بوده است که مبین کارآمدتر بودن فرآیند مذکور نسبت به انعقاد شیمیایی است. همچنین، حذف کلیفرم تاییدی در فرآیند انعقاد شیمیایی ۴۸/۸۷ درصد بوده و این در حالی است که با اعمال فرآیند الکتروشیمیایی در زمان واکنش ۴۰ دقیقه، ۱۰۰ درصد بوده است. حذف کلیفرم مدفوعی در آزمایش انعقاد شیمیایی ۶۵/۵۹ درصد بوده و این در حالی است که با اعمال فرآیند الکتروشیمیایی حذف کلیفرم مدفوعی در زمان واکنش ۴۰

## بحث

یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که اعمال فرآیند الکترو-شیمیایی با الکتروود آلومینیم می‌تواند کلیفرم‌های احتمالی، تاییدی و مدفوعی را تا میزان ۱۰۰ درصد حذف نماید؛ در حالی که نتیجه مشابهی به کمک انعقاد شیمیایی با غلظت بهینه سولفات آلومینیوم و pH بهینه به دست نیامد. همچنین، فرآیند الکتروشیمیایی توانست کدورت آب خام را حداکثر تا ۹۵/۶۱ درصد و تعداد باکتری‌های هتروتروف شمارش شده در یک میلی‌لیتر نمونه را تا ۹۸/۱۵ درصد کاهش دهد که نتایج بهتری را در مقایسه با فرآیند انعقاد شیمیایی

رشد اشرشیاکلی، باسیلوس سوبتیلوس، سودوموناس آئروژینوزا و استافیلوکوکوس ارائوس استفاده نموده‌اند [۲۷]. هم‌چنین، Patermarakis و Fountoukidis، طی مطالعه‌ای باکتری‌های کلیرمی و استریپتوکوکسی‌های مدفوعی موجود در آب‌های سطحی طبیعی را در معرض جریان مستقیم ۲/۵ میلی‌آمپر در سانتی‌متر مربع قرار داده و نشان دادند که پس از گذشت زمان ۳۰ دقیقه تعداد قابل توجهی از باکتری‌های یاد شده کاهش می‌یابد [۶].

#### نتیجه‌گیری

در این تحقیق بازده روش الکتروشیمیایی در حذف کدورت و شاخص‌های باکتری‌شناسی از آب آلوده دست‌ساز با بازده روش انعقاد شیمیایی با استفاده از آلوم مقایسه شد. مقایسه نتایج تحقیق، حاکی از کارآمدتر بودن فرآیند الکتروشیمیایی نسبت به انعقاد شیمیایی در حذف کدورت و شاخص‌های باکتری‌شناسی آب آلوده است.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان به دلیل مساعدت‌ها و همکاری‌هایی که به‌عمل آورده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

#### References:

[1] Zeini M, Ghaneian MT, Talebi P, Sharifi S, Sheikalishahi S, Goodarzi B, et al. Investigation of Physical, Chemical and Microbial Characteristics of Ahrestan Subterranean Canal (SC) Water in Yazd District for Water Resources Conservation and Sustainable Development. *Toloo e Behdasht* 2008; 7(1-2): 36-42. [in Persian]

[2] Dehqani MH, Ghaderpoori M, Fazlzadeh M, Golmohamadi S. Survey of bacteriological quality of drinking water in rural areas in Saqqez city. *Iran J Health Environ* 2009; 2(2): 132-9. [in Persian]

[3] WHO, Unicef. Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. Available at: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2000.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf), Jose Hueb book 11.1

[4] Alipoor V, Dindar Loo K, Zare Sh. Microbial quality of drinking water of Bandar Abbas buses. *J Hormozgan Univ Med Sci* 2005; 8(4): 215-9.

[5] Momba MNB, Tyafa Z, Makala N, Brouckairt BM, Obi CL. Safe drinking water still a dream in rural areas of South Africa. Available at: <http://www.wrc.org.za> 2006; 32(5): 715-20.

[6] Patermarakis G, Fountoukidis E. Disinfection of water by electrochemical treatment. *J Water Res* 1990; 24: 1491-6.

دقیقه به ۱۰۰ درصد رسیده است. این نتیجه با نتیجه اعلام شده توسط موسویان و رضایی که در سال ۱۳۸۳ با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی با الکتروتود آهن و شدت جریان ۵ آمپر موفق شده‌اند ۹۹/۹ درصد کلیرم‌های مدفوعی را حذف نمایند، توافق خوبی را نشان می‌دهد [۲۳]. این تحقیق نشان داد که فرآیند الکتروشیمیایی در زمان واکنش ۶۰ دقیقه کدورت آب خام را تا ۹۵/۶۱ درصد حذف نموده و کدورت آن را از ۲۹/۶۴±۲/۶۱ به ۱/۳۰±۰/۳۴ NTU کاهش داده است که با نتیجه اعلام شده توسط Abuzaid NS و همکاران که با استفاده از فرآیند الکتروشیمیایی (با الکتروتود آهن و شدت جریان ۱ آمپر) موفق به حذف ۹۵ درصدی کدورت شده بودند، موافقت دارد [۲۴]. هم‌چنین، در مطالعات انجام شده توسط Lin و Lai مشخص گردید که الکتروکواگولاسیون با زوج الکترودهای Fe/Al در فاصله زمانی کمتر از ۳۰ دقیقه دارای بازده حذف ۹۶/۵ درصد حذف کدورت می‌باشد [۲۵]. گزارش Kommer و همکاران حاکی از آن است که استفاده از روش الکتروشیمیایی با ایجاد عوامل اکسیدکننده در اختلاف پتانسیل ۱۰ ولت پس از ۴۰ دقیقه به‌طور موثری باعث کشته شدن باکتری‌های اشرشیاکلی نوع H: 0157، سالمونلا اینتریدیس و لیستریا منوسیتوزنس شده است [۲۶]. Tokudoa و Nakanishi از جریان الکتروسیسته مستقیم با شدت ۶۰ میلی‌آمپر جهت ممانعت از

[7] Ni'am MF, Othman F, Sohaili J, Fauzia Z. Removal of COD and turbidity to improve wastewater quality using electrocoagulation technique. *MJAS* 2007; 11(1): 198-205.

[8] Mesdaghinia AR, Rabbani D, Nasser S, Vaezi F. Effect of coagulants on electrochemical process for phosphorus removal from activated sludge effluent. *Iran J Publ Health* 2003; 32(4): 45-51.

[9] Rabbani D, Mesdaghinia AR, Nasser S, Nadafi K. Effect of coagulants on electrochemical process for phosphorus removal from activated sludge effluent. *Feyz* 2003; 7(3): 21-9. [in Persian]

[10] Addy SEA, Gadgil A, Kowolik K, Kosteci R. Electrochemical removal (ECAR) for rural bangladesh—merging technology with sustainable implementation. *2008 unc environmental symposium safe drinking water: where science meets policy*. 2008 November 5-6, Chapel hill, nc.

[11] Golami M, Joneidi A, Mahmoodi N M, Dalvand A. Investigation of electrocoagulation process efficiency for removal C.I. Reactive Red 198 from wastewater. *12<sup>th</sup> National Conference on Environmental Health*, 2009 November 18-21, Tehran, Iran.

[12] Khanniche MS, Morgan PG, Khanniche KN, Jobling CP, Khanniche N. A Novel electro-



- chemical process for water treatment; *Rev Energ Ren: Power Engineering* 2001; 63-7.
- [13] Yazdanbakhsh AR, Golabi MR, Jamshidy A. performance evaluation of electrochemical reactor for nitrate removal from Gachsaran drinking water. *12<sup>th</sup> National Conference on Environmental Health*, 2009 Novembre 18-21, Tehran, Iran.
- [14] Ramirez N, Regueiro A, Arias O, Contreras R. *Electrochemical impedance spectroscopy: an effective tool for a fast microbiological diagnosis*. Available at: <http://elfosscientiae.cigb.edu.Cu/PDFs/BA/2009/26/1/BA002601ENO72-78.pdf> *Biotechnologia Aplicada* 2008; 26(1)
- [15] Szykarczuk J, kan J, Hassan AT, Donini JC. Electrochemical coagulation of clay suspensions. *Clays Clay Miner* 1994; 42(6): 667-73.
- [16] Kord Mostafapoor F, Bazrafshan E, Kamani H. Effectiveness of Three Coagulants of Polyaluminum Chloride, Aluminum Sulfate and Ferric Chloride in Turbidity Removal from Drinking Water. *Zahedan J Res Med Sci* 2008; 10(2): 87-95. [in Persian]
- [17] Walter D, Shian-sheng C, Chihpin H. Treatment of chemical mechanical polishing wastewater using electrochemical processes. Available at: <http://www2.thu.edu.tw/~airnino/DEN/CMP%20manuscript.pdf>
- [18] Farrell JM. Electrochemical methods for wastewater and potable water treatment; Organized by Symposia Papers Presented before the Division of Environmental Chemistry American Chemical Society: 2002 August 18-22, Boston, USA.
- [19] Mouli PC, Mohan SV, Reddy SJ. Electrochemical processes for the remediation of wastewater and contaminated soil: emerging technology. *J Sci Ind Res* 2004; 63: 11-9.
- [20] Christopher R. Schulz, Daniel A. Okun, Surface water treatment for communities in developing countries. London: John Wiley & Sons Inc.; 1992.
- [21] Patel UD, Suresh S. Electrochemical treatment of pentachlorophenol in water and pulp bleaching effluent. 2004; 10054/1567/1/5284: 115-22. Available at: <http://dspace.library.iitb.ac.in/jspui/bitstream/.pdf>
- [22] Greenberg AE, Clesceri LS, Eaton AD. Standard methods for the examination of water and Wastewater. 21<sup>st</sup> ed. Washington, DC: APHA, AWWA, WPCF; 2005. p. 9: 1-71.
- [23] Mosavian SM, Rezaie A. Contaminated wastewater containing high color fusion method Electrochemical Industries-gamma radiation. *4<sup>th</sup> Congress of Occupational Health*, 2004, Hamedan, Iran.
- [24] Abuzaid NS, Bukhari AA, Al-hamouz ZM. Ground water coagulation using soluble stainless steel electrodes. Available at: [www.elsevier.com/locate/aer](http://www.elsevier.com/locate/aer) 2002; 6: 325-33.
- [25] Lai CL, Lin SH. Treatment of chemical mechanical polishing wastewater by electro coagulation: system performances and sludge settling characteristics. *Chemosphere* 2004, 54(3): 235-42.
- [26] Venkitanarayanan KS, Ezeike GO, Hung YC, Doyle MP. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivation Escherichia coli O157: H7, Salmonella enteritidis and Listeria monocytogenes. *Appl Environ Microbiol* 1999; 65(9): 4276-9.
- [27] Tokudoa H, Nakanishi K. Application of direct current to protect bioreactor against contamination. *Basic Biotechnol Biochem* 1995; 59(4): 753-5.