مقاله
پژوهشی

حذف سولفات از فاضلاب سنتتیک با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون: ارزیابی اثر پارامترهای موثر و هزینه ها

هوشیار حسینی[1]، عباس رضائی[2*]، محمد شیرمردی[3]، ابوالفضل نعیم آبادی[4]

[1]دانشجوی دوره دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[2]دانشیار، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[3]دانشجوی دوره دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز ، اهواز، ایران
[4]مربی، دانشجوی دوره دکتری، گروه مهندسی بهداشت محیط و عضو هیئت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، بجنورد، ایران
[*]نویسنده مسئول: دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
پست الکترونیک: rezaee@modares.ac.ir

چکیده

زمینه و اهداف: *سولفات به عنوان یک آلاینده شیمیائی مطرح در آب، در غلظت‌های زیاد می تواند اثرات بهداشتی نامطلوبی نظیر اسهال، بو و مزه را ایجاد نماید. در فاضلاب‌های صنعتی، سولفات می تواند اثر مداخله گری نامطلوبی را در فرآیندهای تصفیه‌ای نظیر سیستم‌های بی هوازی داشته باشد. همچنین سولفات عامل اصلی خوردگی لوله‌ها و تأسیسات آب و فاضلاب است. در این تحقیق، فرآیند الکتروکواگولاسیون به عنوان یک فرآیند دوست دار محیط زیست و با کارائی بالا جهت حذف سولفات از محیط‌های آبی استفاده شده است.*

مواد و روش کار: *در این مطالعه تجربی، از فرآیند الکتروکواگولاسیون جهت حذف سولفات از فاضلاب سنتتیک استفاده گردید. تأثیر متغیرهای مختلفی مانند زمان تماس، اثر pH محلول، غلظت اولیه سولفات، دانسیته جریان و ارزیابی اقتصادی با توجه به هزینه انرژی در ایران و کشورهای اتحادیه اروپا مورد ارزیابی قرار گرفت. از روش توربیدیمتری و نمونه برداری ترکیبی جهت تعیین میزان سولفات استفاده گردید.*

یافته‌ها: *نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش زمان تماس، pH اولیه محیط ، دانسیته جریان اعمالی و راندمان سیستم افزایش می‌یابد. اما در مقادیر زیاد غلظت یون‌های سولفات در فاز آبی، کاهش راندمان فرآیند الکتروکواگولاسیون مشاهده می گردید.*

نتیجه گیری: *نتایج نشان داد که فرآیند الکتروکواگولاسیون می‌تواند با کارائی بالا جهت حذف سولفات از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد.*

واژه‌های کلیدی: *الکتروکواگولاسیون، سولفات، حذف، انرژی مصرفی، هزینه ها*

مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی سال ۹۳؛ دوره ۶ (۴): ۷۹۶-۷۸۷
Journal of North Khorasan University 2014;6(4):787-796

وصول: ۹۳/۱/۲۶
اصلاح: ۹۳/۴/۱۴
پذیرش: ۹۳/۸/۵

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

مقدمه

سولفات به عنوان یک آلاینده شیمیائی در آب می تواند اثرات بهداشتی نامطلوبی را ایجاد نماید. اثرات سوء این آلاینده بر گروه‌های حساس نظیر کودکان و نوزادان کاملا" اثبات شده است. با کاهش منابع آب در دسترس در دنیا، رشد جمعیت، مسائل اکولوژیکی و اقلیمی، تصفیه عوامل آلاینده و استفاده بهینه از منابع آب ضرورت بیشتری پیدا نموده است. در این راستا، مطالعه و استفاده از روش‌های نوین اهمیت ویژه ای یافته است. همچنین حضور مقادیر نسبتاً بالای سولفات می تواند سبب بروز اثرات نامطلوبی در فرآیندهای تصفیه‌ای به عنوان مداخله گر شود [۱]. متعاقب حضور عوامل سولفوره در فرآیندهای بی هوازی نظیر سیستمهای UASB، کاهش شدید راندمان تبدیل مواد آلی رخ می دهد. خوردگی لوله‌ها، اتصالات و تأسیسات آب و فاضلاب از دیگر مشکلات مطرح حضور سولفات در منابع طبیعی می باشند. فاضلاب صنایعی نظیر چوب و کاغذ، روغن‌های خوراکی، پتروشیمی و تولید حلال حاوی مقادیر بالای سولفات هستند [۱]. در ایران، پساب صنایع تولید کشمش به دلیل استفاده سولفات در فرآیند فرآوری واجد مقادیر زیادی از سولفات می باشند. سولفات در محیط‌های آبی طی فرآیند هیدرولیز تبدیل به اسید سولفوریک می‌شود که عاملی بسیار خورنده و سمی برای محیط آبزی می باشد. [۲]. از طرفی دیگر تولید محصولات جانبی خطرناک‌تری نظیر H_2S، در مسیر متابولیزه سولفات می تواند رخ دهد. از این رو پیش تصفیه یا تصفیه کامل این پساب‌ها امری ضروری است. فرآینده های غشائی، شیمیائی و بیولوژیکی نظیر اسمز معکوس، الکترودیالیز، استفاده از آهک و نمک های باریوم و استفاده از فرآینده های احیاء بیولوژیکی توسط باکتریهای احیاء کننده سولفات جهت تصفیه سولفات از آب و فاضلاب پیشنهاد و استفاده می گردند. روش های غشائی دارای کارائی مناسب بوده اما هزینه های نگهداری و بهره برداری بالائی را دارند. از مهمترین مشکلات روشهای غشائی، گرفتگی و هزینه های الکتریکال مصرفی جهت پمپاژ است. روش های شیمیائی علاوه بر افزودن مواد ناخواسته، مشکلاتی نظیر هزینه های تهیه مواد شیمیائی را دارند. در روش های بیولوژیکی، متصاعد شدن گاز سمی سولفید هیدروژن در نتیجه فرآیند احیاء بیولوژیک، از جمله نگرانی های مطرح در این بخش می باشد [۴،۳]. به علت حضور ترکیبات سمی و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی در پساب‌های صنعتی، امروزه روشهای الکتروشیمیایی به عنوان یک گزینه مناسب و کاربردی جهت تصفیه این نوع فاضلاب‌ها مورد توجه قرار گرفته است. در بهره برداری از این فرآیند نیاز به هزینه های پیش تصفیه ائی (هزینه های تصفیه فیزیکوشیمیایی و فیزیکی) مطرح نمی باشد. لخته‌های تشکیل شده در این فرآیند می توانند بعنوان عوامل منعقد کننده، شبیه به روش انعقاد شیمیایی عمل نمایند با این تفاوت که اندازه لخته‌ها بزرگ‌تر و ته نشینی آسانتری دارند. لجن تولید شده توسط این فرآیند ۲ الی ۳ برابر کمتر از روش انعقاد شیمیایی است [۹-۵]. واکنش اکسیداسیون-احیاء انجام گرفته در فرآیند الکتروشیمیایی به طور کلی به شرح زیل است: (M و n به ترتیب آند (جنس فلز) و ظرفیت فلز را نشان می‌دهند) [۱۰،۱۱].

$$M\,(\text{insoluble}) \leftrightarrow M^{+n}\,(\text{soluble}) + n\bar{e} \quad (۱)$$

$$4OH^- \leftrightarrow 2H_2O + O_2 + 4\bar{e} \quad (۲)$$

$$M'^{n+}\,(\text{soluble}) + n\bar{e} \leftrightarrow M'\,(\text{Insoluble}) \quad (۳)$$

$$2H^+ \leftrightarrow 2\bar{e} + H_2 \quad (۴)$$

هیدرولیز یون‌های فلزی چند ظرفیتی، جذب گونه‌های هیدرولیز شده در سطح محلول-جامد برای ناپایدارسازی ذرات کلوئید (کاهش زتا پتانسیل)، تجمع ذرات ناپایدار شده به وسیله اتصال بین ذره ای، تجمع ذرات ناپایدار به وسیله انتقال ذره و نیروی واندروالسی و رسوب هیدروکسیدهای فلزی از جمله مکانیسم‌های غالب و مطرح در فرآیند الکتروکواگولاسیون می‌باشند [۱۲]. هدف از این مطالعه ارزیابی حذف سولفات از فاضلاب سنتتیک با استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون و الکترودهای آهن می باشد. در این راستا اثر پارامترهای موثر بر فرآیند تصفیه و ارزیابی هزینه های تصفیه و مصرف انرژی مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

روش کار

در این تحقیق، حذف سولفات به وسیله فرآیند الکتروکواکولاسیون به صورت یک مطالعه تجربی و در شرایط آزمایشگاهی صورت گرفت.

محلول ذخیره سولفات (۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر)، با حل کردن مقدار معینی از سولفات سدیم در آب مقطر تهیه شد. محلولهای کاری با غلظت‌های مورد نظر، بارقیق سازی محلول کاری تهیه می گردید. جهت تنظیم pH محلولهای مورد آزمایش، محلول یک مولار HCl و NaOH استفاده گردید. کلیه مواد مورد استفاده در این تحقیق دارای خلوص آزمایشگاهی بودند.

برای انجام آزمایشات انعقاد الکتریکی، از یک بشر ۵۰۰ میلی لیتری به عنوان رآکتور ناپیوسته استفاده گردید. به منظور تأمین جریان الکتریسیته مورد نظر از منبع تغذیه (TEK-8051)استفاده شد. در این سیستم از ۲ الکترود آهن با ابعاد ۰/۲× ۵ ×۱۰ سانتی متر استفاده گردید. ناخالصی سطح الکترودها قبل از استفاده در رآکتور به وسیله سنباده تمیز و سپس با اسید سولفوریک ۶ نرمال و آب مقطر شستشو داده شد. جهت ایجاد شرایط یکنواخت در رآکتور از دستگاه مگنت استریر مدل (Alfa, HS-860) استفاده شد. در انجام تمام آزمایشات به منظور ایجاد جریان مناسب در الکترولیت، از NaCl ۰/۰۱ درصد استفاده شد. جهت سنجش پتانسیل اکسیداسیون احیاء و pH پساب از ORP متر و pH متر (Eutech) استفاده گردید. وزن خشک لجن فرآیندی به وسیله ترازو و بعد از فیلتراسیون و خشک شدن در گرمخانه تعیین مقدار شد.

جهت انجام آزمایشات مختلف، نمونه‌های ترکیبی به از راکتور اخذ و سنجش مورد نظر انجام می شد. در هر بار نمونه برداری ۱۰ میلی لیتر از سه نقطه ناحیه آندی، کاتدی و بین الکترودهای گرفته شده و قبل از آنالیز، نمونه های اخذ شده با یک دیگر ترکیب می شدند. به منظور فراهم سازی نمونه یکنواخت از همزن مغناطیسی استفاده می شد. جهت اخذ صحت لازم، آزمایشات سه بار تکرار می گردیدند و بر مبنای روشهای مرسوم آماری با ارزیابی میانگین و انحراف معیار لزوم افزایش تکرار مجدد تعیین می شد. در آزمایشات صورت گرفته بدلیل اختلاف ناچیز انحراف معیارهای محاسبه شده، بررسیهای آماری سه بار تکرار آزمایشات را تائید می نمود. جهت سنجش میزان حذف سولفات از پساب، روش توربیدیمتری با استفاده از محلول بافر سولفات و کلرید باریم استفاده گردید. در این روش ۱۰ میلی لیتر نمونه را در داخل ارلن ۲۵ میلی لیتری ریخته و سپس ۲ میلی لیتر بافر سولفات را به آن اضافه گردید. سپس نمونه ها با استفاده از مگنت مخلوط می‌شدند. در هنگام مخلوط کردن میزان ۰/۱ میلی گرم کلرید باریم به نمونه اضافه شده و به مدت یک دقیقه در سرعت ثابت هم زده شد. بعد از زمان حدود ۵ دقیقه، جذب نوری نمونه در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Rayleigh UV 9200, China) مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۳].

جهت تعیین درصد حذف سولفات، میزان انحلال آند و دانسیته جریان به ترتیب از روابط (۵)، (۶) و (۷) استفاده گردید. در این روابط C_1و C_2 غلظت‌های اولیه و نهایی (mg/L)، W_A وزن آند حل شده (g)، I شدت جریان، t زمان بهره برداری (s)، m جرم مولکولی ویژه آهن (g/mol)، n تعداد الکترون‌های آزاده شده از آهن و F ضریب فارادی (۹۶۴۸۵ As/mol)، J دانسیته جریان (mA/cm^2) و A سطح فعال الکترودها (cm^2) می‌باشد [۱۴].

$$\%Removal = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100 \quad (۵)$$

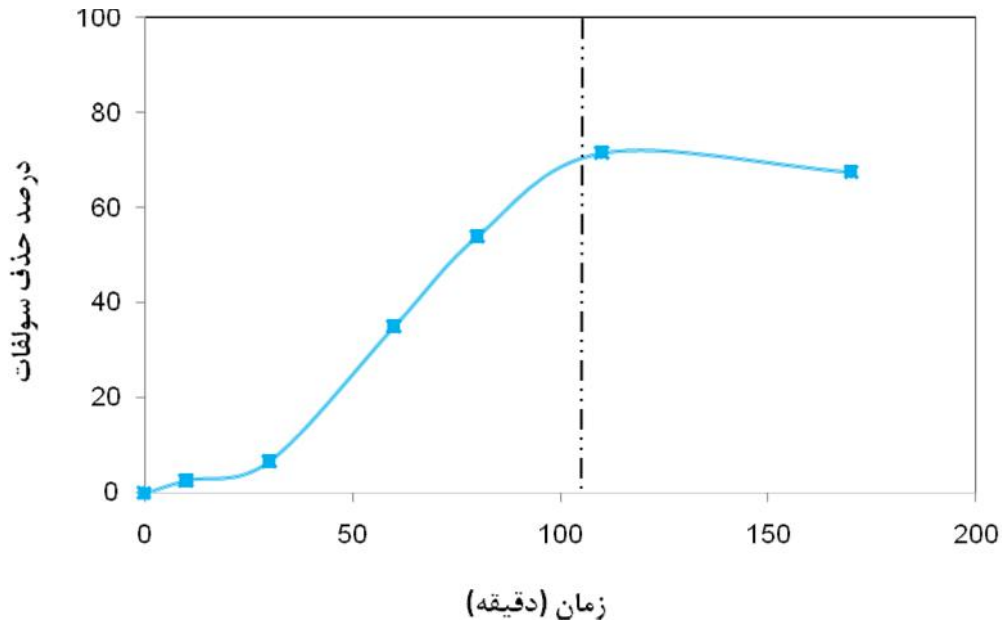
$$W_A = I \cdot t \cdot m / n \cdot F \quad (۶)$$

$$J = I / A \quad (۷)$$

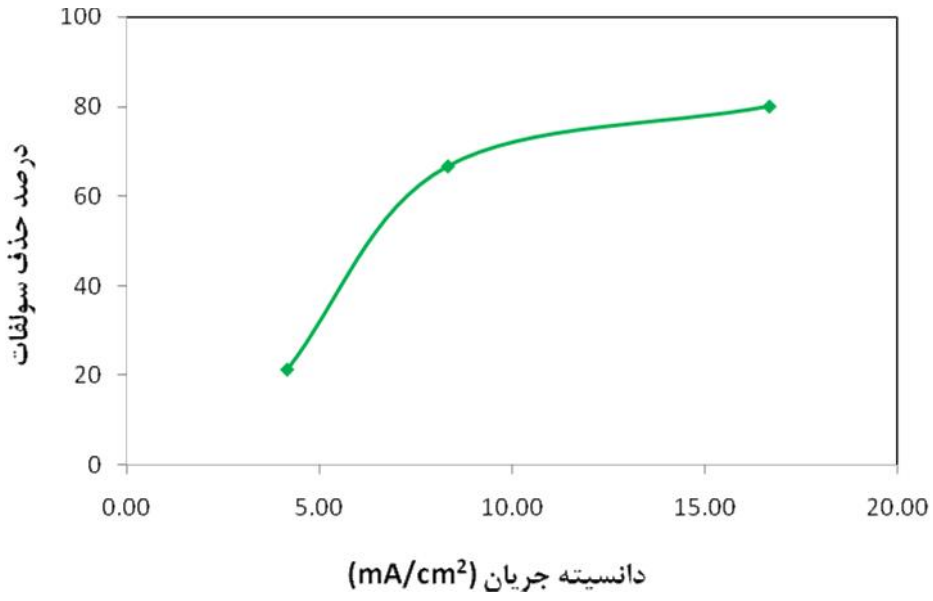
یافته‌ها

تأثیر زمان بهره برداری فرآیند الکتروکواگولاسیون بر حذف سولفات از محیط آبی در جریان اعمالی $۱۰mA/cm^2$، سولفات ۱۰۰ mg/l و pH ۷/۲ ، در شکل ۱ ارائه شده است. میزان حذف سولفات در زمان‌های اولیه کم بوده و بعد از زمان ۳۰ دقیقه روندی صعودی پیدا می نمود. حداکثر میزان حذف در محدوده زمانی صفر تا ۱۷۰ دقیقه، در ۱۱۰ دقیقه حاصل گردید. حداکثر راندمان اخذ شده در این نقطه ۷۱/۶٪ تعیین گردید. از این رو زمان ۱۱۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه جهت انجام آزمایشات بعدی تعیین گردید.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

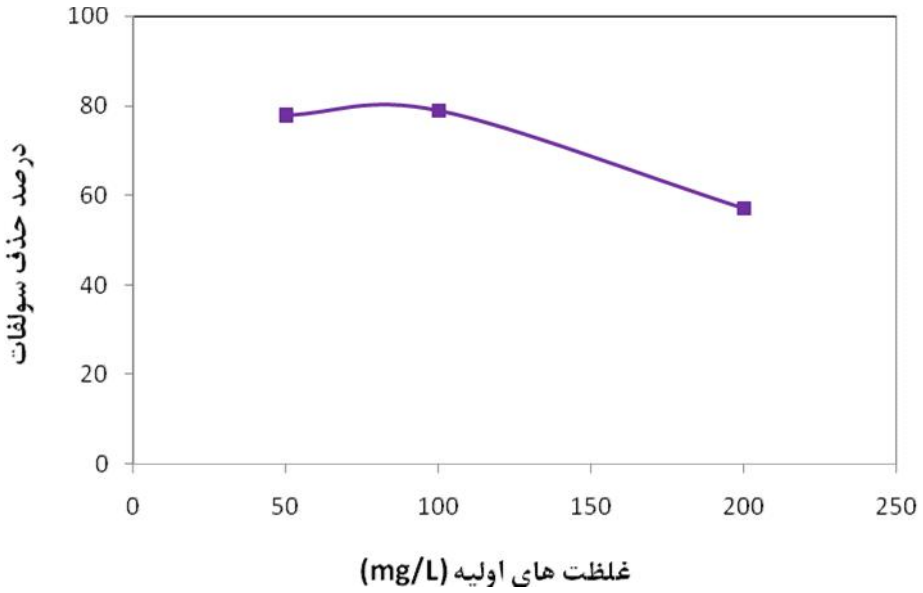


شکل ۱: تأثیر زمان بهره برداری بر میزان حذف سولفات از فاز مائی

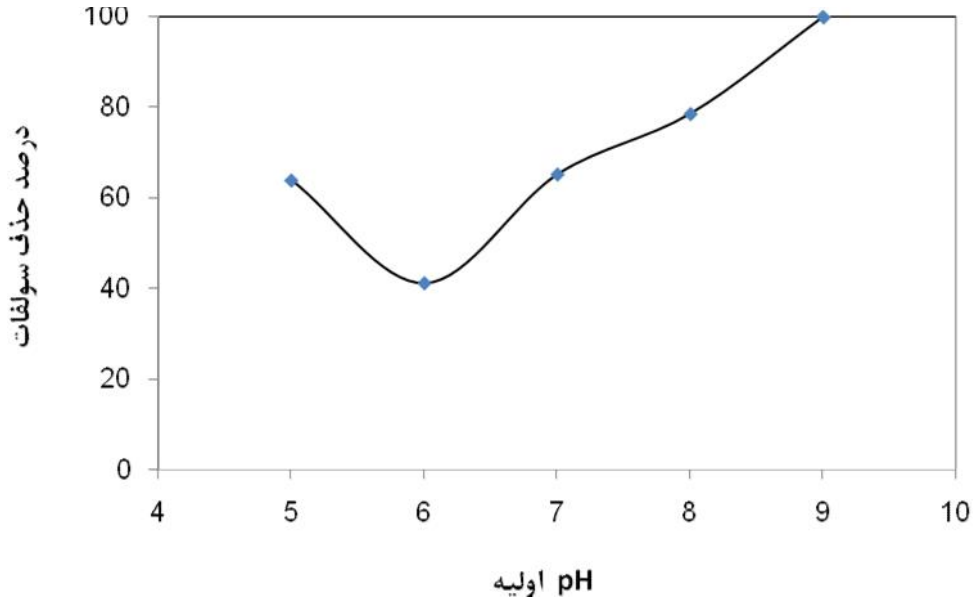


شکل ۲: تأثیر دانسیته جریان بر میزان حذف سولفات از فاز مائی (شرایط: زمان ۱۱۰ دقیقه، سولفات ۱۰۰ mg/l و pH ۷/۲).

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

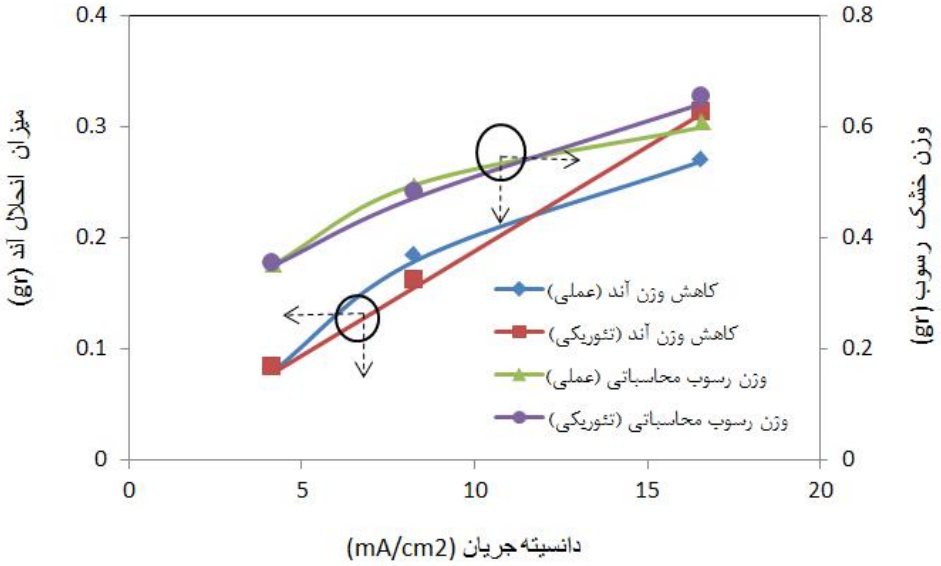


شکل ۳: تأثیر غلظت اولیه سولفات بر میزان حذف از فاز مائی (شرایط: زمان ۱۱۰ دقیقه، جریان اعمالی ۱۶/۶۷ mA/cm^2، pH ۷/۲).

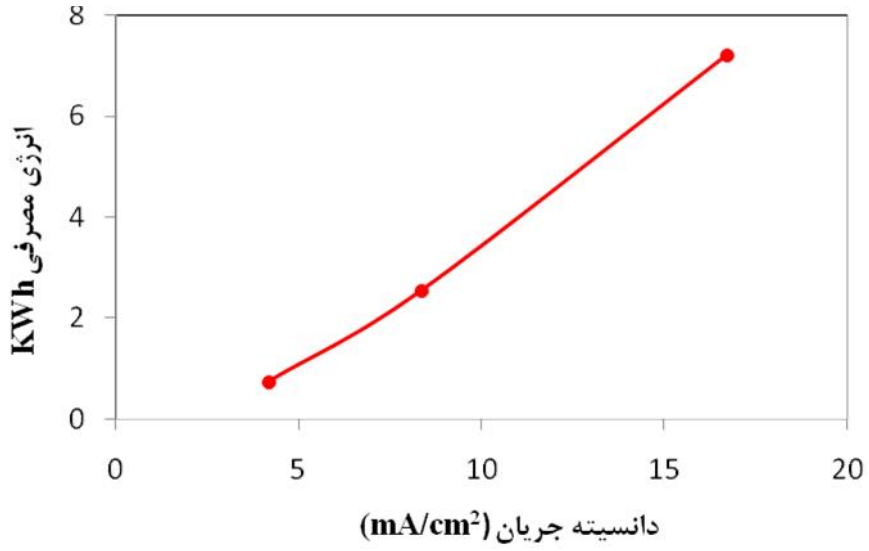


شکل ۴: تأثیر pH اولیه سولفات بر میزان حذف از فاز مائی (شرایط: زمان ۱۱۰ دقیقه، سولفات ۱۰۰ mg/l، جریان اعمالی ۱۶/۶۷ mA/cm^2).

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]



(الف)



(ب)

شکل ۵: (الف) میزان لجن تولید شده و انحلال آند در دانسیته جریان‌های مختلف در طول زمان ۱۱۰ دقیقه (ب) میزان انرژی مصرفی

جدول ۱: هزینه مصرف انرژی در فرآیند الکتروکواگولاسیون

کشور های اروپائی		ایران		میزان مصرف
ریال	$	ریال	$*	kwh
۲۴۲۶	۰/۱۰۰	۳۷۵	۰/۰۱۵	۰/۷۵
۸۱۳۶	۰/۳۳۲	۱۲۷۵	۰/۰۵۱	۲/۵۵
۲۳۹۲۲	۰/۹۳۶	۳۶۰۰	۰/۱۴۴	۷/۲

دلار = ۲۵۰۰۰ ریال

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

تأثیر دانسیته جریان بر میزان حذف سولفات در شرایط مشخص در شکل ۲ قابل مشاهده است. با توجه به تغییرات سولفات باقی‌مانده در دانسیته جریان‌های مختلف، حداکثر میزان حذف صورت گرفته در بیشترین دانسیته جریان اعمالی فراهم شده است. راندمان حاصله در دانسیته جریان‌های ۴/۱۷، ۸/۳۳ و ۱۶/۶۷ mA/cm^2 به ترتیب برابر ۲۱/۳۳، ۶۶/۶۷ و ۸۰ درصد تعیین شد. از این رو، دانسیته جریان ۱۶/۶۷ mA/cm^2 به عنوان فاکتور بهینه در آزمایشات بعد انتخاب گردید.

درصد حذف الکتروشیمیایی سولفات در غلظت‌های اولیه در شکل ۳ ارائه شده است. بیشترین میزان حذف در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مشاهده گردید. راندمان حاصله برای غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم در لیتر به ترتیب برابر ۷۸، ۷۹ و ۵۷ درصد تعیین شد. در این مرحله غلظت بهینه سولفات برابر ۱۰۰ mg/l در دانسیته جریان ۱۶/۶۷ mA/cm^2 جهت ادامه آزمایشات استفاده گردید.

از دیگر پارامترهای مورد ارزیابی در این مطالعه، اثر pH اولیه محلول بر کارائی حذف الکتروشیمیایی سولفات بود. تغییرات ناشی از اثر این پارامتر در محدوده‌های مختلف اسیدی- قلیائی در شکل ۴ قابل مشاهده است. اگر چه در pH کمتر از ۶ راندمان فرآیند افزایش نشان می دهد، اما بیشترین راندمان مشاهده شده در pH های قلیائی (۹ pH) و برابر ۱۰۰ درصد اخذ گردید.

میزان انحلال آندی و وزن رسوب تشکیل شده محاسباتی (تئوری) و اندازه گیری شده (عملی) طی فرآیند حذف الکتروشیمیایی سولفات در شکل ۵ (الف) نشان داده شده است. بر مبنای نتایج اخذ شده می‌توان نتیجه گیری نمود که پارامترهای اندازه گیری شده و محاسبه شده به هم نزدیک بوده و صحت آزمایشات را نشان می‌دهد. حداکثر میزان تولید لجن (در شرایط تئوری و عملی برابر ۰/۶۴ و ۰/۶ گرم) و انحلال آند (در شرایط تئوری و عملی برابر ۰/۳۱ و ۰/۲۷ گرم) در بیشترین دانسیته جریان تعیین شد. میزان انرژی مصرفی جهت جداسازی الکتروشیمیایی سولفات بر حسب کیلووات ساعت در دانسیته جریان‌های مختلف در شکل ۵ (ب) ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله میزان انرژی مصرفی برای دانسیته جریان‌های ۴/۱۷، ۸/۳۳ و ۱۶/۶۷ mA/cm^2 به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۲/۵۵ و ۷/۲ KWh تعیین گردید.

ارزیابی اقتصادی از مصرف انرژی در فرآیند الکتروشیمیایی برای حذف سولفات از محلول مائی در جدول ۱ ارائه شده است. این هزینه‌ها با توجه به نرخ تقریبی انرژی در ایران و کشورهای اروپائی تعیین شده است. هزینه هر کیلو وات ساعت برق در ایران حدود ۵۰۰ ریال و برای کشورهای عضو اتحادیه اروپا برابر ۰/۱۳ دلار در نظر گرفته شد [۱۵،۱۶].

بحث

میزان حذف سولفات با افزایش زمان فرآیند افزایش نشان می دهد (شکل ۱). در زمان ۱۱۰ دقیقه حداکثر میزان حذف مشاهده گردید. با توجه به قانون فارادی (رابطه ۲) نسبت مستقیمی بین میزان کواگولانت تشکیل شده و زمان واکنش وجود دارد و با افزایش زمان، میزان کواگولانت در دسترس بیشتر بوده و در نتیجه منجر به افزایش راندمان می گردد. با توجه به تغییرات سولفات باقی‌مانده در دانسیته جریان‌های مختلف (شکل ۲)، حداکثر میزان حذف در بیشترین دانسیته جریان اعمالی (برابر ۱۶/۶۷ mA/cm^2) اخذ شده است. میزان دانسیته جریان اعمالی به طور مستقیم بر میزان حذف سولفات اثر گذار است. افزایش دانسیته جریان از ۴/۱۷ به ۱۶/۶۷ mA/cm^2 سبب افزایش میزان حذف سولفات از ۳۳/۲۱ به حدود ۸۰ درصد می گردید. افزایش بازدهی سیستم در این حالت نیز با مطابق با قانون فارادی می باشد ($W_A = I \cdot t \cdot m / n \cdot F$) و در دانسیته های بالا میزان بیشتری از کمپلکس های آهن در فاز آبی آزاد شده که آن نیز بر ته نشینی و نرخ تولید کمپلکس های آهن–گوگرد می‌افزاید. از طرفی افزایش دانسیته جریان سبب افزایش تولید حباب‌ها و افزایش احتمال برخورد و توزیع یکنواخت مواد کواگولانت و حالت بهتری از شرائط احیائی در کل رآکتور می شود. از طرفی دیگر، افزایش دانسیته جریان سبب کاهش اندازه حباب‌ها می‌گردد و از این رو سطح تماس بالا می‌رود [۲]. گائو[1] و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که با افزایش دانسیته جریان مقدار کمپلکس رها

1- Gao

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

شده و الکترون آزاد شده افزایش یافته و راندمان بالاتری به واسطه افزایش سرعت فرآیند نتیجه می شود [۱۷].

تأثیر غلظت اولیه سولفات بر میزان حذف سولفات را از محیط آبی در شکل ۳ بیان شده است. در حضور مقدار کمتر یون‌های سولفات در محیط میزان بازدهی کل فرآیند الکتروکواگولاسیون افزایش یافته است. سطح کاتدی و میزان کمپلکس هیدروکسید/اکسیدهای آهن در دسترس برای یک مقدار خاص از سولفات عامل حذف بهتر در غلظت‌های کم بوده است [۲]. مکانیسم حذف سولفات به وسیله جذب در هیدروکسید/اکسیدهای آهن و هم چنین ترسیب می‌باشد.

pH به عنوان یک از مهم‌ترین فاکتورهای موجود در تمامی فرآیندهایی که مرتبط با جابجائی الکترون و یون پروتون هستند در نظر گرفته می‌شود. بیشترین میزان راندمان حذف سولفات از محیط در pH ۹ رخ داده است (شکل ۴). مکانیسم غالب در فرآیند الکتروکواگولاسیون در pH های اسیدی ۲ تا ۴، فرآیند ترسیب می‌باشد اما در pH بین ۴ تا ۹ فرآیند غالب جذب می‌باشد. با توجه به pH zpc لخته‌های آهن که برابر ۸/۷ می‌باشد انتظار می‌رود که در کمتر از این مقدار سطح ذره مثبت شده و جذب آنیون بهتر صورت گیرد. در pH بالای ۹ اشکال آموروف آهن تشکیل می‌شود که با مصرف یون OH همراه است. این اشکال نیز در فرآیند جذب وارد می‌گردند. از دیگر راه‌های ممانعت از پیشروی غیر فعال سازی الکترودی، بهره برداری فرآیند در شرایط مطلوب از نظر pH می‌باشد [۱].

در ارزیابی هزینه فرآیند الکتروکواگولاسیون جهت حذف سولفات، بدیهی است که هزینه انرژی در کشورهای مختلف متفاوت می باشد. ولی با این وجود، استفاده از این تکنولوژی با توجه به هزینه‌های جاری آن مقبولیت پیدا می‌کند. نسبت هزینه انرژی در ایران و اتحادیه اروپا حدود ۱: ۶ برآورد گردید. از این رو استفاده از فرآیند الکتروکواگولاسیون جهت حذف آلاینده های مختلف در ایران، با توجه به هزینه های انرژی می تواند به عنوان یک فرآیند مطلوب پیشنهاد گردد. ارزیابی اقتصادی عموم روش های موجود تصفیه فاضلاب در دو بخش هزینه های سرمایه اولیه و بهره برداری امکانپذیر است. فرایند الکتروگواکولاسیون علاوه بر هزینه سرمایه گذاری کم هزینه های بهره برداری پائینی داشته و کاربرد آنها بیشتر به صورت در محل (In situ) می باشد. از این رو در مقایسه با دیگر روش ها از لحاظ اقتصادی ارجحیت دارد. بر اساس مطالعات موجود عمده هزینه موجد برای این فرایند مربوط به هزینه های جریان الکتریکی می باشد. در حالت بهینه میزان مصرف انرژی برابر ۷/۲ KWh می باشد که با توجه به نرخ انرژی اتحادیه اروپا و ایران میزان انرژی مصرفی به ازای هر متر مکعب حذف سولفات برابر ۰/۹۴ و ۰/۱۵ $/m^3 برآورد می گردد. بر اساس مطالعات کوکانن[1] و همکاران (۲۰۱۳) میزان کلی انرژی مصرفی و هزینه های تصفیه با روش الکتروکواگولاسیون در حدود ۵۸-۰/۰۰۲ kWh/m^3 و ۶/۷۴- €/m^3 ۰/۰۰۴۷ برآورد شده است [۱۸].

نتیجه گیری

فرآیند الکتروکواگولاسیون پتانسیل قابل توجهی را در حذف سولفات از محیط آبی دارد. استفاده از عوامل کربناته نظیر بی کربنات کلسیم می‌تواند در ایجاد شرایط بهینه از نظر کنترل بهتر pH خروجی و افزایش راندمان موثر باشد. شرایط مطلوب جهت حذف سولفات توسط فرآیند الکتروکواگولاسیون در pH های اسیدی و قلیائی امکان پذیر است. افزایش دانسیته جریان و غلظت های کم از سولفات می تواند سبب افزایش کارائی فرآیند جهت حذف سولفات از محیط آبی گردد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش در دانشگاه تربیت مدرس انجام پذیرفته است. بدینوسیله از دانشگاه تربیت مدرس کمال تشکر و امتنان را داریم.

1- Kuokkanen

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

References

1. Paula Jr DR, Foresti E, Sulfide toxicity kinetics of a UASB reactor, Braz J Chem Eng. 2009;26(4):669-675.
2. Murugananthan M, Raju GB, Prabhakar S, Removal of sulfide, sulfate and sulfite ions by electro coagulation, J Hazard Mater, 2004;109(1):37-44.
3. Bowell RJ, Connelly RJ, Ellis J, Cowan J, Wood A, Barta J, Edwards P, A review of sulfate removal options for mine waters, In Mine water 2004—Proceedings of the International Mine Water Association symposium 2004; 2: 75-91.
4. Silva AJ, Varesche MB, Foresti E, Zaiat M, Sulphate removal from industrial wastewater using a packed-bed anaerobic reactor, Process Biochem, 2002; 37: 927-935.
5. Heidmann I, Calmano W, Removal of Zn(II), Cu(II), Ni(II), Ag(I) and Cr(VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation, J Hazard Mater, 2008;152(3):934-941.
6. Hu J, Chen C, Zhu X, Wang X, Removal of chromium from aqueous solution by using oxidized multiwalled carbon nanotubes, J Hazard Mater, 2009;162(2–3):1542-1550.
7. Hu J, Wang SW, Shao DD DY, Adsorption and Reduction of Chromium(VI) from Aqueous Solution by Multiwalled Carbon Nanotubes, TOEPTJ, 2009;2(1):66-73.
8. Lakshmipathiraj P, Bhaskar Raju G, Raviatul Basariya M, Parvathy S, Prabhakar S, Removal of Cr (VI) by electrochemical reduction. Sep Purif Technol, 2008;60(1):96-102.
9. Heidmann I, Calmano W, Removal of Cr(VI) from model wastewaters by electrocoagulation with Fe electrodes, Sep Purif Technol, 2008;61(1):15-21.
10. Jüttnera K, Gallab U, Schmieder H, Electrochemical approaches to environmental problems in the process industry. Electrochimica Acta, 2000;45(15):2575-2594.
11. Janssen LJJ, Koene L, The role of electrochemistry and electrochemical technology in environmental protection, Chem Eng J, 2002;85(2):137-146.
12. Canton K W, Fluid waste disposal, Treatment of Wastewater by Electrocoagulation Method and the Effect of Low Cost Supporting Electrolytes, Published by Nova Science Publishers, Inc. 2010: 7-8.
13. Velten S, Knappe DR, Traber J, Kaiser HP, von Gunten U, Boller M,“ et al”, Characterization of natural organic matter adsorption in granular activated carbon adsorbers, Water Res. 2011;45(13):3951-3959.
14. Rezaee A, Hossini H, Masoumbeigi H, Darvishi Cheshma Soltani R, Simultaneous removal of hexavalent chromium and nitrate from wastewater using electrocoagulation method, IJESD, 2:294-298.
15. Carabineiro SA, Thavorn-Amornsri T, Pereira MF, Figueiredo JL, Adsorption of ciprofloxacin on surface-modified carbon materials, Water Res. 2011;45(15):4583-4591.
16. Manzour D, Rezaei H, Electrical Energy Costs in Iran, Journal of Economic Modeling Research 2011; 6: 156-172 [Persian].
17. Gao P, Chen X, Shen F, Chen G, Removal of chromium(VI) from wastewater by combined electrocoagulation–electroflotation without a filter, Sep Purif Technol, 2005;43(2):117-123.
18. Kuokkanen V, Kuokkanen T, Rämö J, Lassi U, Recent Applications of Electrocoagulation in Treatment of Water and Wastewater- A Review, Green Sustain Chem, 2013; 3: 89-121.

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]

Orginal Article

Sulfate removal from wastewater using electrocoagulation process: evaluation of effective parameters and costs

Hossini H [1], *Rezaee A* [2*], *Shirmardi M* [3], *Naeimabadi A* [4]

[1] Ph.D student in Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
[2] Assoc. Prof., Department of EnvironmentalHealth, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
[3] Ph.D student in Environmental Health Engineering, Faculty of P ublic Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
[4] Instructor, Ph.D student in Environmental Health Engineering and the Faculty of Public Health, North Khorasan University of MedicalSciences, Bojnourd, Iran
***Corresponding Author:** Environmental Health Dept., Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Email: rezaee@modares.ac.ir

Abstract

Background and objectives: *Presence of high concentration of sulfate in water as a chemical pollutant can cause various health problems such as diarrhea, taste, and odor. The sulfate could have adverse effect on industrial wastewater treatment such as anaerobic processes. Furthermore, sulfate is the main cause of pipes corrosion in water and wastewater systems. In this study, electro-coagulation process is considered as an environmentally friendly and high-performance process for the removal of sulfate from aqueous solutions.*

Materials and methods: *In this experimental study, the electrocoagulation process was applied for sulfate removal from synthetic wastewater. The effect of various variables including contact time, the solution pH, initial concentration of sulfate, current density, and economic evaluation based on energy expenditure in Iran and the European countries have been evaluated. Turbidimetry method and combined sampling were utilized for determination of sulfate residual.*

Results: *Results of this study showed that the efficiency of the system could be promoted by increasing the contact time, initial pH of the solution, and the applied current density. However, the efficiency of electro-coagulation process has decreased, when higher level of sulfate ions was presented in the aqueous phase.*

Conclusion: *The results of this study indicate that electro-coagulation process could be applied for the removal of sulfate from aqueous solution with a high efficiency.*

Keywords: *Electrocoagulation, Sulfate, Removal, Energy consumption, Costs*

Journal of North Khorasan University 2014;6(4):787-796

Recivied: 15 Apr 2014
Revised: 5 July 2014
Accepted: 27 Oct 2014

[Downloaded from journal.nkums.ac.ir on 2026-11-02]