مجله مهندسی بهداشت محیط، زمستان ۱۳۹۸، سال ۷، شماره ۲: ۱۹۵-۲۱۰

ارزیابی عملکرد مدل راکتور دوار در حذف کدورت از محیط‌های آبی با استفاده از روش انعقادالکتریکی

صالح ریاحی*[۱]، سید علی ایوب‌زاده[۲]، حسین صمدی بروجنی[۳]، سید غلام‌رضا موسوی[٤]

[۱] دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲] دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
[٤] استاد گروه بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: حذف کدورت‌های فصلی از جریان‌های آب سطحی به منظور استفاده شرب، یکی از مهمترین معضلات پیش‌روی واحدهای تصفیه‌خانه می‌باشد. در این تحقیق کارایی روش انعقاد الکتریکی و مدل راکتور دوار ناپیوسته، به منظور حذف کدورت از جریان‌های آب سطحی با در نظر گرفتن الکترودهایی از جنس آهن و آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با بررسی شرایط بهره‌برداری، مقادیر بهینه برای هر یک از پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور حذف کدورت جریان، از مدل راکتور دوار ناپیوسته با آرایش تک قطبی الکترودها و به صورت موازی استفاده گردیده شد. حجم نمونه در آزمایشات معادل ۳۷۷ لیتر بوده است و مدل مذکور این امکان را فراهم می‌سازد که تمامی ذرات سیال، رسوب و همچنین آلاینده به واسطه چرخش ایجاد شده در مدل به صورت همگن با الکترودها در تماس قرار گرفته و مجموعه بواسطه عدم تاثیر عواملی همچون پره‌های پمپ و لوله‌های بازگشت، راندمان حذف بالاتری فراهم نماید.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای بهینه بهره‌برداری شامل جنس الکترود آلومینیومی، زمان بهینه ٦۰ دقیقه، سرعت چرخش ۲/۳ rpm و شدت جریان ۱۸/۸A/m^2 در pH =۷/٤، فاصله الکترود ۳ سانتی‌متر و دمای آزمایشگاه بدست آمد. بر این اساس بالاترین میزان حذف کدورت در شرایط بهینه برای الکترودهای آهنی و آلومینیومی به ترتیب برابر با ۸٤/۱ و ۹۳/۳ درصد بدست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که مدل راکتور دوار ناپیوسته، ضمن سهولت کاربری قادر به حذف بالای کدورت جریان از محیط‌های آبی بوده و کاربرد این مدل جهت استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب شرب توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: انعقاد الکتریکی، کدورت، تصفیه آلاینده، مدل راکتور دوار ناپیوسته

* **نویسنده مسئول:** دانشجوی دکتری گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
ایمیل: Saleh.riahi@ut.ac.ir - تلفن تماس: ۰۹۱۲-۰۸۰۱۳۹۹

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

مقدمه

جریان‌های سطحی و رودخانه‌ای اغلب حاوی مقادیر زیادی ذرات معلق از جنس رس، سیلت، شن و سایر مواد آلی و معدنی می‌باشند، که این مواد موجب ایجاد کدورت جریان می‌گردد. از طرفی در بسیاری از نقاط کشور آب شرب مورد نیاز مردم از طریق جریان‌های رودخانه‌ای تامین می‌گردد و در زمانی که رودخانه‌ها دارای جریان سیلابی بوده و حاوی مقادیر بالایی کدورت جریان می‌باشند، راندمان واحدهای تصفیه‌خانه به شدت کاهش یافته و امکان تصفیه این ذرات معلق وجود نخواهد داشت. از این رو استفاده از مدلی کارآمد در حذف این ذرات از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش انعقاد الکتریکی یکی از روش‌های تصفیه کدورت جریان می‌باشد، که ذرات معلق را از طریق ایجاد انعقاد و در نتیجه رسوب‌گذاری و شناوری از جریان حذف می‌نماید. در دهه‌های اخیر این روش برای حذف محدوده وسیعی از منابع آلاینده، از جمله در تصفیه آب‌های روغنی[1]، فاضلاب نساجی‌ها[2]، فاضلاب صنایع[3]، حذف فلزات سنگین[4]، حذف نیترات[5] و حذف فسفر[6] مورد استفاده قرار گرفته است. روش انعقاد الکتریکی در مقایسه با سایر روش‌های تصفیه دارای مزایای زیادی از جمله بی‌نیازی از مواد شیمیایی ویژه، تجهیزات و بهره‌برداری ساده، راندمان حذف بالا، و تولید لجن اندک می‌باشد[7]، هر چند که این روش نیز با برخی محدودیت‌ها از جمله مصرف بالای انرژی، لزوم تعویض و نگهداری از الکترود قربانی در اثر اکسیداسیون آند، ایجاد لایه نازک اکسید بر روی کاتد و لزوم نگهداری از آن، همراه می‌باشد[8].

در روش انعقاد و شناورسازی الکتریکی هنگامی که یک پتانسیل از منبع تغذیه خارجی به کار گرفته می‌شود، مواد آند تحت اکسایش قرار گرفته و مواد کاتدی با رسوب فلزات عنصری تحت کاهش یا تقلیل قرار می‌گیرند. به عنوان مثال واکنش‌های الکتروشیمیایی با فلز آلومینیوم به عنوان الکترود به شرح زیر خلاصه می‌شود[8].

در آند:

$$Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$$
$$Al^{3+}_{(aq)} + 3H_2O_{(aq)} \rightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+_{(aq)} \quad (1)$$

در کاتد:

$$3H_2O_{(l)} + 3e^- \rightarrow 3/2H_{2(g)} + 3(OH)^-_{(aq)} \quad (2)$$

و به طور کل داریم:

$$Al_{(s)} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3/2H_{2(g)} \quad (3)$$

انحلال الکترولیتی آند آلومینیوم در طول واکنش بالا تولید گونه‌های مونومری و پلیمری می‌نماید، مانند AL^{3+} و OH^- که به $AL(OH)_3$ تبدیل شده است. لخته‌های $AL(OH)_3$ مولکول‌های آلاینده موجود در فاضلاب را جذب کرده و به رسوبات پایدار تبدیل می‌نمایند[9].

از جمله اولین تحقیقات انجام شده در زمینه حذف کدورت با استفاده از روش انعقاد الکتریکی می‌توان به تحقیق انجام شده توسط بالمر و فویلدز (۱۹۸۶) اشاره نمود. در این تحقیق بیان گردید که روش انعقاد الکتریکی به عنوان یک روش کارآمد قادر است که میزان کدورت موجود در شیرابه‌های نفتی را کاهش دهد. آنها پی‌بردند که استفاده از الکترود آهنی به عنوان آند قادر است راندمان حذف کدورت، برابر با ۱۰۰ درصد را بدست دهد و میزان کدورت باقیمانده در محیط آبی برابر با صفر گردد[10].پس از آن پاول (۱۹۹۶) آب رودخانه‌ای با کدورت‌های متفاوت را در یک سلول الکتریکی مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش انعقاد الکتریکی کاهش قابل توجهی در کدورت جریان ایجاد نموده است به گونه‌ای که کدورت از میزان ۴۰۰-۹۰۰ J.T.U به میزان ۲ J.T.U رسید[11]. دونالد میلز (۲۰۰۰) مطالعه‌ای را در زمینه استفاده از روش انعقاد الکتریکی برای حذف کدورت از منابع خام آب انجام داد. در این تحقیق ولتاژ پایین جریان

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

مستقیم (D.C) در سلول‌ها اعمال گردیده تا توده‌های هیدروکسید فلز آهن شکل گیرد. نتیجه‌گیری شد که درصد حذف بالایی از کدورت آب با استفاده از روش انعقاد الکتریکی قابل دست‌یابی می‌باشد[12].مرزوک و همکاران (۲۰۰۹) حذف کدورت و فلزات سنگین را با استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون/فلوتاسیون مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان دهنده بالا بودن حذف همزمان کدورت و فلزات سنگین از آب بوده است[13]. مطالعات دیگری نیز در زمینه حذف کدورت با استفاده از روش انعقاد الکتریکی انجام پذیرفته است، از جمله این موارد می‌توان به مطالعات در زمینه، حذف ذرات معلق جامد و کدورت از پساب کارخانه‌جات شن و ماسه[14]، حذف مقادیر پایین تا زیاد کدورت [15]، حذف کدورت‌های بالای جریان[16]، و حذف کدورت از فاضلاب فیلترهای شست‌شو[17] اشاره نمود.

با توجه به این که یکی از مهمترین وظایف مدل راکتور در فرایند انعقاد الکتریکی، کاهش ضریب مقاومت داخلی الکترودها به منظور افزایش عملکرد جریان الکتریسیته بوده و این بیشترین نقش را در کاهش هزینه‌های بهره‌برداری از این روش دارد[18]، مدل راکتور دوار مورد استفاده در این تحقیق این امکان را فراهم می‌سازد که با بهبود پارامترهای آشفتگی در عین حال که موجب کاهش ضریب مقاومت داخلی الکترودها می‌شود، انتقال جرمی از این فضا را نیز افزایش می‌دهد و به واسطه چرخش ایجاد شده تمامی ذرات سیال، رسوب و همچنین آلاینده، در مدل به صورت همگن با الکترودها در تماس قرار گرفته و مجموعه بواسطه عدم تاثیر عواملی همچون پره‌های پمپ و لوله‌های بازگشت، راندمان حذف بالاتری فراهم نماید.

بر اساس پیشینه مطالعات انجام شده می‌توان بیان نمود که بخش عمده این مطالعات کارایی روش انعقاد الکتریکی را در راکتورهایی با مقیاس کوچک مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف از تحقیق حاضر شناسایی پتانسیل استفاده از روش انعقاد الکتریکی در حذف کدورت جریان با استفاده از مدل مطالعاتی دوار می‌باشد. در این تحقیق از الکترودهای متفاوتی با جنس آلومینیوم و آهن استفاده شده است تا عملکرد روش انعقاد الکتریکی با استفاده از این الکترودها مورد بررسی قرار گیرد. در نهایت بر اساس نتایج آزمایشگاهی مقادیر پارامترهای بهره‌برداری بهینه شده از جمله دانسیته جریان، زمان تصفیه، سرعت چرخش و pH بدست خواهد آمد.

مواد و روش‌ها

راکتور دوار

به منظور مطالعه معتبر بر روی حذف آلاینده‌های موجود در محیط‌های آبی یک وسیله آزمایشگاهی قابل اطمینان مورد نیاز می‌باشد. در این تحقیق استفاده از یک راکتور دوار پیشنهاد و استفاده شده است. چنین مدلی برای اولین بار در سال ۱۹۶۳ و در موسسه تکنولوژی ماساچوست(MIT) به منظور انجام مطالعات ته‌نشینی روی رسوبات چسبنده طراحی و ساخته شد[19].

دستگاه مذکور شامل دو قسمت می باشد، یک کانال حلقوی و یک رینگ حلقه‌ای در داخل کانال به گونه‌ای که مکانیزم حرکتی هر دو قسمت این دستگاه از یکدیگر جدا بوده و هرکدام از آنها می‌تواند در جهت عقربه‌های ساعت یا عکس عقربه‌های ساعت حرکت کند. چرخش همزمان آنها در جهت عکس یکدیگر باعث به وجود آمدن یک جریان آشفته می‌شود. این مجموعه آزمایشگاهی دیگر تحت تاثیر عواملی همچون پره‌های پمپ، لوله‌های بازگشت و غیره نمی‌باشد[20]. با انتخاب سرعت چرخش مناسب برای کانال و رینگ تاثیر جریانات ثانویه در ته‌نشینی حذف شده است و این امر موجب می‌شود ته‌نشینی یکنواختی در بستر کانال بوجود آید.

مدل فیزیکی راکتور و مدل صفحات الکترود به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است. جنس راکتور استفاده شده ترکیبی از فولاد و پلکسی‌گلاس بوده، و تعداد ٦

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

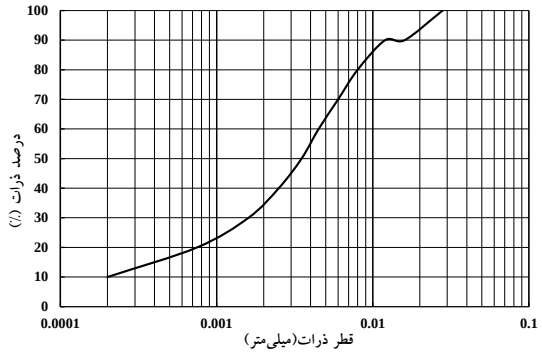
الکترود از جنس آلومینیوم و آهن با ابعاد ۳۰*۱۵*۰/۲ سانتی‌متر و فاصله ۳ سانتی‌متری از هم داخل راکتور قرار گرفته‌اند.

آماده‌سازی نمونه کدورت

جهت انجام تحقیق حاضر، رسوبات از سرشاخه‌های کارون شمالی (بستر خشک مخزن سدخاکی پیربلوط واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب‌غرب شهرکرد) جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل گردید. مشخصات فیزیکی رسوبات مورد استفاده و منحنی دانه‌بندی آن در شکل (۲) ارائه شده است. بر این اساس رسوبات حاوی ٦٤ درصد رس و ٣٦ درصد سیلت می‌باشند. شایان ذکر است نوع کانی غالب رسوب مورد استفاده کائولینیت است.



شکل ۱: مدل راکتور دوار به همراه محل قرارگیری الکترودها



ردیف	شرح	مقدار
۱	ضریب یکنواختی	۳۰
۲	ضریب انحنا	۱/۹۵
۳	اندازه متوسط هندسی(میلی‌متر)	۰/۰۰۲۳
٤	انحراف معیار هندسی	٤/٤٣
٥	G_s	۲/٦۹

شکل ۲: دانه‌بندی و خصوصیات رسوبات مورد استفاده

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

با توجه به این که هدف تحقیق حاضر ارزیابی روش انعقاد الکتریکی در حذف کدورت جریان می‌باشد و یکی از مهمترین موارد کاربرد این موضوع در بحث تصفیه‌خانه‌های آب شرب و حذف کدورت جریان در زمان‌های سیلابی می‌باشد، با بررسی محدوده طبیعی کدورت در ایستگاه مبنا(گردنه خلک) مجموعه آزمایشی در محدوده بین ۱۰۰ تا ۱۷۰۰ نفلومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ایجاد کدورت مورد نظر از محلول ترکیبی آب شهری و رسوب (با مشخصات معین) استفاده گردید، و کدورت‌های مورد نظر تهیه گردید.

آزمایشات بهینه‌سازی

مطالعه حاضر یک مطالعه آزمایشگاهی است که به صورت طرح پایلوت و در یک سیستم راکتور ناپیوسته انجام پذیرفت. تجهیزات استفاده شده در این آزمایش شامل مدل فیزیکی، مجموعه الکترودها، دستگاه کدورت سنج، pH متر، و مبدل جریان الکتریسیته می‌باشد.

آرایش صفحات الکترود به صورت تک قطبی بوده و با چیدمان موازی به یک مبدل جریان برق شهری به جریان مستقیم(مدل GPS 3303، با محدوده ولتاژ حداکثر ۶۰-۰ ولت و جریان ۶-۰ آمپر) متصل شده‌اند. در هر بار آزمایش مخزن راکتور با ارتفاع جریان ۲۵ سانتی‌متر (حجم معادل ۳۷۷ لیتر) از نمونه مورد نظر پر گردید. به منظور بررسی تاثیر عوامل مختلف در کارایی فرایند انعقاد الکتریکی بر روی کدورت جریان، آزمایش‌ها در مقادیر متفاوت کدورت اولیه، شدت جریان، سرعت چرخش و زمان واکنش، مطابق با جدول (۱)، انجام گرفت. نمونه از سه عمق متفاوت راکتور برداشت شده و در هر بار نتایج حاصل از میانگین سه تکرار بدست آمد. پس از پایان هر دوره آزمایش الکترودها به مدت یک دقیقه در اسید کلریدریک تمیز و با سمباده نرم تمیز گردیده شدند. کلیه آزمایشات در دمای محیط آزمایشگاه (۳±۲۳ درجه سانتی‌گراد) و فشار اتمسفر انجام پذیرفت. به منظور اندازه‌گیری کدورت از دستگاه کدورت سنج(AL250T-IR)، مطابق با روش ۲۱۳۰ استاندارد[۲۱]، استفاده گردید، همچنین مقادیر pH در ابتدا و انتهای آزمایشات با استفاده از دستگاه pH متر(370JENWAY) مطابق استاندارد[۲۱] و هدایت الکتریکی با دستگاه (470JENWAY) و بر اساس استاندارد ۲۵۱۰[۲۱]، اندازه‌گیری شد.

مشخصات پارامترهای مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است.

ترسیم نمودارها و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار excel 2013 انجام گردید. همچنین به منظور انجام تحلیل‌ها، راندمان حذف کدورت به کمک معادله (٤) به دست آمده است.

جدول ۱: مشخصات پارامترهای مورد بررسی

پارامتر	واحد	گستره
pH	غلظت یون هیدروژن	۷/۷-٤/۸
هدایت الکتریکی	میکروزیمنس بر سانتی متر	۲۷۱-۲۳۲
دما	درجه سانتی‌گراد	۲۳±۲
شدت جریان	آمپر بر متر مربع	٤/۸، ۹/۳، ۱۸/۸، ۲۲/۸
سرعت چرخش	دور در دقیقه	۰/۷، ۲/۳، ۵/۷
کدورت	نفلومتری	۱۰۰-۱۷۰۰
زمان واکنش	دقیقه	۹۰، ۶۰، ٤۵، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۰

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

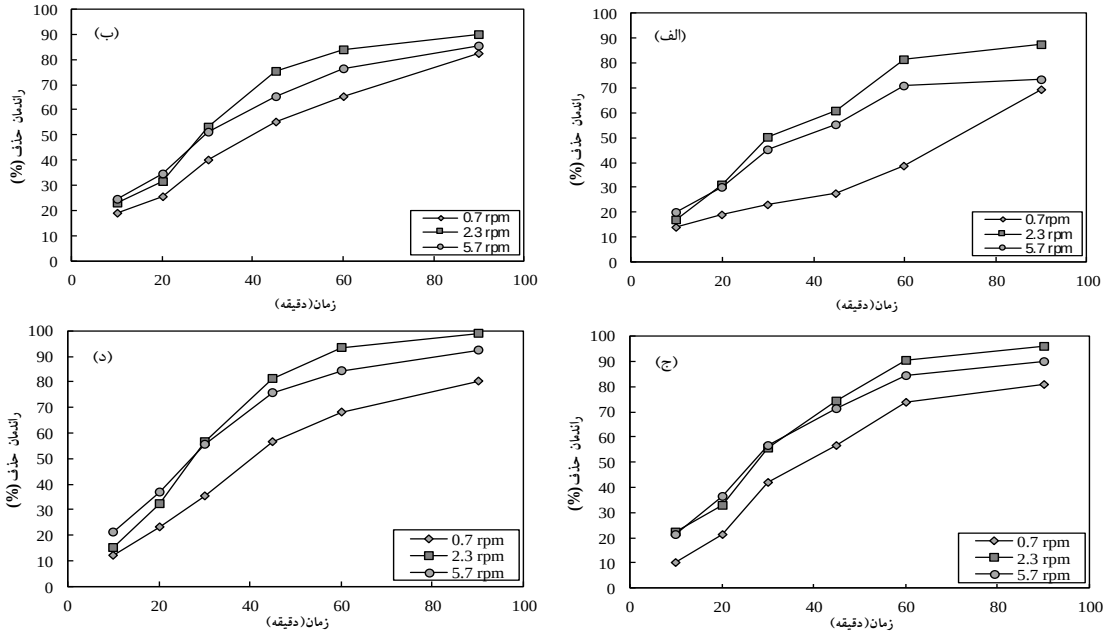
$$RE\,(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \qquad (٤)$$

که در این رابطه C_0 غلظت کدورت در زمان اولیه واکنش و C_t غلظت کدورت در زمان t می‌باشد.

یافته‌ها

اثر سرعت چرخش راکتور

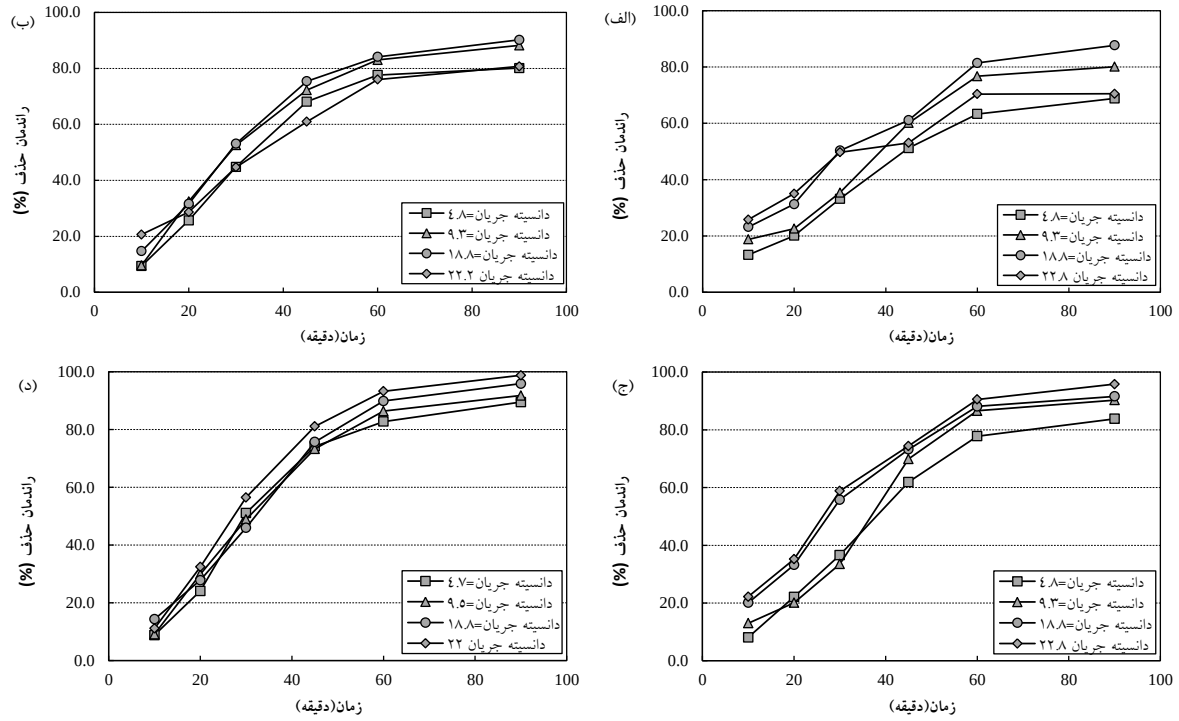
انحلال یون‌های الکترود و تشکیل مواد منعقدکننده موجب ایجاد واکنش با ذرات کلوئیدی جریان شده و فولکوله‌ها را ایجاد می‌نماید. اثر اصلی سرعت چرخش راکتور در انتقال موثر فولکوله‌های ایجاد شده می‌باشد. این امر موجب ارتباط بیشتر ذرات تشکیل شده با یکدیگر شده و موجب می‌شود محلول یکنواختی تشکیل گردد. چرخش راکتور همچنین موجب ایجاد یکنواختی در شرایط pH و دمای جریان می‌گردد[۲۲]. درصورتی که سرعت جریان افزایش یابد امکان این وجود خواهد داشت که ذرات فولکوله شده شکسته شده و به اجزای کوچکتری تقسیم گردد، که در این صورت حذف این ذرات از جریان دشوار خواهد بود. با توجه به شکل (۳) می‌توان بیان نمود که بیشترین راندمان حذف در سرعت چرخش راکتور معادل با ۲/۳ دور در دقیقه می‌باشد. زمانی که سرعت از ۰/۷ تا ۲/۳ دور در دقیقه افزایش می‌یابد برخورد فلکوله‌های تشکیل شده با یکدیگر افزایش یافته و فولکوله‌های بزرگتری تشکیل شده و ته‌نشینی افزایش می‌یابد. اما زمانی که سرعت از ۲/۳ تا ۵/۷ دور در دقیقه افزایش یافت، راندمان حذف کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۳) می‌توان مشاهده نمود که افزایش سرعت چرخش از ۲/۳ به ۵/۷ در ۳۰ دقیقه اول موجب افزایش راندمان حذف کدورت گردیده در حالی که بعد از زمان ۳۰ دقیقه به واسطه این که ذرات فولکوله تشکیل شده بزرگتر گردیده و در اثر سرعت بالا امکان شکستن این فولکوله‌ها وجود خواهد داشت، با کاهش راندمان حذف مواجه گردیده است.



شکل ۳: تغییرات راندمان حذف در مقابل زمان، به ازای سرعت‌های متفاوت چرخش راکتور (دانسیته جریان $CD = ۱۸/۸ A/m^2$ و pH=۷ /٤)، (الف:کدورت=۱۲۰ نفلومتری، الکترود آهنی؛ ب: کدورت=٤۲۰ نفلومتری، الکترود آهنی؛ ج: کدورت=۱۲۰ نفلومتری، الکترود آلومینیومی؛ د: کدورت=٤۲۰، الکترود آلومینیومی)

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]



شکل ٤: اثر زمان واکنش و دانسیته جریان بر روی حذف کدورت (سرعت چرخش ۲/۳rpm)- (الف:کدورت=۱۲۰ نفلومتری، الکترود آهنی؛ ب: کدورت=٤۲۰ نفلومتری، الکترود آهنی؛ ج: کدورت=۱۲۰ نفلومتری، الکترود آلومینیومی؛ د: کدورت=٤۲۰، الکترود آلومینیومی)

زمان بهینه

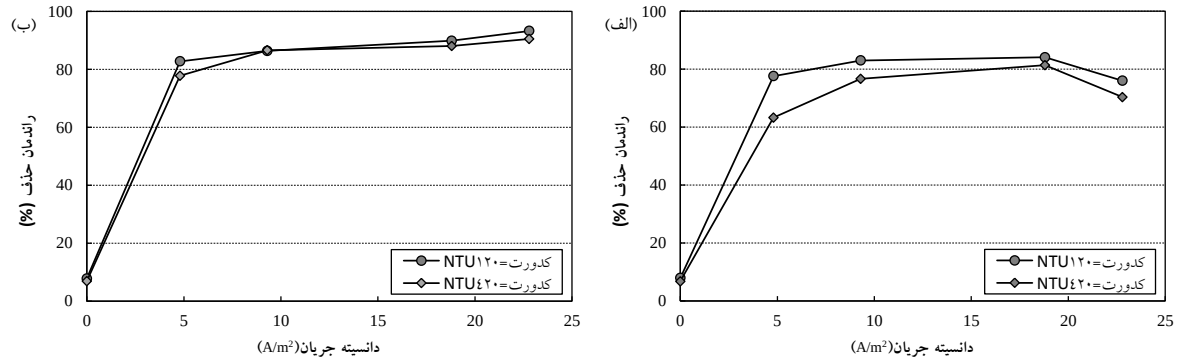
در شکل شماره (٤) نتایج تاثیر زمان واکنش بر راندمان حذف کدورت نشان داده شده است. برای ارزیابی تاثیر زمان واکنش، آزمایشات به مدت ۹۰ دقیقه به طول انجامید و در هر آزمایش ٦ زمان مشخص برای نمونه‌برداری تعیین گردید. نتایج نشان داد که بالاترین راندمان در زمان ۹۰ دقیقه بدست آمده و از آنجاییکه از دقیقه ٦۰ به بعد افزایش راندمان حذف با زمان اندک بوده، زمان واکنش در دقیقه ٦۰ به عنوان زمان واکنش بهینه تعیین گردید.

اثر دانسیته جریان بر روی عملکرد سیستم

دانسیته جریان به عنوان مهمترین پارامتر در بهره‌برداری از روش انعقاد الکتریکی محسوب می‌گردد. این پارامتر مقدار یون‌های فلزی آزاد شده از الکترودها را تعیین می‌نماید و بر روی سایز حباب‌ها و رشد فولکوله‌ها اثرگذار است[۲۲]. به منظور بررسی اثر دانسیته جریان بر روی حذف کدورت، میزان دانسیته جریان در چهار سطح (٤/۸A/m^2، ۹/۳، ۱۸/۸، ۲۲/۸) با استفاده از دستگاه مولد جریان، به همراه آزمون شاهد بدون اعمال جریان الکتریسیته، ایجاد گردید. با ثابت درنظر گرفتن الکترود، میزان کدورت معین، زمان بهینه ٦۰ دقیقه، pH اولیه، دما و هدایت الکتریکی، اثر دانسیته جریان بر روی حذف کدورت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل (۵) می‌توان بیان نمود که برای الکترودهای آهنی با افزایش دانسیته جریان به میزان ۱۸/۸ راندمان حذف کدورت افزایش یافته و از آن پس میزان راندمان حذف در جریان، کاهش یافت. اما این روند در الکترود آلومینیومی همواره دارای روند افزایشی بوده و حداکثر راندمان حذف کدورت در دانسیته جریان ۲۲/۸ بدست آمد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

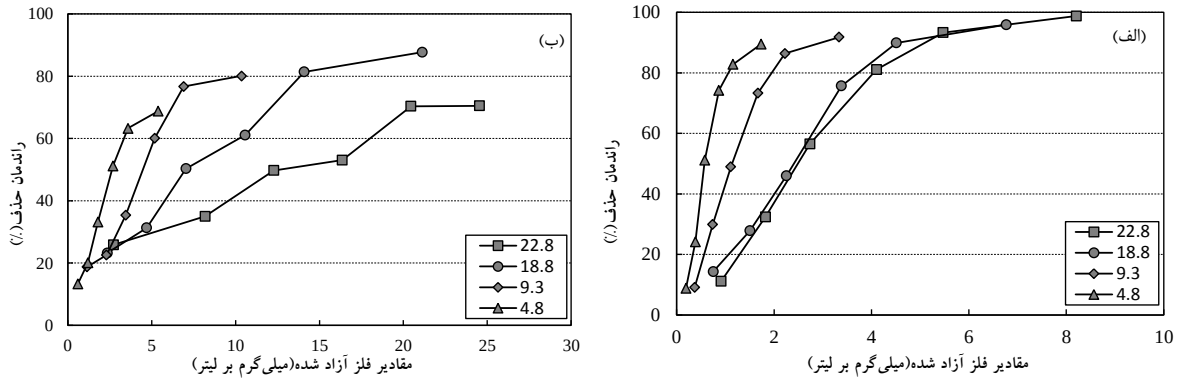


شکل ۵: اثر دانسیته جریان بر روی حذف کدورت (سرعت چرخش ۲/۳rpm، زمان ٦۰ دقیقه)، الف: الکترود آهنی، ب: الکترود آلومینیومی

مقادیر فلز آزاد شده در محلول بر اثر اکسیداسیون مواد آند، تابعی از جریان و زمان بوده و می‌توان آن را مطابق با قانون فارادی محاسبه نمود.

$$w = \frac{itM}{ZF} \qquad (۵)$$

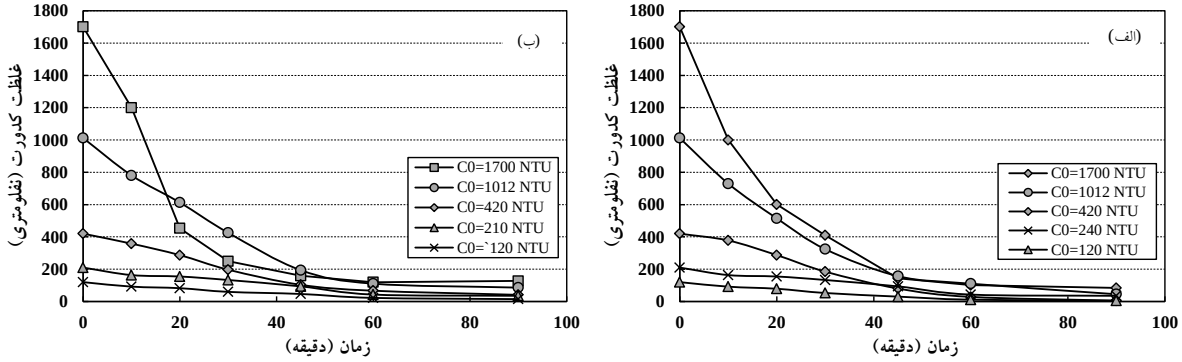
که در این رابطه w فلز انحلال یافته(گرم)، i جریان(آمپر)، t زمان تماس(ثانیه)، M جرم مولکولی (M_{Fe}=۵۵/۸۵ و ۲٦/۹۸ =M_{Al})، Z تعداد الکترون‌های درگیر در واکنش اکسایش-کاهش(Z_{Fe}=۲ و Z_{Al}=۳)، و F ثابت فارادی(۹٦۵۰۰ C/mol) می‌باشد. بر اساس شکل (٦) میزان آهن و آلومینیوم آزاد شده برای شدت جریان‌های متفاوت به عنوان تابعی از درصد حذف کدورت نشان داده شده است. بر اساس این شکل می‌توان مشاهده نمود که در مقادیر شدت جریان پایین راندمان حذف کدورت وابستگی شدیدی به مقادیر آزادسازی فلزات دارد، به عبارت دیگر با افزایش مقدار فلزات آزاد شده راندمان حذف افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده با نتایج تحقیق‌های بوخاری (۲۰۰۸) [۲۳] و مرزوک و همکاران (۲۰۱۰) [۲٤] مطابقت داشته است.



شکل ۶: راندمان حذف کدورت بر اساس مقادیر فلز آزاد شده برای شدت جریان‌های متفاوت (کدورت اولیه ۱۲۰ نفلومتری، سرعت چرخش ۲/۳rpm)، الف: الکترود آلومینیومی، ب: الکترود آهنی

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]



شکل ۷: حذف کدورت در مقابل زمان برای مقادیر غلظت اولیه کدورت متفاوت (دانسیته جریان $8A/m^2$ ،۱۸ =CD ، سرعت چرخش ۲/۳rpm و ۷/٤ =pH)، الف:الکترود آلومینیومی ب: الکترود آهنی

اثر غلظت اولیه کدورت

به منظور بررسی اثر غلظت اولیه کدورت بر راندمان حذف مقادیر کدورت اولیه ۱۲۰، ۲۱۰، ٤۲۰، ۱۰۱۲، و ۱۷۰۰ نفلومتری مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس شکل شماره (۷) با افزایش غلظت اولیه کدورت، راندمان حذف روش انعقاد الکتریکی بر روی حذف کدورت با افزایش همراه بوده است. می‌توان بیان نمود که با افزایش مقادیر کدورت اولیه، میزان ذرات معلق در واحد سیال افزایش یافته و این امر موجب تشکیل سریعتر فولکوله‌های بزرگتر گردیده، که در نهایت با ته‌نشینی موجب افزایش کارایی روش انعقاد الکتریکی می‌گردند. نتایج برای الکترودهای آهنی و آلومینیومی دارای روند مشابهی بوده و در شکل شماره (۷) نشان داده شده است.

اثر جنس الکترودها

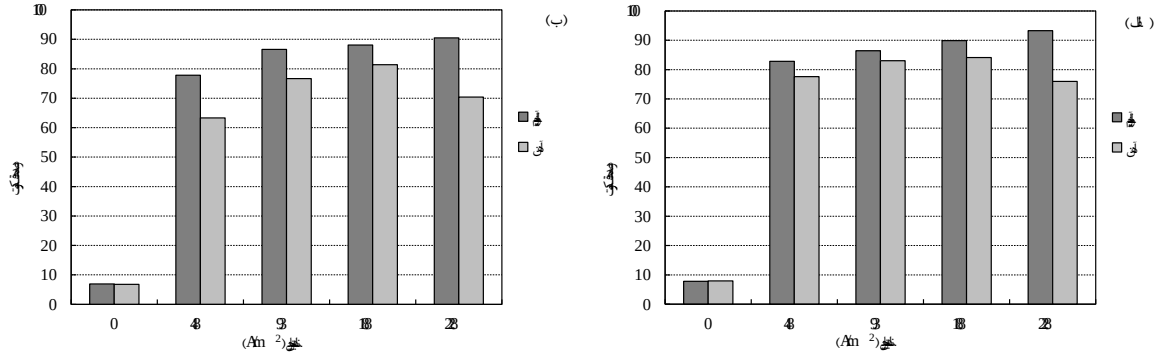
جنس الکترودهای مورد استفاده در این تحقیق از نوع آهن و آلومینیوم بوده است. در شکل شماره (۸) اثر جنس الکترودها بر راندمان حذف کدورت جریان نشان داده شده است. با توجه به این دو نمودار که در دو کدورت جریان (٤۲۰ و ۱۲۰ نفلومتری) و برای ٤ دانسیته جریان ($4/8A/m^2$، ۹/۳، ۱۸/۸، و ۲۲/۸) و همچنین شرایط بدون اعمال جریان الکتریسیته(آزمون شاهد) انجام پذیرفته است، می‌توان نشان داد که راندمان حذف الکترود آلومینیوم نسبت به آهن به میزان بالاتری می‌باشد. برای کدورت ٤۲۰ نفلومتری، حداکثر راندمان حذف برای الکترودهای آلومینیومی و آهنی به ترتیب برابر ۹۳/۳ و ۸٤/۱ درصد، و برای کدورت ۱۲۰ نفلومتری، به ترتیب برابر ۹۰/۵ و ۸۱/٤ درصد می‌باشد. میزان راندمان بالاتر در الکترودهای آلومینیومی نسبت به آهنی به علت این موضوع بوده است که در خلال فرایند اکسیداسیون از الکترودهای آهنی یون‌های قرمز رنگی جداگردیده که افزایش این مواد رنگی موجب کاهش راندمان حذف کدورت جریان می‌گردد.

تغییرات pH در طول آزمایش

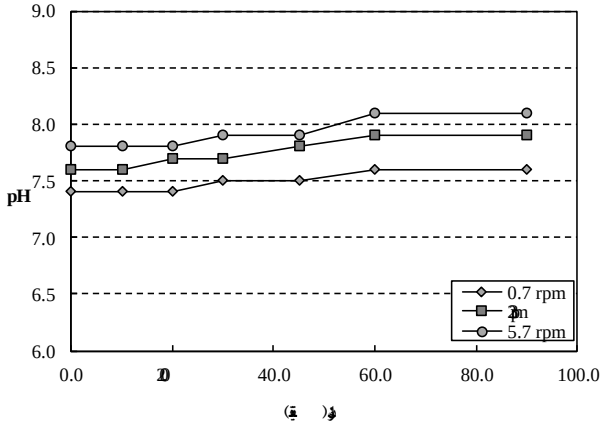
نتایج نشان داد که میزان pH انتهای آزمایش نسبت به pH اولیه در خلال فرایند انعقاد الکتریکی افزایش داشته است. محدوده pH اولیه مورد استفاده بین ۷/٤–۷/۸ بوده است، که بر اساس شکل (۹) این میزان pH تا مقادیر ۸/۲ افزایش یافت.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]



شکل ۸: مقایسه کارایی الکترود آلومینیومی و الکترود آهنی (سرعت چرخش ۲/۳rpm، زمان ۶۰ دقیقه)، الف: کدورت ۴۲۰ نفلومتری، ب: کدورت ۱۲۰ نفلومتری



شکل ۹: تغییرات pH با افزایش زمان، الکترود آهنی(کدورت ۲۱۰ نفلومتری، دانسیته جریان $۱۸/۸A/m^2$)

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که رابطه مستقیم بین کارایی مدل معرفی شده و دانسیته جریان وجود دارد، به طوری که با افزایش دانسیته جریان راندمان حذف کدورت نیز افزایش یافت. بر اساس رابطه شماره (۵) می‌توان بیان نمود که در یک زمان ثابت با افزایش میزان دانسیته جریان نرخ انتقال الکترون و در نتیجه میزان اکسیداسیون و احیا در آند و کاتد افزایش می‌یابد و این موضوع موجب تولید هیدروکسیدهای فلزی، ناپایدارسازی کلوئیدها و در نتیجه افزایش کارایی حذف کدورت خواهد گردید[۱۳، ۲۵، ۲۶]. مطابق با رابطه شماره (۱ و ۲) برای الکترود آلومینیومی، به ترتیب با افزایش تولید کاتیون‌های آلومینیوم (AL^{3+}) در آند و تولید آنیون‌های هیدروکسیل (OH^-) در کاتد، با افزایش زمان فرصت کافی برای تشکیل هیدروکسید آلومینیوم به عنوان منعقدکننده فراهم گشته و موجب افزایش کارایی حذف کدورت می‌گردد[۲۷]. نتایج تحقیق ژائو و همکاران[۲۷]، مرزوک و همکاران[۱۳]، عسگری و همکاران[۲۵] نشان داد که افزایش زمان الکترولیز موجب افزایش حذف کدورت در فرایند می‌گردد. با توجه به شکل (۵) می‌توان بیان نمود که برخلاف الکترود آلومینیومی که با

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

افزایش دانسیته جریان میزان راندمان حذف کدورت همواره افزایش یافته، برای الکترودهای آهنی با افزایش دانسیته جریان به میزان ۱۸/۸ راندمان حذف کدورت افزایش یافته و از آن پس میزان راندمان حذف کاهش یافت.

نتایج مقایسه کارایی دو الکترود آلومینیوم و آهن در شکل شماره (۸) نشان داده شده است. با توجه به واکنش‌های انجام شده الکترود آهن ابتدا با تولید Fe^{2+} رنگ سبزی در نمونه ایجاد کرده و پس از آن با تولید Fe^{3+} درترکیب $Fe(OH)_3$ به رنگ قرمز تبدیل می‌شود، به طوری که علت افزایش کدورت نمونه در دانسیته جریان بیشتر از $18/8A/m^2$ به علت ایجاد این کدورت ثانویه بوده است. علاوه بر این الکترود آهن در مدار باز پوسیده شده و به این علت الکترود آهن ترجیح داده نمی‌شود. در رابطه با الکترود آلومینیوم هدایت الکتریکی بیشتر از الکترود آهنی بوده که موجب تشکیل لخته‌های بزرگتر می‌گردد، و از طرف دیگر هیدروکسیدهای فلزی آلومینیوم نسبت به هیدروکسیدهای آهن پایدارتر بوده و قدرت جذب بالاتری دارد[۲۸]. نتایج تحقیق حاضر نیز مشابه با تحقیقات لی و همکاران[۲۹] و خاندگار و ساروها[۲۸] نشان داد که آلومینیوم انتخاب بهتری خواهد بود، به طوری که در شرایط سرعت چرخش ۲/۳ rpm، زمان واکنش ٦٠ دقیقه، میزان دانسیته جریان $18/8A/m^2$، راندمان حذف کدورت برای الکترود آهن و آلومینیوم به ترتیب برابر ٨٤/١ و ۹۳/۳ درصد بدست آمد. نتایج مطالعات پیشین، ارائه شده در جدول (۲)، نیز این موضوع را نشان می‌دهد.

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان بهینه سرعت چرخش برای مدل پیشنهادی برابر ۲/۳ rpm می‌باشد، این سرعت شرایط را به گونه‌ای فراهم آورده که علی‌رغم همگن‌شدن نمونه و افزایش برخورد یون‌های انعقادی به ذرات کلوئیدی، امکان ته‌نشینی همگن برای ذرات فولکوله شده نیز فراهم گردد. در سرعت‌های بیشتر به علت متلاشی شدن فولکوله‌ها میزان جذب کدورت و ته‌نشینی کاهش می‌یابد. تحقیقات گذشته نیز اثرات مشابهی را در زمان افزایش سرعت اختلاط نشان می‌دهند[۳۰، ۳۱، ۳۲].

pH یکی از پارامترهای مهم و اثرگذار در واکنش‌های شیمیایی می‌باشد. با توجه به نتایج تحقیقات گذشته بهترین شرایط pH برای حذف کدورت در محدوده خنثی و طبیعی می‌باشد[۲٦]، به این علت که در pH خنثی اکثر یون‌های آهن و آلومینیوم حالت $Fe(OH)_3$ و $Al(OH)_2$ داشته که حالت رسوبی بوده و آلاینده‌ها با جذب بر روی این لخته‌ها امکان شناورسازی و ته‌نشینی دارند. نتایج بررسی تغییرات pH در خلال فرایند انعقاد الکتریکی نیز نشان داد که میزان pH نمونه همراه با افزایش بوده است. مطابق با تحقیق چو و همکاران[۳۳] هیدروکسیدهای آلومینیوم مسئول افزایش pH در خلال فرایند می‌باشند.

شکل (۷) نشان می‌دهد که با افزایش کدورت اولیه، کارایی فرایند انعقاد الکتریکی در حذف کدورت افزایش یافت. علت را اینگونه می‌توان بیان نمود که یون‌های تولید شده در فرایند انعقاد الکتریکی دارای بار مثبت بوده و در اثر مکانیسم جذب سطحی و خنثی کردن بارها، بارهای منفی ذرات معلق در آب را خنثی کرده و رسوب می‌دهد[۳٤]، و هر چه کدورت افزایش یابد احتمال برخورد ذرات با یون‌ها افزایش یافته و با شکل‌گیری لخته‌های بزرگتر موجب ترسیب لخته‌ها می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر با تحقیق قربانیان و همکاران [۱٦] مشابه بوده و در تضاد با نتایج تحقیق عسگری و همکاران [۲۵] بوده، که نشان دادند که با کاهش میزان کدورت ورودی از NTU ۱۲۰۰ به NTU ۳۰۰ میزان حذف کدورت افزایش یافته است.

یکی از پارامترهای موثر در بررسی روش انعقاد الکتریکی، انرژی مصرفی می‌باشد. بر اساس معادله (٦) هرچه زمان واکنش و شدت جریان بیشتر باشد، انرژی مصرفی نیز افزایش می‌یابد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

$$EN_C = \frac{ItU}{V} \quad (٦)$$

در این معادله EN_C میزان انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب وات ساعت بر متر مکعب، I جریان اعمال شده بر حسب آمپر، t زمان الکترولیز بر حسب ساعت، U ولتاژ اعمال شده بر حسب ولت، و V حجم محلول بر حسب متر مکعب می‌باشد[۳۵].

به منظور مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعات پیشین اطلاعات مربوط به هر یک از پارامترها در جدول (۲) ارائه شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات گذشته نه تنها نتایج مناسبی در راندمان حذف کدورت، در مقایسه با سایر مطالعات، بدست داده است، بلکه میزان انرژی مصرفی در شرایط بهینه راندمان حذف (برای الکترودهای آلومینیومی و آهنی، به ترتیب برابر ۰/۵۳ و ۰/٤۳ کیلووات ساعت بر مترمکعب)، نیز میزان بسیار مناسبی داشته و این خود موجب کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و لجن تولیدی خواهد گردید.

جدول ۲: مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات گذشته در استفاده از روش انعقاد الکتریکی در حذف کدورت

ردیف	نمونه مورد استفاده (واقعی یا مدل)	تعداد- نوع الکترودها	فاصله الکترودها (Cm)	حجم نمونه (لیتر)	غلظت اولیه	زمان بهره برداری(دقیقه)	جریان/ ولتاژ/ دانسیته جریان	تعداد آزمایشات	ph	انرژی مصرفی (kwh/m^3)	راندمان حذف(٪)	منبع
۱	فاضلاب شهری	۲ -فولاد ضد زنگ	۳	۱/۲	۵۱ NTU	۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰	(۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۸) A	۲۵	۷	-	۹۲/۵	۲۳
۲	پساب فیلترهای شست شوی برگشتی	۴ الکترود موازی- آهن و آلومینیوم	۱/۵	۷/۳۵	۳۲۰- ۴۰۰ NTU	۱۰، ۲۰ و۳۰	(۱، ۱/۴، ۱/۸، ۲، ۲/۴، ۲/۸ و ۳/۲) A	۱۲۰	۸/۲	۵/۴	آلومینیوم:۹۵/۱۲ آهن:۸۷/۴	۱۷
۳	نمونه رسوبات معادن همدان	۶- آهن، آلومینیوم، فولاد ضد زنگ	۲	۰/۲۵	۷۰۰- ۱۰۰۰ NTU	۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰	(۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰) V mA(۴۰۰-۵۰)	-	۵/۷	-	آلومینیوم: ۹۳ آهن:۹۱ فولاد:۵۱	۳۶
۴	خاک رس کوبیده شده	۲- آلومینیومی	۲	۱	۱۰۰۰- ۳۰۰۰ NTU	۱ - ۱۵	mA(۵تا۱)	-	۷	۱۲۶	۹۹/۳۶	۱۶
۵	آب آشامیدنی با ترکیب بنتونیت	۴ الکترود موازی- آهن و آلومینیوم	۶	۶	۱۲۰۰ NTU	۵ - ۳۰	V(۳۰تا۱۰)	-	۳ تا ۱۲	-	آلومینیوم: ۶۸ آهن: ۶۷	۲۵
۶	خاک رس	۴ الکترود موازی- آهن و آلومینیوم	۱/۵	۷/۳	۵۰۰ NTU	۱۰، ۲۰ و ۳۰	(۰/۸، ۱/۶، و ۳/۲) A	۵۴	۳، ۷، ۱۱	-	آلومینیوم:۹۷/۶ آهن: ۸۹/۹	۲۶
۷	فاضلاب سنگ‌شکن	۴ الکترود موازی و سری- آهن و آلومینیوم	۰/	۰/۲۵	۷۰۰- ۸۵۰ NTU	۱، ۲، و ۳	(۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰) A/m^2	-	۶، ۷، ۸، ۹	آلومینیوم:۰/۳ آهن: ۰/۲۲	آلومینیوم>۹۸ آهن>۹۵	۱۴

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

ادامه جدول ۲: مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات گذشته در استفاده از روش انعقاد الکتریکی در حذف کدورت

ردیف	نمونه مورد استفاده (واقعی یا مدل)	تعداد- نوع الکترودها	فاصله الکترودها (Cm)	حجم نمونه (لیتر)	غلظت اولیه	زمان بهره برداری(دقیقه)	جریان/ ولتاژ/ دانسیته جریان	تعداد آزمایشات	ph	انرژی مصرفی (kwh/m^3)	راندمان حذف(٪)	منبع
۸	نمونه از رودخانه	۲- آهن و آلومینیوم	۱ و ۲	۱	۲۸ PPM	۱۰، ۲۰ و ۳۰	(۳۵ تا ۷۰) A/m^2	-	۶/۷	-	آلومینیوم: ۴۵ آهن: ۳۰	۳۷
۹	پساب کشتارگاه	۵ -آهن و آلومینیوم	۲	۱/۸	۳۰۲- ۱۱۶۹ NTU	۱۰	(۱۶۳ تا ۵۷۵) A/m^2	۲۲	۶ و ۷	آلومینیوم: ۱۱/۷ آهن: ۹/۹	آلومینیوم: ۹۱ آهن: ۹۱	۳۸
۱۰	آب آشامیدنی با ترکیب خاک رس (سد پیربلوط)	۶ -آهن و آلومینیوم	۳	۳۷۷	۱۰۰- ۴۲۰ NTU	۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰	(۳/۷ تا ۲۲/۸) A/m^2	۴۰	۷/۴- ۷/۸	آلومینیوم: ۵۳/۰ آهن: ۴۳/۰	آلومینیوم: ۹۳/۳ آهن: ۸۴/۱	تحقیق حاضر

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، میزان حذف کدورت جریان با استفاده از روش انعقاد الکتریکی در یک راکتور دوار ناپیوسته جریان مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها حاکی از آن است که پارامترهای عملیاتی هم‌چون دانسیته جریان، سرعت چرخش راکتور، جنس الکترودها، و غلظت اولیه کدورت بر کارایی حذف کدورت جریان تاثیرگذار می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که پارامترهای بهینه بهره‌برداری شامل جنس الکترود آلومینیومی، زمان بهینه ٦٠ دقیقه، سرعت چرخش ۲/۳ rpm و شدت جریان $18/8 A/m^2$ بدست آمد. بر این اساس بالاترین میزان حذف کدورت در شرایط بهینه برای الکترودهای آهنی و آلومینیومی به ترتیب برابر با ۸٤/۱ و ۹۳/۳ درصد بدست آمد. به طور کل مدل پیشنهادی در این تحقیق نشان داد که کارایی بالایی را در حذف کدورت از جریان داشته و ضمن سهولت کاربری قادر به حذف بالای کدورت جریان از محیط‌های آبی بوده و کاربرد این مدل جهت استفاده در تصفیه‌خانه‌های آب شرب توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام پذیرفته و نویسندگان مقاله حاضر از مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد برای حمایت از این تحقیق جهت انجام آزمایشات تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

1. Yang T, Qiao B, Li GC, Yang QY. Improving performance of dynamic membrane assisted by electrocoagulation for treatment of oily wastewater: Effect of electrolytic conditions. Desalination 2015;363:134-43.
2. Kobya M, Can OT, Bayramoglu M. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. J Hazard Mater 2003 ;100(1-3):163-78.
3. García-García A, Martínez-Miranda V, Martínez-Cienfuegos IG, et all. Industrial wastewater treatment by electrocoagulation–electrooxidation processes powered by solar cells. Fuel 2015;149:46-54.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

4. Al-Shannag M, Al-Qodah Z, Bani-Melhem K, et all. Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance. Chem Eng J 2015; 260:749-756.

5. Govindan K, Noel M. and Mohan R. Removal of nitrate ion from water by electrochemical approaches. J Water Proc Eng 2015; 6:58-63.

6. Attour A, Touati M, Tlili M, et all. Influence of operating parameters on phosphate removal from water by electrocoagulation using aluminum electrodes. Sep Purif Technol 2014; 123:124-129.

7. Emamjomeh MM, Sivakumar M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/ flotation processes. J Environ Manage 2009; 90(5):1663-1679.

8. Mollah MY, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC) science and applications. J Hazard Mater. 2001; 84:29-41.

9. Balasubramanian N, Srinivasakannan C. Electrocoagulation electrofloatation: fundamentals, present and future perspectives, in: Electrolysis: Theory, Types and Application. Nova Sci Pub, Inc .2010, 1-17.

10. Balmer L.M, Foulds A.W. Separating Oil From Oil- in-Water Emulsions by Electroflocculation/Electrocoagulation. J Filtr Sep. 1986; 23(6).

11. Paul A.B. Electrolytic Treatment of Turbid Water in Package Plant. 22th WEDC Conference. New Delhi. 1996.

12. Mills D. A New Process for Electrocoagulation. J Am Water Works Assoc. 2000; 92(6).

13. Merzouk, B., Gourich, B., Sekki, A., Madani, K. and Chibane, M. Removal turbidity and separation of heavy metals using electrocoagulation–electroflotation technique: A case study. J Hazard Mater. 2009; 164(1):215-222.

14. Solak M, Kılıç M, Hüseyin Y, Şencan A. Removal of suspended solids and turbidity from marble processing wastewaters by electrocoagulation: Comparison of electrode materials and electrode connection systems. J Hazard Mater 2009; 172(1):345-352.

15. Baghvand A, Zand A.D, Mehrdadi N, Karbassi A. Optimizing coagulation process for low to high turbidity waters using aluminum and iron salts. J Environ Sci. 2010; 6(5): 442-448.

16. Ghorbanian M, Moussavi G, Hosseiny Z. Investigating the removal of high turbidity from water by electrocoagulation. J Med Sab Sci 2015; 22(1):7-16. [In Persian]

17. Jafari Mansoorian H, Ansari M, Ahmadi E, Majidi G. Assessment of a Continuous Electrocoagulation on Turbidity Removal from Spent Filter Backwash Water. Arch Hyg Sci 2016; 5(2):102-110.

18. Mollah M.Y.A, Morkovsky P, Gomes J.A.G, et all. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. J. Hazard. Mater. 2004;114: 199-210.

19. Partheniades E. Cohesive Sediment in Open Channels (1st ed). Elsevier. Burlington. USA. 2009.

20. Huang J, Hilldate R.C, Greiman B.P. Erosion and Sedimentation Manual. U.S. Department of the interior. United States Bureau of Reclamation. 2006.

21. Federation WE, American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA). Washington, DC, USA. 2005.

22. Hamdan S.S, El-Naas M.H. Characterization of the removal of Chromium(VI) from groundwater by electrocoagulation. J Ind Eng Chem. 2014: 20(5): 2775-2781.

23. Bukhari A.A. Investigation of the electro-coagulation treatment process for the removal of total suspended solids and turbidity from municipal wastewater. Bioresource technol. 2008; 99(5):914-921.

24. Merzouk B, Madani K, Sekki A. Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. Desalination. 2010; 250(2):573-577.

25. Asgari G, Seid M.A, Roshanie G.A, et all. Electrocoagulation (ec) and electrocoagulation/flotation (ecf) processes for removing high turbidity from surface water using Al and Fe electrodes. 2013; 62-69.

26. Isanloo H, Mohseni S.M, Nazari S, et all. Efficiency of electrical coagulation process in reduction of water turbidity. J Health. 2014; 5(1):pp.67-74.

27. Zhao S, Huang G, Cheng G, et all. COD and turbidity removals from produced water by electrocoagulation pretreatment prior to Reverse Osmosis membranes. Desalination 2014; 344:454-62.

28. Khandegar V, Saroha AK. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent–a review. J Environ Manage 2013; 128:949-963.

29. Lee PC, Gau SH, Song CC. Particle removal of high-turbidity reservoir water by electroaggregation. J Environ Manage. 2007; 17 (6): 371-375.

30. Bayar S, Yıldız Y.Ş, Yılmaz A.E, İrdemez Ş. The effect of stirring speed and current density on removal efficiency of poultry slaughterhouse wastewater by electrocoagulation method. Desalination. 2011;280(1): 103-107.

31. Gürses A, Yalçin M, Doğar C. Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables. Waste manage. 2002; 22(5): 491-499.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

32. Daneshvar N, Sorkhabi H.A, Tizpar A. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. Sep Purif Tech. 2003; 31(2): 153-162.

33. Chou WL, Wang CT, Chang SY. Study of COD and turbidity removal from real oxide-CMP wastewater by iron electrocoagulation and the evaluation of specific energy consumption. J Hazard Mater. 2009;168(2-3):1200-1207.

34. Mansourpanah Y, Kakoie E, Kakanejadifard A. Water and wastewater treatment. Qom: Manshore Seidy;2000. [Persian]

35. El-Shazly A.H, Al-Zahrani A.A, and Al-Shahrani S.S. Improvement of NO3-removal from wastewater by using batch electrocoagulation unit with vertical monopolar aluminum electrodes. Int J Electrochem Sci. 2016;4141-4149.

36. Rahmani A.R. Removal of water turbidity by the electrocoagulation method. J res health sci. 2008; 8(1): 18-24.

37. Mohanty S, Othman F, and Nazmi AR. Suspended Solids Sedimentation of River Water Influenced by Electrocoagulation. International Conference on Transport, Civil, Architecture and Environment engineering. 2012; 26-27.

38. Mores R, Treichel H, Zakrzevski C.A, et all. Remove of phosphorous and turbidity of swine wastewater using electrocoagulation under continuous flow. Sep Purif Tech. 2016; 171:112-117.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]

Journal of Environmental Health Engineering, February 2019; Vol. 7, No. 2: 195-210

Evaluation of Rotary Reactor Model Performance to Removal Turbidity from Aqueous Environments by Electrocoagulation Method

Saleh Riahi[1*], Seyed Ali Ayyoubzadeh[2], Hossein Samadi-Boroujeni[3], Gholamreza Moussavi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Water Structures Engineering, Tarbiat Modares Univesity, Tehran, Iran
2. Professor, Department of Water Structures Engineering, Tarbiat Modares Univesity, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Dept. of Water Engineering, Shahrekord Univ., Charmahal Bakhtiari, Iran
4. Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

**** E-mail: Saleh.riahi@ut.ac.ir***

Received: 15 Feb. 2019 ; Accepted: 2 Nov. 2019

ABSTRACT

Background & Objectives: One of the most important problems facing the water treatment plants is seasonal turbidity removal from the drinking surface waters. In this work, the efficiency of turbidity removal from water surface has been studied using a batch rotary reactor model and electrocoagulation process and different electrodes including iron and aluminum were tested. Finally, the optimum values of the studied parameters were evaluated at different operating conditions.

Methods: In order to eliminate the turbidity from drinking water, the discontinuous rotary reactor model with monopolar electrodes was used in parallel connection. The sample volume in the experiments was 377 liters, and the rotation of the model caused all fluid particles, sediments, and contaminants to be homogeneously touched with the electrodes. This model provided a higher efficiency of turbidity removal due to not having pump blades and return pipes.

Results: Results of this study showed that the maximum efficiency of turbidity removal from drinking water would be achieved by using the material of aluminum for electrode and considering time duration of 60 min, rotation speed of the model equal to 1.3 rpm, current density of 18.8 A/m^2 in pH=7.4 and electrode gap distance of 3 cm. At these conditions the maximum turbidity removal efficiency was obtained 84.1 and 93.3% for the iron and aluminum electrodes, respectively.

Conclusion: Results of this work showed that the proposed batch rotary reactor model, in addition to its easy application, is able to remove turbidity from the aqueous solutions at a the high efficiency. Therefore this model would be strongly suggested for application in drinking water treatment plants.

Keywords: Electrocoagulation, Turbidity, Pollution treatment, Batch rotary reactor model

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.29252/jehe.7.2.195]