

# تعیین کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آلومینیومی در حذف سیانید از پساب سنتتیک با بهره‌گیری از کمک منعقد کننده منیزیم اکسید

محمدرضا سمرقندی<sup>۱</sup>، امیر شعبانلو<sup>۲</sup>، یوسف پورعشق<sup>۳</sup>، جمال مهرعلی پور\*<sup>۴</sup>، رقیه صفری<sup>۵</sup>، پریسا سلگی<sup>۵</sup>، کاملیا میرزارضایی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط - دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط - دانشگاه علوم پزشکی همدان. عضو شورای مرکزی کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی همدان

<sup>۵</sup> کارشناسی مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

نشانی نویسنده مسئول: همدان، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان، جمال مهر علیپور

E-mail: jamalmehralipour@yahoo.com

وصول: ۹۲/۱۱/۷، اصلاح: ۹۲/۱۱/۲۰، پذیرش: ۹۲/۱۲/۴

## چکیده

**زمینه و هدف:** یون سیانید به‌عنوان یکی از ترکیبات خطرآفرین انسانی به‌شمار می‌رود. فرایند الکتروکواگولاسیون با کارایی بالا در حذف آلاینده‌ها، به‌عنوان یک فرایند مؤثر، مورد توجه است. هدف از این مطالعه، تعیین کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آلومینیومی در حذف سیانید از پساب سنتتیک با بهره‌گیری از کمک منعقد کننده منیزیم اکسید می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه، از یک محفظه‌ی واکنش با چهار الکتروکواگولاسیون به ابعاد ۲۰\*۲۰\*۲۰ میلی‌متر به حجم مفید ۱ لیتر مجهز به دستگاه مولد جریان الکتریسیته استفاده شده است. تأثیر پارامترهای pH (۳-۹)، ولتاژ (۱۰-۳۰ ولت)، غلظت اولیه‌ی سیانید ورودی (۵۰-۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و غلظت‌های مختلف نانو ذرات اکسید منیزیم (۱/۱-۱ گرم در لیتر) به‌عنوان کمک منعقد کننده مورد بررسی قرار گرفته است.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داده که راندمان فرایند در pH برابر ۵، ولتاژ ۳۰ ولت و غلظت اولیه‌ی آلاینده سیانید ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، در مدت زمان ۴۵ دقیقه، برابر ۸۰ درصد است. با افزودن کمک منعقد کننده راندمان فرایند افزایش پیدا می‌کند. در مقادیر بهینه کمک منعقد کننده (۱/۱ میلی‌گرم بر لیتر) از ماده‌ی اکسید منیزیم در فرایند الکتروکواگولاسیون در طی زمان واکنش ۴۵ دقیقه، حذف سیانید ۹۰ درصد حاصل شده است.

**نتیجه‌گیری:** فرایند الکتروکواگولاسیون، فرایندی مناسب در حذف سیانید می‌باشد. همچنین ذرات اکسید منیزیم به‌عنوان کمک منعقد کننده‌ی مناسب در این فرایند عمل کرده و سبب افزایش کارایی فرایند و متعاقباً باعث افزایش حذف سیانید شده است.

**واژه‌های کلیدی:** فرایند الکتروکواگولاسیون، سیانید، کمک منعقد کننده، منیزیم اکسید، پساب سنتتیک

## مقدمه

یون سیانید، ترکیبی از عناصر کربن - نیتروژن است که از ترکیبات سمی تهدیدکننده‌ی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شود (۱). این ترکیب معمولاً با شکل‌های متفاوتی مانند نمک، یون، کمپلکس فلزات و به‌صورت سیانید مولکولی در محیط‌های آبی توسط صنایع مختلف یا به‌صورت طبیعی آزاد می‌شود (۲). حضور سیانید و ترکیبات آن در محیط زیست، مخصوصاً منابع آبی، به یک نگرانی بزرگ تبدیل شده‌است. زیرا از سویی دارای اثرات سو بر اکوسیستم آبی می‌باشد و از سوی دیگر برای انسان سمی بوده و باعث بروز عوارضی مانند تهوع، استفراغ، افزایش تپش قلب، ورم ریه، عدم هوشیاری و مرگ می‌شود (۳). طبق قوانین وضع شده در اتحادیه‌ی اروپا، حداکثر غلظت مجاز سالیانه‌ی سیانید در منابع آبی کمتر از ۰/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (۴). سازمان جهانی بهداشت، حداکثر غلظت مجاز سیانید در آب آشامیدنی را ۰/۰۷ میلی‌گرم در لیتر تعیین کرده‌است (۵، ۶).

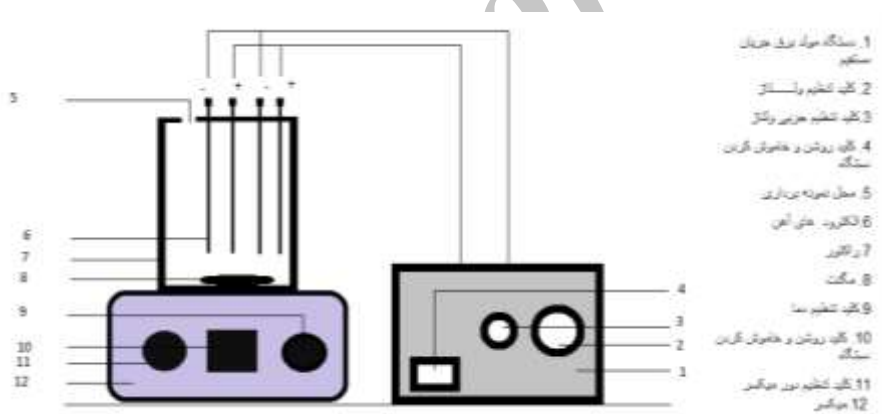
مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نیز این مقدار را به‌عنوان استاندارد ملی در نظر گرفته است. ترکیبات سیانیدی به‌صورت گسترده‌ای در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند که فاضلاب تولیدی آن‌ها، به‌عنوان منبع بزرگی از این ترکیبات سمی به‌شمار می‌روند. این ماده، از مواد مصرفی در صنایع استخراج و بازیافت فلزات، آبکاری فلزات و ساخت حشره‌کش‌ها و مانند آن بوده که در مقیاس وسیع به کار برده می‌شود. همچنین این فاضلاب‌ها، معمولاً حاوی مقادیر زیادی فلزات سنگین از قبیل مس، نیکل، روی، نقره و آلومینیوم هستند که به‌دلیل واکنش‌پذیری زیاد، سیانید با آنها واکنش داده و ترکیبات فلزی با سمیت و پایداری متفاوت تولید می‌شود (۷، ۸). پیامد استفاده از سیانید در صنایع، ورود آن به محیط زیست و مخصوصاً آب‌های سطحی، از طریق تخلیه پساب‌های صنعتی است (۹). رهاسازی سیانید از

صنایع در سراسر جهان، بیش از ۱۴ میلیون کیلوگرم در سال گزارش شده‌است (۱۰). امروزه فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف سیانید از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که هر کدام از روش‌ها، دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشد (۱۰، ۱۱). به‌عنوان مثال، فرایندهای بیولوژیکی اگرچه به‌عنوان فرایند دوستدار محیط زیست می‌باشند، اما غلظت زیاد سیانید در محیط‌های آبی ممکن است برای میکروارگانیزم‌ها سمی باشد و موجب کاهش میزان تجزیه‌ی بیولوژیکی سیانید و سایر ترکیبات سمی مقاوم دیگر شود. به‌علاوه این تکنولوژی‌ها هنوز به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته نشده‌اند و استفاده‌ی آنها، نیازمند ترکیب‌کردن علم متالوژی، بیولوژی، مهندسی فرایند است (۱۲). از روش‌های دیگر، می‌توان به روش‌های اکسیداسیون شیمیایی و جذب اشاره نمود، اما این فرایندها نیز دارای معایبی مانند اضافه‌کردن کاتیون و آنیون‌های اضافی به آب، ایجاد مقادیر بالای هیپوکلریت و از معایب فرایند جذب سطحی می‌توان به ظرفیت کم حذف آلاینده توسط جاذب، تولید و احیای پرهزینه و از بین رفتن ۱۰-۱۵٪ آن در طی فرایند احیاء و در نهایت جداسازی جاذب از فاز مایع که سبب غیر عملی بودن کاربرد این ماده در مقیاس کاربردی شده‌است، اشاره کرد (۱۳).

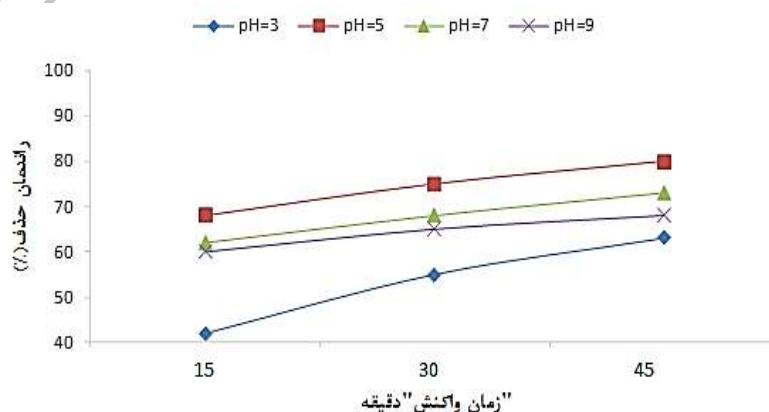
در سال‌های اخیر، فرایند الکتروکواگولاسیون به‌دلیل راندمان بالا در حذف آلاینده‌های مختلف از محیط‌های آبی، به‌عنوان یک فرایند مؤثر در تصفیه‌ی آب مورد توجه قرار گرفته است (۱۴). از جمله مزایای فرایند الکتروکواگولاسیون در مقایسه با فرایند کواگولاسیون متداول، می‌توان به مواردی نظیر عدم مصرف مواد منعقدکننده در دوزاژ بالا، راندمان بالاتر در حذف آلودگی‌ها، جلوگیری از ایجاد آلودگی ثانویه و کاهش مقدار لجن تولیدی در طی فرایند اشاره کرد (۱۵). یکی از مهم‌ترین مزیت‌های فرایند الکتروکواگولاسیون، جلوگیری

آلودگی محیط زیست نقش بسیار ارزنده‌ای را ایفاء می‌کند (۱۹). اکسید منیزیم، به‌عنوان یک اکسید فلزخاکی (MgO)، یکی از ترکیباتی است که امروزه به صورت گسترده‌ای در فرایندهای مختلف تصفیه ناخالصی‌ها از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اکسید منیزیم در مقایسه با سایر ترکیبات اکسیدکننده، دارای مزایای بسیاری از جمله نسبت سطح به حجم بالای این ترکیب، تولید و آماده‌سازی آسان و کم‌هزینه از مواد اولیه در دسترس (۲۰) بوده که خود این مزایا، سبب شده امروزه به‌صورت گسترده‌ای مورد توجه قرار بگیرد. بنابراین با عنایت به تأثیرگذار بودن اکسید منیزیم در کارایی فرایندهای مختلف و عدم وجود اطلاعات جامع در این زمینه، به‌ویژه در مورد استفاده از این ماده به‌عنوان کمک منعقدکننده در فرایند الکتروکواگولاسیون، این پژوهش به-

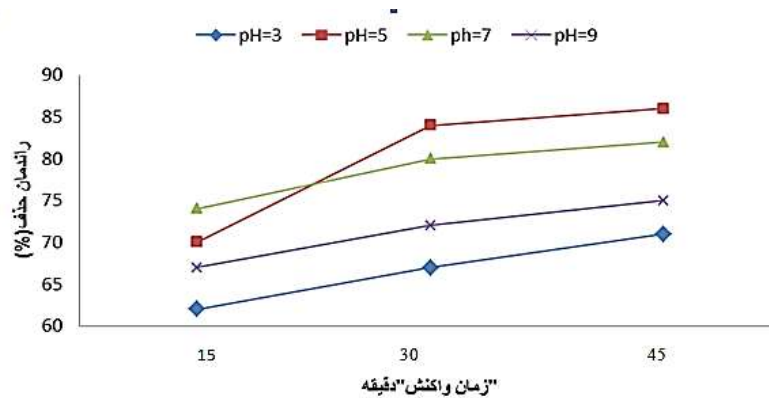
از ازدیاد غلظت نمک‌های موجود در ترکیب مواد منعقدکننده مورد استفاده می‌باشد (۱۶). مطالعات گذشته بیانگر آن است که فرایند الکتروکواگولاسیون یک فرایند مؤثر در حذف آلاینده‌هایی نظیر سیانید، آرسنیک، کدورت و غیره از محیط‌های آبی است (۱۷). همچنین در مطالعات گذشته، ثابت شده که استفاده از الکتروکواگولاسیون در فرایند الکتروکواگولاسیون در مقایسه با سایر الکترودهای فلزی راندمان حذف بالاتری در حذف آلاینده‌های مختلف از خود نشان می‌دهد (۱۸). نانو ساختارها، یکی از مهمترین محصولات فناوری نانو می‌باشند. در این میان نانو ذرات، اکسیدهای فلزی، قابلیت‌های بسیار بالایی در شرکت واکنش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی دارند. فعالیت‌های شیمیایی سطح نانو، دارای ذرات بسیار بالا بوده و بر همین اساس در واکنش‌های کاتالیستی و کنترل



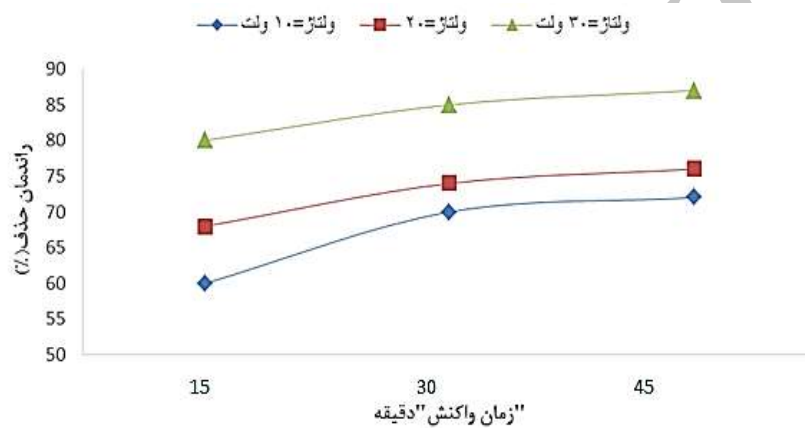
شکل ۱: طرح شماتیک راکتور مورد استفاده



نمودار ۱: تأثیر pH در فرایند الکتروکواگولاسیون در حذف سیانید (غلظت اولیه سیانید ۱۰۰ mg/l، ولتاژ ۲۰ ولت و بدون حضور اکسید منیزیم)



نمودار ۲: تأثیر pH در فرایند الکتروکواگولاسیون در حذف سیانید در حضور کمک منعقدکننده اکسید منیزیم  $0.25 \text{ mg/l}$  (غلظت اولیه سیانید  $100 \text{ mg/l}$ ، ولتاژ ۲۰ ولت)



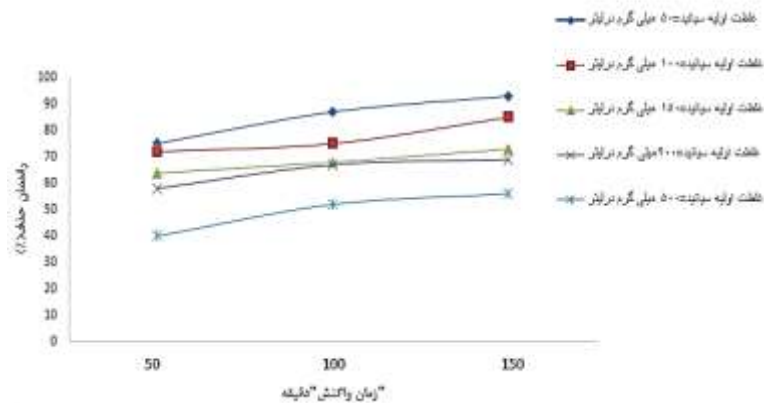
نمودار ۳: تأثیر ولتاژ در فرایند الکتروکواگولاسیون در حذف سیانید (غلظت اولیه سیانید  $100 \text{ mg/l}$ ، pH برابر ۵، ولتاژ ۲۰ ولت و بدون حضور اکسید منیزیم)

محلول‌های سیانید در غلظت‌های مورد نیاز نیز از محلول مادر به دست آمده است. در راستای حفظ کیفیت محلول‌های ساخته شده، این محلول‌ها به صورت روزانه تهیه و در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شده است. سنجش غلظت سیانید کل در نمونه‌های اولیه و تصفیه شده پس از سانتریفوژ کردن با استفاده از سانتریفوژ مدل Sigma301 ساخت شرکت سیگما و با روش تیتراسیون با نیترات نقره با روش ذکر شده (4500-CL) در کتاب استاندارد متد صورت گرفته است (۲۱). پایلوت مورد استفاده از جنس پلکسی گلاس به حجم مفید ۱ لیتر مجهز به دستگاه مولد جریان الکتریسیته است. تعداد ۴ الکترودهای آلومینیومی به فاصله ۲ سانتی‌متر از هم، به صورت شناور و تک قطبی در راکتور تعبیه شده بود. در مطالعات

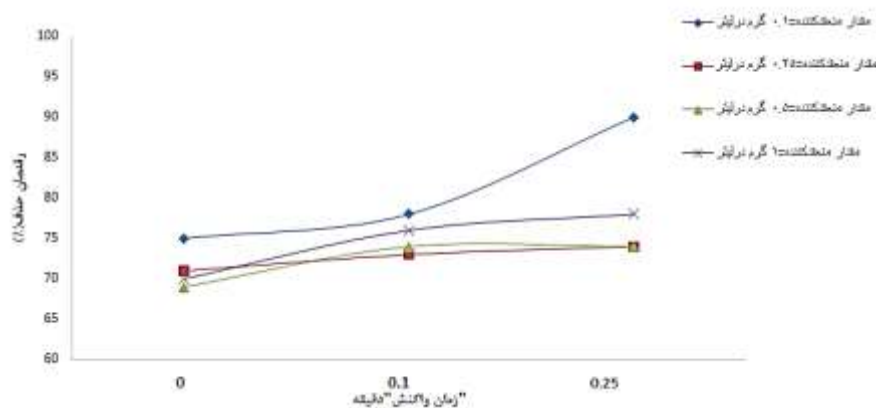
منظور تعیین کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آلومینیومی در حذف سیانید از پساب سنتتیک با بهره‌گیری از کمک منعقدکننده منیزیم اکسید انجام گرفته است.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه‌ی تجربی، در سال ۱۳۹۲، در یک راکتور ناپیوسته در آزمایشگاه شیمی محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شده است. تمامی مواد مورد استفاده در این مطالعه، از شرکت مرک و آلدریچ تهیه گردیده است. جهت انجام مطالعه، ابتداء سیانید با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به عنوان محلول مادر از حل کردن سیانید سدیم در آب دی یونایز تهیه شده است.



نمودار ۴: تأثیر غلظت اولیه سیانید در فرایند الکتروکواگولاسیون در حذف سیانید (pH برابر ۵، ولتاژ ۲۰ ولت و غلظت اکسید منیزیم ۰/۲۰ mg/l)



نمودار ۵: تأثیر غلظت کمک منعقد کننده اکسید منیزیم در فرایند انعقاد الکتروشیمیایی در حذف سیانید (غلظت اولیه سیانید ۱۰۰ mg/l، pH برابر ۵ و ولتاژ ۲۰ ولت)

راستای جلوگیری از بروز خطای احتمالی به دلیل حضور کلرور از آب دی یونایز استفاده شده است. همچنین برای تولید هدایت الکتریکی از سدیم سولفات به میزان ۰.۵ گرم در لیتر استفاده گردیده است. pH یکی از فاکتورهای مؤثر و تعیین کننده در فرایندهای انعقاد الکتریکی است. تمامی مراحل آزمایشها در دمای اتاق انجام شده و هر مرحله از آزمایشها، سه بار تکرار و در نهایت، میانگین نتایج به دست آمده، گزارش شده است. نمونه برداری بعد از گذشت زمان واکنش (۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) با استفاده از پیپت کاملاً تمیز با حجم ۵۰ میلی لیتر و از میانه راکتور صورت پذیرفته است. در مرحله ی بعد، پس از مشخص شدن pH بهینه در غلظت ثابت سیانید ۱۰۰ میلی گرم در لیتر تغییر ولتاژ جریان در دامنه ی ۱۰ تا ۳۰ ولت مورد بررسی قرار گرفته است. پس از مشخص شدن مقدار جریان و pH

مشابه در این زمینه از تعداد مختلف الکتروود و فواصل مختلف بین الکتروودها استفاده گردیده که در این مطالعه، این فاصله و تعداد الکتروود انتخاب شده است. دستگاه مولد انرژی با قابلیت تولید جریان الکتریسیته در مقادیر متغیر (۱۰، ۲۰، ۳۰ ولت) و آمپراژ کمتر از ۱ آمپر مورد استفاده قرار گرفته است. شمای کلی راکتور در شکل ۱ نشان داده شده است.

جهت تنظیم pH از اسید کلردریک ۱ مولار و هیدروکسید سدیم ۱ نرمال استفاده شده است. تنظیم pH توسط pH متر مدل Sension1 انجام گردیده است. تأثیر هر یک از پارامترهای (۳-۹) pH، ولتاژ (۱۰-۳۰ ولت)، غلظت اولیه سیانید (۵۰-۵۰۰ میلی گرم در لیتر) و غلظت اکسید منیزیم (۰.۱-۱ گرم در لیتر) در طی زمانهای ماند متفاوت (۰-۶۰ دقیقه) مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است. در

بهینه غلظت‌های مختلف از سیانید از ۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به آب اضافه‌شده و به‌صورت مجزا در زمان‌های تعیین‌شده نمونه‌برداری از آب انجام و مقدار سیانید باقی‌مانده توسط فرایند مذکور تعیین‌شده‌است. در نهایت، به‌منظور تعیین غلظت بهینه اکسید منیزیم به‌عنوان کمک منعقدکننده در فرایند، در شرایط بهینه آزمایش غلظت‌های مختلف (۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ گرم در لیتر) از اکسید منیزیم مورد بررسی قرار گرفته‌است. در پایان، جهت تعیین تأثیر همزمان pH و مقادیر مصرفی کمک منعقدکننده، اکسید منیزیم به‌عنوان کمک منعقدکننده در pH های مختلف وارد راکتور واکنش گردیده و تأثیر نانوذرات منیزیم اکسید سنجیده شده‌است.

## بحث

در مطالعه‌ی حاضر، فرایند الکتروکواگولاسیون به‌همراه کمک منعقدکننده‌ی نانو ذرات اکسید منیزیم به‌عنوان یک تکنولوژی تصفیه در حذف سیانید از محیط‌های آبی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌است. تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل pH اولیه، ولتاژ جریان، غلظت اولیه سیانید ورودی به راکتور واکنش و مقادیر مورد استفاده کمک منعقدکننده منیزیم اکسید در فرایند الکتروکواگولاسیون مورد بررسی قرار گرفته که در ذیل به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

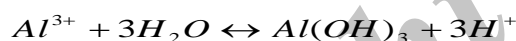
۱- تعیین تأثیر pH محیط بر راندمان حذف سیانید در فرایند الکتروکواگولاسیون: pH محیط در فرایندهای مختلف به‌ویژه فرایندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی تأثیرگذاری مهمی بر روند اجرای فرایندها دارد. به‌گونه‌ای که در بسیاری از مطالعات به تأثیر قابل توجه pH محیط در فرایند الکتروکواگولاسیون اشاره شده‌است (۱۹ و ۲۰). بدین منظور در این مطالعه، اثر pH در دامنه (۳-۹) در فرایند الکتروکواگولاسیون با الکتروده آلومینیوم در دو حالت حضور و عدم حضور کمک منعقدکننده در فرایند مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن به‌ترتیب در

نمودار ۱ و ۲ نشان داده شده‌است. در این مرحله از آزمایش، غلظت اولیه‌ی سیانید ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، جریان ورودی ۲۰ ولت (ورودی آمپر ۰.۵ آمپر) و در حالت استفاده از کمک منعقدکننده، مقدار ۰/۲۵ گرم در لیتر کمک منعقد کننده در نظر گرفته شده‌است. نتایج این مرحله از انجام آزمایش‌ها، حاکی از آن‌است که حداکثر راندمان حذف سیانید در pH محیط برابر با ۵ به‌دست آمده‌است. به‌گونه‌ای که پس از گذشت ۴۵ دقیقه از زمان واکنش راندمان حذف سیانید به ۸۰ درصد رسید و در این مقدار ثابت مانده و در نتیجه pH برابر ۵ به‌عنوان pH بهینه در نظر گرفته شده و در ادامه‌ی آزمایش‌ها از این pH استفاده گردیده‌است. همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده با تغییر مقدار pH محیط از حد بهینه (pH=5) میزان حذف سیانید کاهش یافته و به ۶۳ و ۶۸ درصد حذف به ترتیب در pH های ۳ و ۹ رسیده‌است. در فرایند الکتروکواگولاسیون، تمامی هیدروکسیدهای فلزی تولیدی در طی فرایند مانند  $Al(OH)_3$  در محدوده‌ی pH ۵-۸/۵ به‌صورت غیر قابل حل در محیط‌های آبی هستند (۲۲). بنابراین انتظار می‌رود که بالاترین راندمان حذف آلاینده در فرایند الکتروکواگولاسیون در این محدوده pH رخ دهد که نتایج مطالعه‌ی حاضر نیز بیانگر این موضوع می‌باشد. بر اساس مطالعه‌ی موسوی و همکاران، افزایش pH در محدوده ۳-۸ سبب افزایش کارایی حذف رنگ از محیط آبی شده، اما افزایش یا کاهش pH از محدوده‌ی بهینه‌ی تعیین شده، سبب کاهش کارایی فرایند گردیده‌است (۲). لذا مطالعه‌ی حاضر، با نتایج مطالعات موسوی و همکاران در خصوص حذف رنگ از محیط‌های آبی در فرایند الکتروکواگولاسیون مطابقت دارد.

در گام بعد در شرایط مشابه مرحله‌ی قبل، فرایند الکتروکواگولاسیون در حضور کمک منعقدکننده‌ی منیزیم اکسید صورت گرفته‌است. بدین ترتیب، راندمان حذف سیانید در ولتاژ ثابت و با دوز ۰/۲۵ میلی‌گرم در لیتر اکسید منیزیم در pH های مختلف طی فرایند مورد

غلظت اولیه‌ی سیانید حاصل شده و از طرفی، پایین‌ترین راندمان در شرایطی انجام گردیده که مقدار ولتاژ تنظیم شده در فرایند معادل ۱۰ ولت با ۷۲ درصد کاهش در غلظت اولیه‌ی سیانید مشاهده شده است. بنابراین با افزایش ولتاژ جریان اعمال شده در فرایند الکتروکواگولاسیون، راندمان حذف ماده‌ی سیانید نیز افزایش یافته که دلیل افزایش راندمان را می‌توان تحت تأثیر واکنش‌هایی که ضمن انجام فرایند در کاتد و آنود به وقوع پیوسته، تفسیر نمود. بدین صورت، در حالت احیای آب یون‌های هیدروکسید تولید شده در کاتد در واکنش با یون‌های آلومینیوم تولیدی در آنود، مطابق واکنش شماره ۱، تولید سوسپانسیون هیدروکسید آلومینیوم نموده که می‌تواند از طریق مکانیسم‌های جذب سطحی یا ضمن ته‌نشینی لخته‌ها، ماده‌ی سیانید توسط مکانیسم فیزیکی جاروب کردن حذف شود. همچنین سطح لخته‌های هیدروکسید آلومینیوم با جذب ترکیبات محلول و کلوییدی، سبب به دام انداختن این ترکیبات و حذف آن‌ها از محیط‌های آبی به طریق رسوب‌دهی می‌گردد.

واکنش شماره ۱:



نتایج مطالعه‌ی حاضر بیانگر آن است که با افزایش ولتاژ جریان، سرعت واکنش و به تبع آن میزان حذف سیانید افزایش می‌یابد که نتایج مطالعات راندا کومار و همکارانش در خصوص حذف آرسنیک و همچنین دیگر مطالعات مشابه را به منظور حذف آلایندگی‌های اسید هیومیک، سیانید، سختی و غیره تأیید نموده است (۲۳).

۳- تعیین تأثیر غلظت اولیه‌ی سیانید بر راندمان حذف سیانید در فرایند الکتروکواگولاسیون: از دیگر پارامتر تأثیرگذار در فرایند الکتروکواگولاسیون، غلظت اولیه‌ی آلایندگی ورودی به راکتور است. لذا در مطالعه‌ی حاضر در ادامه‌ی آزمایش‌های الکتروکواگولاسیون در دو مرحله‌ی حضور و عدم حضور ماده‌ی کمک منعقدکننده اکسید منیزیم، در ولتاژ ثابت ۲۰ ولت و pH برابر ۵، تعیین تأثیر

بررسی قرار گرفته است. همانطور که از نمودار ۲ برمی‌آید، حداکثر راندمان حذف سیانید در طی واکنش در pH برابر ۵ مشاهده شده و با تغییر pH از مقدار بهینه مشخص شده (pH=5) درصد حذف آلایندگی سیانید کاهش یافته است. بدین صورت که پس از گذشت ۴۵ دقیقه از زمان واکنش، میزان حذف سیانید به ۸۶ درصد رسیده که این افزایش راندمان حذف سیانید، بیانگر این موضوع است که ماده‌ی اکسید منیزیم به عنوان ماده‌ی کمک منعقدکننده در فرایند الکتروکواگولاسیون با الکتروکواگولاسیون مؤثر بوده و سبب افزایش راندمان حذف سیانید شده است. این موضوع را می‌توان در ارتباط با ویژگی‌های ساختاری اکسید منیزیم بدین صورت تفسیر نمود که در سطح ویژه بسیار بالا، اندازه‌ی ذرات در مقیاس نانو و خاصیت کاتالستی و همچنین جذب بخشی از سیانید بر سطح منیزیم اکسید باعث افزایش راندمان فرایند الکتروکواگولاسیون شده است (۱۹).

۲- تعیین تأثیر ولتاژ جریان بر راندمان حذف سیانید در فرایند الکتروکواگولاسیون: از دیگر پارامترهای مؤثر در فرایند الکتروکواگولاسیون تغییرات ولتاژ جریان و امپراژ است (۱۲ و ۱۳). این فاکتور از طریق تأثیر بر واکنش‌های سطح الکتروکواگولاسیون و میزان یون‌هایی که از سطح الکتروکواگولاسیون می‌شود بر سرعت واکنش‌های الکتروکواگولاسیون تأثیرگذار است (۱۳). بنابراین، تعیین ولتاژ بهینه در فرایند الکتروکواگولاسیون امری ضروری است. لذا در این پژوهش، پس از تعیین pH بهینه، کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در ولتاژ جریان ۱۰-۳۰ ولت (۲۵/۰، ۵۰/۰ و ۷۵/۰ آمپر) مورد بررسی قرار گرفته و نتایج این مرحله از آزمایش‌ها در نمودار ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، در غلظت ورودی ثابت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از سیانید و pH بهینه ۵ (زمان واکنش ۴۵ دقیقه)، با افزایش ولتاژ اعمال شده راندمان حذف سیانید به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است به طوری که بالاترین راندمان در ولتاژ ۳۰ ولت با ۸۷ درصد کاهش در

افزایش غلظت اولیهی سیانید، کارایی فرایند در حذف این آلاینده کاهش می‌یابد که با نتایج مطالعه‌ی حاضر، مطابقت دارد (۲۴).

۴- تعیین تأثیر کمک منعقدکننده منیزیم اکسید بر راندمان حذف در فرایند الکتروکواگولاسیون: غلظت ماده-ی کمک منعقدکننده در فرایند الکتروکواگولاسیون، یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر کارایی فرایند، جهت حذف آلاینده از محیط‌های آبی است. در این مطالعه، بررسی تأثیر نانوذرات اکسید منیزیم در کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون برای حذف سیانید از محیط‌های آبی غلظت‌های مختلف از کمک منعقدکننده در فرایند مورد بررسی قرار گرفته‌است. نتایج این مرحله از انجام آزمایش‌ها در نمودار ۶ نشان داده‌شده و همانطور که ملاحظه می‌شود در غلظت اولیه ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سیانید، pH برابر ۵ و ولتاژ ثابت ۲۰ ولت (زمان واکنش ۴۵ دقیقه) مقادیر ۹۰، ۷۴، ۷۴ و ۸۷ درصد حذف سیانید به ترتیب در غلظت‌های ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ میلی گرم بر لیتر از ماده‌ی اکسید منیزیم حاصل شده‌است. اما مطابق با نمودار در غلظت ۰/۱ میلی گرم بر لیتر از ماده‌ی اکسید منیزیم در طی زمان‌های واکنش ۱۵ تا ۴۵ دقیقه راندمان حذف از ۷۲ درصد به ۹۰ درصد رسیده‌است که افزایش قابل ملاحظه-ای در کارایی فرایند با افزایش زمان ماند واکنش نشان می‌دهد ضمن آن‌که در سایر غلظت‌های ذکر شده از اکسید منیزیم نیز، با افزایش زمان ماند واکنش، راندمان فرایند افزایش یافته‌است. علت افزایش کارایی فرایند را می‌توان بدین صورت تفسیر نمود که سطح ویژه‌ی بسیار بالا، اندازه ذرات در مقیاس نانو و خاصیت کاتالستی و همچنین جذب بخشی از سیانید بر سطح منیزیم اکسید باعث افزایش راندمان فرایند الکتروکواگولاسیون شده-است. از سوی دیگر، با افزایش زمان ماند واکنش فرصت کافی جهت جذب آلاینده بر روی سطح نانو ذرات اکسید منیزیم فراهم می‌شود و در نتیجه سبب حذف بیشتر سیانید از محیط آبی می‌گردد (۱۹). همانطور که مشخص-

غلظت اولیه‌ی سیانید بر روی نمونه‌های سنتتیک با غلظت‌های اولیه‌ی مختلف سیانید (۵۰-۵۰۰) انجام پذیرفته‌است. نتایج حاصل از این مرحله از آزمایش‌ها، در نمودار ۴ نمایش داده‌شده و همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت اولیه آلاینده سیانید در فرایند راندمان حذف این ماده کاهش یافته‌است به طوری که بالاترین راندمان حذف سیانید در غلظت اولیه‌ی آلاینده ۵۰ میلی-گرم بر لیتر معادل ۹۳ درصد پایین‌ترین راندمان حذف سیانید در غلظت اولیه ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر از این آلاینده برابر با ۵۶ درصد مشاهده شده‌است.

اکسیدسیون الکترودهای آلومینیوم، باعث آزاد شدن یون‌های سه ظرفیتی آلومینیوم ( $Al^{3+}$ ) شده و در اثر هیدرولیز یون‌های آلومینیوم باعث تولید هیدروکسیدهای  $(Al(H_2O)_6)^{3+}$ ،  $(Al(OH)(H_2O)_5)^{2+}$ ،  $(Al(OH)_2)^{+}$ ،  $(Al(OH)_3)$ ،  $(Al(OH)_4)^{-}$  و  $(Al(OH)_5)^{2-}$  و حتی پلیمرهای هیدروکسلی مانند  $(Al_{13}(OH)_{32})^{7+}$  می‌شود. تمامی هیدروکسید و پلیمرهای هیدروکسلی تولیدی توانایی بالایی در حذف آلاینده‌های یونی مانند سیانید دارند و آن را به لخته تبدیل می‌کنند (۲۴). در غلظت‌های پایین سیانید هیدروکسیدهای تولیدی، به راحتی قادرند درصد بالایی از آلاینده‌ی موجود در محفظه‌ی واکنش را به لخته تبدیل کنند و در نهایت، با ته‌نشینی از محیط‌های آبی جدا می‌شوند. با افزایش میزان غلظت آلاینده در محیط، از آنجایی که سایر پارامترها مانند ولتاژ جریان که عامل اصلی تولیدکننده‌ی هیدروکسیدهای فلزی در فرایند الکتروکواگولاسیون می‌باشد، ثابت هستند بنابراین بدیهی است که ظرفیت حذف سیانید با افزایش غلظت آلاینده ورودی کاهش یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با حضور کمک منعقدکننده در هر غلظت از آلاینده راندمان نسبت به حالتی که از کمک منعقدکننده استفاده نشده، افزایش یافته‌است. در مطالعه‌ی ایمران علی که در خصوص حذف آرسنیک با استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون با الکتروده آهن و آلومینیوم صورت گرفته، مشاهده شده که با



استفاده شده است. فرایند به pH وابسته بوده و pH برابر ۵، ولتاژ ۳۰ ولت و غلظت اولیه آلاینده سیانید معادل ۵۰ میلی گرم بر لیتر در فرایند به عنوان شرایط بهینه آزمایش‌ها و همچنین در غلظت ۰/۱ میلی گرم بر لیتر از ماده اکسید منیزیم در فرایند در طی زمان واکنش ۴۵ دقیقه راندمان ۹۰ درصد حذف سیانید حاصل شده است. در نتیجه، نانو ذرات اکسید منیزیم به عنوان کمک منعقدکننده مناسب در فرایند الکتروکواگولاسیون به همراه الکتروکود آلومینیوم عمل نموده و سبب افزایش کارایی فرایند و متعاقباً باعث افزایش حذف آلاینده سیانید از محیط‌های آبی شده است. اما واضح است که برای مقیاس بزرگ‌تر و بهینه‌سازی متغیرهای فرایند نیاز به مطالعات بیشتری خواهد بود.

### تشکر و قدردانی

پژوهش اخیر با استفاده از منابع مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی همدان به انجام رسیده است که نویسندگان مقاله از همکاری آن معاونت کمال تشکر را دارند.

است میزان بهینه‌ی نانوذرات منیزیم اکسید ۰/۱ گرم در لیتر است که می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که حداکثر ظرفیت و کارایی این ماده در این دوز است و با افزایش میزان غلظت منیزیم اکسید باعث واجذب و برگشت سیانید به محلول می‌گردد. غلظت ۱ گرم در لیتر هم دارای راندمان به نسبت بالایی است، ولی در مقیاس وسیع مقرون به صرفه نیست و بر حسب واحد حجم باید میزان زیادی به محیط اضافه گردد.

در مطالعه حاضر، نانو ذرات اکسید منیزیم که به عنوان یک ماده کمک منعقدکننده مؤثر و کم‌هزینه می‌باشد برای حذف سیانید از محلول‌های آبی در فرایند الکتروکواگولاسیون با الکتروکود آلومینیوم مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه، به دلیل عدم کنترل دمای محیط واکنش سعی بر این بوده که آزمایش‌ها در دمای محیط انجام گیرد و برای نیل به این منظور، از روزهایی از سال که دما مشابه و در دامنه‌ی ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده، بهره‌برده است. جهت جلوگیری از بروز خطای ناشی از کلرور، از آب دی یونایز استفاده گردیده است. جهت تولید هدایت الکتریکی از الکترولیت سدیم سولفات

### References

1. Fu F, Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*. 2011;92(3):407-18.
2. Moussavi G, Majidi F, Farzadkia M. The influence of operational parameters on elimination of cyanide from wastewater using the electrocoagulation process. *Desalination*. 2011;280(1):127-33.
3. Parga JR, Vázquez V, Casillas HM, Valenzuela JL. Cyanide detoxification of mining wastewaters with TiO<sub>2</sub> nanoparticles and its recovery by electrocoagulation. *Chemical engineering & technology*. 2009;32(12):1901-8.
4. Dash RR, Gaur A, Balomajumder C. Cyanide in industrial wastewaters and its removal: A review on biotreatment. *Journal of hazardous materials*. 2009;163(1):1-11.
5. Liu Y, Ai K, Cheng X, Huo L, Lu L. Gold-Nanocluster-Based Fluorescent Sensors for Highly Sensitive and Selective Detection of Cyanide in Water. *Advanced Functional Materials*. 2010;20(6):951-6.
6. Sobsey M, Bartram S, editors. *Water quality and health in the new millennium: the role of the World Health Organization Guidelines for Drinking-Water Quality*. Forum of nutrition; 2003. 50(2):31-38.
7. Männel-Croisé C, Zelder F. Side chains of cobalt corrinoids control the sensitivity and selectivity in the colorimetric detection of cyanide. *Inorganic chemistry*. 2009;48(4):1272-4.
8. Gaballah I, Kilbertus G. Recovery of heavy metal ions through decontamination of synthetic solutions and industrial effluents using modified barks. *Journal of Geochemical Exploration*. 1998;62(1):241-86.
9. Hijosa-Valsero M, Molina R, Schikora H, Müller M, Bayona JM. Removal of cyanide from water by means of plasma discharge technology. *Water research*. 2013;47(4):1701-7.
10. Han B, Shen Z, Wickramasinghe SR. Cyanide removal from industrial wastewaters using gas membranes. *Journal of membrane science*. 2005;257(1):171-81.
11. Gupta N, Balomajumder C, Agarwal VK. Adsorption of cyanide ion on pressmud surface: A modeling

- approach. *Chemical Engineering Journal*. 2012;191:548-56.
12. Dash RR, Dash RR, Balomajumdar C. Treatment of cyanide bearing effluents by adsorption, biodegradation and combined processes: effect of process parameters. *Desalination and Water Treatment*. 2013(ahead-of-print):1-12.
  13. Can O, Kobya M, Demirbas E, Bayramoglu M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. *Chemosphere*. 2006;62(2):181-7.
  14. Lin SH, Peng CF. Continuous treatment of textile wastewater by combined coagulation, electrochemical oxidation and activated sludge. *Water Research*. 1996;30(3):587-92.
  15. Phalakornkule C, Polgumhang S, Tongdaung W, Karakat B, Nuyut T. Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent. *Journal of environmental management*. 2010;91(4):918-26.
  16. Drogui P, Blais J-F, Mercier G. Review of electrochemical technologies for environmental applications. *Recent patents on engineering*. 2007;1(3):257-72.
  17. Asgari G, Seid-Mohammadi A, Allah Roshanaie G, Sharifi Z, Mehralipur J, Shabanlo A, et al. Electrocoagulation (EC) and Electrocoagulation/Flotation (ECF) Processes for Removing High Turbidity from Surface Water Using Al and Fe Electrodes. *Water and Wastewater*. 2013; 24(2 (86)):62-69.[in persian]
  18. Moussavi G, Mahmoudi M. Removal of azo and anthraquinone reactive dyes from industrial wastewaters using MgO nanoparticles. *Journal of hazardous materials*. 2009;168(2):806-12.
  19. Hu J, Song Z, Chen L, Yang H, Li J, Richards R. Adsorption properties of MgO (111) nanoplates for the dye pollutants from wastewater. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 2010;55(9):3742-8.
  20. Association APH, Federation WPC, Federation WE. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association.; 1915.
  21. Daneshvar N, Khataee A, Amani Ghadim A, Rasoulifard M. Decolorization of CI Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Journal of hazardous Materials*. 2007;148(3):566-72.
  22. Ratna Kumar P, Chaudhari S, Khilar KC, Mahajan S. Removal of arsenic from water by electrocoagulation. *Chemosphere*. 2004;55(9):1245-52.
  23. Gomes JA, Daida P, Kesmez M, Weir M, Moreno H, Parga JR, et al. Arsenic removal by electrocoagulation using combined Al-Fe electrode system and characterization of products. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;139(2):220-31.

Archive (SID)

# Performance of Electrocoagulation process in cyanid removal from synthetic wastewater by Al electrode and using MgO as a coagulant aid

**Mohammadreza Samarghandi**

Department of Environmental Health Engineering and Research Center for Health Science, Faculty of Health, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, I.R.IRAN

**Amir shabanloo**

M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Science, Hamedan, I.R.IRAN

**Yusef Poureshgh**

Ph.D Student of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Science, Hamedan, I.R.IRAN

**Jamal mehralipour**

M.Sc. Student of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Science, Hamedan, I.R.IRAN., Research Committee(SRC)

Received:27/01/2014, Revised:09/02/2014, Accepted:23/02/2014

## Corresponding Author:

Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran  
E-mail:  
Jamalmehralipour@yahoo.com

## Abstract

**Background and objectives:** Cyanide ion is one of the most dangerous compounds for the man. Electrocoagulation process with high efficiency to removing pollutants, than researchers considered a effective process. The aim of this study was to determine the efficiency of electrocoagulation process by aluminum electrodes in cyanide removal from synthetic wastewater using magnesium oxide as a coagulant aid.

**Methods:** In this study, a reactor with four aluminum electrodes with dimensions 200 × 20 × 2 mm use of 1 Liter of useful volume of electricity generating device for the removal of cyanide was used. Effect of parameters such as pH(3-9), voltage (10-30 V), the initial concentration of cyanide(50-500 ppm) and different concentrations of magnesium oxide particles (0.1 to 1 mg/l) as coagulant aid in the process were investigated.

**Results:** The results show that the efficiency of EC process at pH 5, voltage of 30 V and an initial concentration of cyanide, 50 mg/lit in 45 minutes, was 80 percent. process will Efficiency by adding coagulant aid. In optimal amounts of coagulant aid (0.1 mg/lit) in electrocoagulation process on the removal of the cyanide 90% was achieved.

**Conclusion:** Electrocoagulation process is suitable process for the removal of cyanide. Also, Magnesium Oxide as a coagulant aid in this process was good and increase process efficiency.

**Keywords:** *Electrocoagulation process, Cyanide, Coagulant aid, Magnesium oxide, Synthetic wastewater*