ارزیابی کارآیی فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی از فاضلاب مصنوعی با استفاده از الکترودهای آهن و کربن

یعقوب حاجی زاده [۱]، محسن رضایی [۲]، یوسف پورعشق [۳]، مرضیه وحید دستجردی [۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌های صنعتی از جمله کروم (VI)، از آلاینده‌های اصلی برای محیط زیست به شمار می رود. این تحقیق با هدف ارزیابی کارایی فرآیند الکتروشیمیایی با مقایسه عملکرد دو الکترود آهن و کربن جهت حذف کروم (VI) از پساب مصنوعی انجام گرفت.

روش‌ها: یک سلول از جنس پلکسی گلاس با حجم ۱/۹۵ لیتر حاوی دو نوع الکترود آهن و گرافیت هادی جریان برق هر کدام با ابعاد ۱۰×۳×۰/۱ سانتی‌متر (ضخامت×عرض×ارتفاع) طراحی و ساخته شد ومورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌ها در شرایط مختلف pH، غلظت‌های ورودی کروم شش ظرفیتی، مقادیر مختلف الکترولیت و شدت متنوعی از جریان الکتریسیته، در زمان‌های ماند مشخص انجام گردید. سنجش کروم (VI) نمونه‌ها با استفاده از روش استاندارد دی فنیل هیدرازین انجام گرفت.

یافته‌ها: راندمان حذف حداکثر با الکترود آهن و کربن به‌ترتیب در محدوده ۹۹/۸٪ و ۸۸/۳٪ مشاهده گردید. کمترین میزان کروم Cr^{+3} خروجی برای الکترود آهن و در حدود ۰/۰۵ mg/l ثبت گردید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصله نشان داد که در بهره برداری از یک سلول الکتروشیمیایی، راندمان حذف کروم شش ظرفیتی بوسیله الکترود آهن در شرایط فرآیندی یکسان بیشتر از الکترود کربن است. به‌طور کلی این روش علی‌رغم مصرف زیاد انرژی الکتریکی، راندمان قابل قبولی در حذف کروم شش ظرفیتی از پساب‌های دست‌ساز در مقیاس آزمایشگاهی دارد و می تواند یکی از روش های بالقوه در حذف فلزات سنگین در مقیاس صنعتی باشد.

واژه‌های کلیدی: کروم شش ظرفیتی، پساب‌های صنعتی، تصفیه الکتروشیمیایی

ارجاع: حاجی‌زاده یعقوب، رضایی محسن، پورعشق یوسف، وحید دستجردی مرضیه. **ارزیابی کارآیی فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی از فاضلاب مصنوعی با استفاده از الکترودهای آهن و کربن.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۳؛ ۱۰(۲): ۳۷۵-۳۶۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۲۹ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰**

۱- استادیار، عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)

Email: mohsen.rezaei@bk.ru

۳- دانشجوی دکترای مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۴- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

مقدمه

استفاده وسیع از فلزات سنگین بوسیله صنایع باعث تخلیه مقدار زیادی از این عناصر به محیط زیست شده است (۱). ترکیبات کروم در طبیعت عمدتاً به اشکال کروم شش ظرفیتی و سه ظرفیتی یافت می‌شوند (۲) و احتمالاً بیشترین ترکیبات کروم شش ظرفیتی در محلول‌های آبی $Cr_2O_7^{-2}$, $^{-2}$ $HCr_2O_4^-$,Cr2O هستند (۳). مطالعات مختلف نشان داده که ترکیبات کروم سرطان‌زا و جهش‌زا هستند (۶- ۴، ۲، ۱).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (USEPA)، غلظت اولیه کروم شش و سه ظرفیتی را برای تخلیه به منابع آبی به ترتیب ۰/۰۵ mg/l و ۰/۱ mg/l اعلام نموده است (۶، ۲). بر اساس این قانون تقریباً تمام صنایعی که از کروم برای فرایندهای صنعتی خود استفاده می‌کنند ملزم به اعمال پیش تصفیه پساب تولیدی قبل از تخلیه به محیط زیست می‌باشند (۲). کروم به طور وسیعی در صنایع فلزی، آبکاری، نوار مغناطیسی، رنگدانه، جوهر برای چاپ، دباغی، صفحه مدارهای چاپی، رنگ‌کاری، حفاظت چوب، تجهیزات الکتریکی و به عنوان کاتالیست کاربرد دارد، در نتیجه مقدار زیادی فاضلاب حاوی کروم به محیط زیست تخلیه می شود (۶ -۴، ۲، ۱).

تا به حال روش‌های متعددی به منظور حذف کروم از فاضلاب مورد مطالعه قرار گرفته است. انعقاد شیمیایی، جذب روی جاذب‌ها (مانند کربن فعال)، تبادل یون، تثبیت به‌وسیله غشای میکروبی، فرایندهای غشایی (اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس و غیره)، استخراج حلال و روش‌های الکتروشیمیایی (ترسیب و لخته‌سازی الکتروشیمیایی و غیره) از جمله این روش‌ها هستند(۷، ۲، ۱). اگرچه این روش‌ها در حذف کروم از محلول‌های آبی کاملاً رضایت‌بخش هستند ولی مشکلات رو به افزایش این روش‌ها استفاده از تجهیزات زیاد، انرژی بالا، افزایش هزینه، تولید آلودگی ثانویه و پساب سمی است (۹ – ۸، ۲). با توجه به پیشرفت دانش بشری در دهه‌های اخیر در زمینه تصفیه پساب، روش‌های کارامدتر با راندمان بالاتر تحت عنوان تصفیه پیشرفته جهت تصفیه پساب مورد استفاده قرار گرفته است. فرایندهای تصفیه پیشرفته فاضلاب از جمله روش‌های الکتروشیمیایی، دارای مزایای متعددی هستند که مهم‌ترین آن‌ها سازگاری با محیط زیست، چند منظوره بودن، بازدهی انرژی، ایمن بودن، انتخاب‌گری، سازگار با ماشینی شدن، راهبری آسان و سادگی بهره‌برداری، سرعت بالا، زمان ماند کوتاه جهت حذف آلاینده‌ها، کاهش تولید لجن به دلیل کم آب بودن لجن تولیدی، نیاز به فضای اندک جهت نصب تجهیزات، عدم نیاز به تنظیم خصوصیات شیمیایی فاضلاب، هزینه تجهیزات و بهره‌برداری پایین سیستم، نیاز کم به مصرف مواد شیمیایی و متعاقب آن عدم تولید آلاینده‌های ثانویه و ارزانی نسبی می‌باشند (۱۱-۱۰، ۸، ۶). علی‌رغم مزایای ذکر شده این روش دارای معایبی همچون استفاده زیاد از انرژی الکتریکی تولید لجن زیاد و از دست رفتن الکترودها در اثر خورندگی می‌باشد (۱۲).

اصول کلی این روش به این صورت است که با اعمال جریان برق یون‌ها تحت شرایط الکتریکی تحمیلی به سمت الکترود مخالف حرکت می‌کنند (۲). واکنش‌های اصلی الکتروشیمیایی که در آند و کاتد اتفاق می‌افتد در زیر خلاصه شده است:

در کاتد (۱) $M^{+n} + ne \longrightarrow M + 2e$

در آند (۲) $2H_2O \longrightarrow O_2 + 4H^+ + 4e$

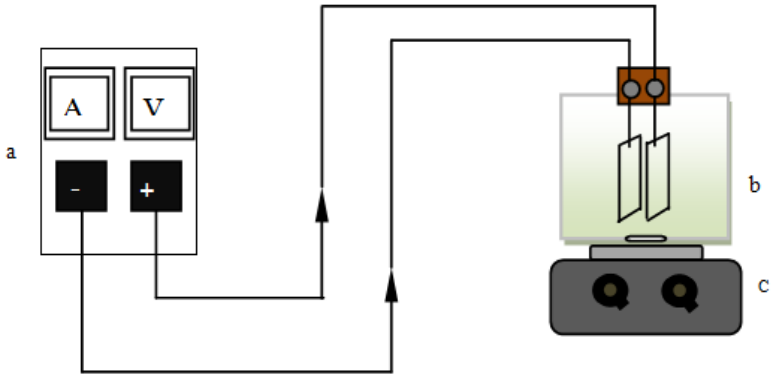
در فرایند الکتروشیمیایی آلاینده‌های فلزی بصورت لخته‌های هیدروکسید رسوب کرده، جدا می‌شوند و آلاینده‌های آلی نیز به لخته‌های هیدروکسید تشکیل شده جذب می‌شوند. این دو مکانیسم به حذف انواع مختلفی از آلاینده‌ها کمک می‌کنند (۸). در سال‌های اخیر تحقیقات متنوعی بر روی استفاده از این روش و استفاده از مواد مختلف به عنوان الکترود در رآکتور شیمیایی انجام گرفته است (۱۹– ۱۳، ۸). هدف از این تحقیق بررسی کارایی سلول الکتروشیمیایی برای تصفیه کروم شش ظرفیتی از فاضلاب سنتتیک با استفاده از الکترودهای آهن و کربن و تحت شرایط مختلف فرآیندی می‌باشد.

روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی بوده و در یک سیستم بسته در مقیاس آزمایشگاهی در محل آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انجام گردید. به منظور این کار سلولی با ابعاد ۱۳×۱۰×۱۵ سانتی‌متر (طول×عرض×ارتفاع) با حجم ۱/۹۵ لیتر از جنس پلکسی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

گلاس و الکترودهایی از جنس آهن و کربن هادی جریان برق هرکدام با ابعاد ۱۰×۳×۰/۱ سانتی‌متر (ارتفاع×عرض×ضخامت) با مساحت مستغرق ۲۷ سانتی‌متر مربع طراحی، ساخت و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. فرآیند تصفیه الکتروشیمیایی با استفاده از عناصر آهن و کربن به عنوان الکترود با هدف تعیین بهترین و کارامدترین نوع الکترود در شرایط مختلفی از آزمایش با تغییر پارامترهایی شامل pH (در محدوده ۲تا ۸)، دانسیته جریان (در محدوده ۱۰تا۴۰ ولت)، زمان واکنش (در محدوده ۱۵ تا ۶۵ دقیقه)، الکترولیت NaCl (در محدوده ۱تا ۴ g/l) و غلظت‌های اولیه متفاوت کروم (VI) (در محدوده ۱۰۰ تا۴۰۰ mg/l) انجام گردید.



شکل ۱. شماتیک فرایند الکتروشیمیایی. (a) منبع تغذیه، (b) سلول الکتروشیمیایی و (c) همزن مغناطیسی.

جهت تعیین پارامترهای بهینه تأثیرگذار در عملکرد فرایند الکتروشیمیایی، آزمایش‌ها در دو مرحله مختلف اجرا گردید. در مرحله اول از دو الکترود آهن به‌عنوان تنها الکترودهای (آهن به‌عنوان آند و کاتد) انجام‌دهنده عمل تصفیه استفاده شد و این مرحله خود در چهار گام اجرا گردید. در مرحله دوم نیز فقط از دو الکترود کربن جهت تصفیه استفاده شد که این مرحله نیز همانند مرحله اول در چهار گام مشابه به انجام رسید. در گام اول تا سوم برای هر دو مرحله به ترتیب pH ، دانسیته جریان و میزان الکترولیت بهینه، انتخاب شدند و در گام چهارم آزمایش، اثر غلظت‌های مختلف کروم ورودی در شرایط بهینه‌ی بدست آمده در گام‌های قبل مورد آزمایش قرار گرفت. بعد از هر مرحله از آزمایش الکترودها با اسید سولفوریک ۱ مولار و آب شستشو داده و تمیز شدند. با توجه به نتایج مطالعات اخیر در این زمینه فاصله ۱ سانتیمتر به عنوان فاصله مناسب مابین دو الکترود برای تمامی آزمایش‌ها انتخاب گردید. همچنین فاصله الکترودها از کف سلول، ۲ سانتیمتر در نظر گرفته شد. تمامی آزمایش‌ها در دمای اتاق ($۲۵^{\circ}c$) با یک تنظیم‌کننده دما انجام گردید. در هر مرحله از آزمایش میزان مشخصی از دی کرومات پتاسیم ($K2Cr2O_7$) را در آب مقطر حل نموده و در نهایت ۱/۵ لیتر از محلول کروم شش ظرفیتی با غلظت مشخص به داخل سلول الکتروشیمیایی تزریق شد. در تمامی آزمایش‌ها، اختلاط محلول از طریق همزن مگنتیک با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه انجام شد. پس از گذشت مدت زمان لازم برای اتمام هر بار آزمایش با استفاده از پیپت مدرج اقدام به نمونه‌برداری کرده و نمونه‌ها جهت جداسازی جامدات تشکیل شده در طی آزمایش

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

با استفاده از صافی غشایی ۰/۴ میکرونی فیلتر شدند. غلظت کروم شش ظرفیتی در تمامی نمونه‌های فیلترشده براساس دستورالعمل کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب با بهره‌گیری از روش دی‌فنیل‌هیدرازین و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری (DR5000-HACH LANGE Co.) تعیین مقدار شد (۲۰). سنجش Cr^{3+} و آهن محلول با استفاده از روش جذب اتمی (Perkin Elmer) انجام شد. برای محاسبه راندمان حذف (X) از معادله زیر استفاده گردید:

$$X\ (\%) = (C0 - C) / C0 \times 100$$

در این فرمول C_0 غلظت اولیه کروم شش ظرفیتی و C غلظت کروم شش ظرفیتی در زمان t است. جریان برق بوسیله یک منبع تغذیه ترانسفورماتور (مبدل جریان متناوب به جریان مستقیم) تأمین شد. pH نمونه‌ها از طریق pH متر (مدل Cyberscan Co.-1500) اندازه‌گیری شد و برای تنظیم pH از اسید سولفوریک ۱۰٪ و هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده گردید. شماتیک فرآیند در شکل ۱ نشان داده شده است.

یافته‌ها

از مجموع در pH اولیه ۲ میزان حذف و احیای Cr^{6+} در هر دو مرحله بهره‌برداری، از درصد بالایی نسبت به pHهای بالاتر از آن برخوردار است. مطابق نمودارهای ۲a و ۳a میزان حذف کروم در این pH برای دو مرحله آزمایش به ترتیب در حدود ۹۹/۸٪ و ۸۸/۳٪ ثبت گردید. کمترین مقادیر Cr^{+3} در پساب خروجی از سیستم در دو مرحله آزمایش با الکترود آهن و کربن به ترتیب در حدود ۰/۰۵ و ۱/۱۷ mg/l در pH اولیه ۸ و زمان ماند ۶۰ دقیقه به‌دست آمد. کمترین غلظت آهن محلول در پساب خروجی برای الکترود آهن در حدود mg/l ۱/۷ در pH اولیه ۸ با غلظت ورودی کروم mg/l ۱۰۰، شدت جریان ۳ آمپر، میزان الکترولیت g/l ۴ و در زمان ماند ۱۵ دقیقه ثبت گردید. نتایج مربوط Cr^{+3} و آهن محلول در پساب خروجی در جدول ۱ و ۲ ارایه شده است.

مقادیر افزایش pH در مطالعه حاضر در تمامی آزمایش‌هایی که در شرایط ثابتی از غلظت ورودی کروم، شدت جریان و میزان الکترولیت به منظور تعیین pH بهینه انجام گردیدند، مقادیر مختلفی را نشان دادند. در آزمایش‌هایی که در pH اولیه ۲ انجام شدند پس از ۶۰ دقیقه از فرایند، میزان افزایش pH برای هر دو الکترود آهن و کربن به‌طور کلی حداکثر تا حدود ۵ افزایش یافت. در این مرحله از آزمایش‌ها رؤیت رسوبات هیدروکسید کروم نسبتاً کمتر از آزمایش‌های دیگری بود که با pH اولیه بالاتر از ۲ انجام گردیدند و این رسوبات پس از ۴۰ دقیقه از فرایند مشاهده شدند. حداکثر افزایش pH در pH اولیه ۴، در آزمایش‌هایی که در این pH ۴ به انجام رسیدند معمولاً تا حدود ۷ بود. ترسیب هیدروکسیدهای کروم در این pH حدوداً پس از ۲۵ دقیقه شروع شد. در آزمایش‌هایی که در pH اولیه ۶ ادامه یافتند افزایش pH حداکثر تا ۹ افزایش یافت و رؤیت رسوبات هیدروکسید کروم در این مرحله تقریباً پس از ۲۰ دقیقه شروع شد. در pH اولیه ۸ بیشترین میزان رسوب مشاهده شد و افزایش pH برای دو الکترود تا حدود ۱۱/۴ امکان‌پذیر شد.

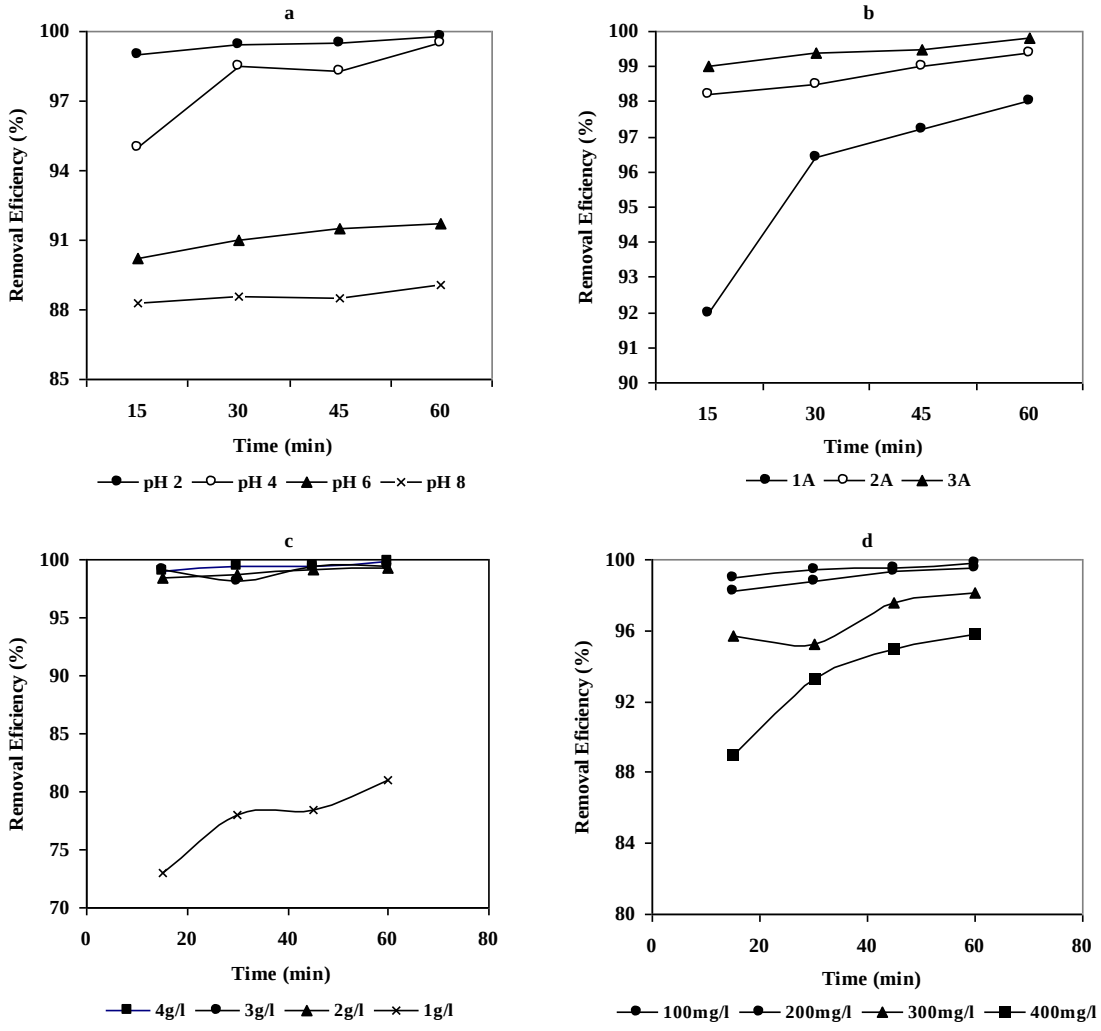
نتایج مربوط به اعمال شدت جریان‌های مختلف در نمودارهای ۲b و ۳b ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در غلظت ورودی و مقدار الکترولیت ثابت، جریان ۳ آمپر از راندمان حذف Cr^{6+} بالاتری در هر دو مرحله بهره‌برداری برخوردار است و با اعمال میزان جریان پایین‌تر میزان حذف کاهش یافته است تا این‌که در جریان ۱ آمپر راندمان در مدت زمان ۱۵ دقیقه برای دو مرحله بهره‌برداری با الکترود آهن و کربن به ترتیب در حدود ۹۲٪ و ۵۸/۵٪ رسیده است. حداکثر غلظت Cr^{3+} برای دو الکترود آهن و کربن در فاز دوم آزمایش در جریان ۱ آمپر بوده مدت زمان ۶۰ دقیقه بوده که به ترتیب در حدود ۳/۱۵ و ۱۵/۵ mg/l به دست آمد. غلظت آهن محلول در همین شرایط برای الکترود آهن در حدود mg/l ۷۳ ثبت گردید. نتایج مربوط Cr^{+3} و آهن محلول در پساب خروجی در جدول ۱ و ۲ ارایه شده است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

نمودارهای ۲c و ۳c اثر الکترولیت را در حذف کروم نشان می‌دهد. بالاترین راندمان حذف برای دو الکترود آهن و کربن در غلظت الکترولیت ورودی ۴ گرم بر لیتر و به ترتیب در حدود ۹۹/۸ و ۸۸/۳ درصد مشاهده گردید. بالاترین میزان Cr^{3+} در آزمایش‌هایی که در این غلظت از الکترولیت مصرفی، پس از ۶۰ دقیقه سپری شدن فرآیند، برای الکترود آهن و کربن ثبت شد به ترتیب در حدود ۱/۶ و ۶/۸ mg/l بود. میزان آهن محلول نیز پس از مدت زمان ۶۰ دقیقه و با میزان الکترولیت g/l ۱ عدد بالایی را نسبت به غلظت‌های دیگر الکترولیت نشان داد و در حدود mg/l ۷۲ به دست آمد. جدول ۱ و ۲ نتایج مربوط به Cr^{+3} و آهن محلول در پساب خروجی را نشان می‌دهد.

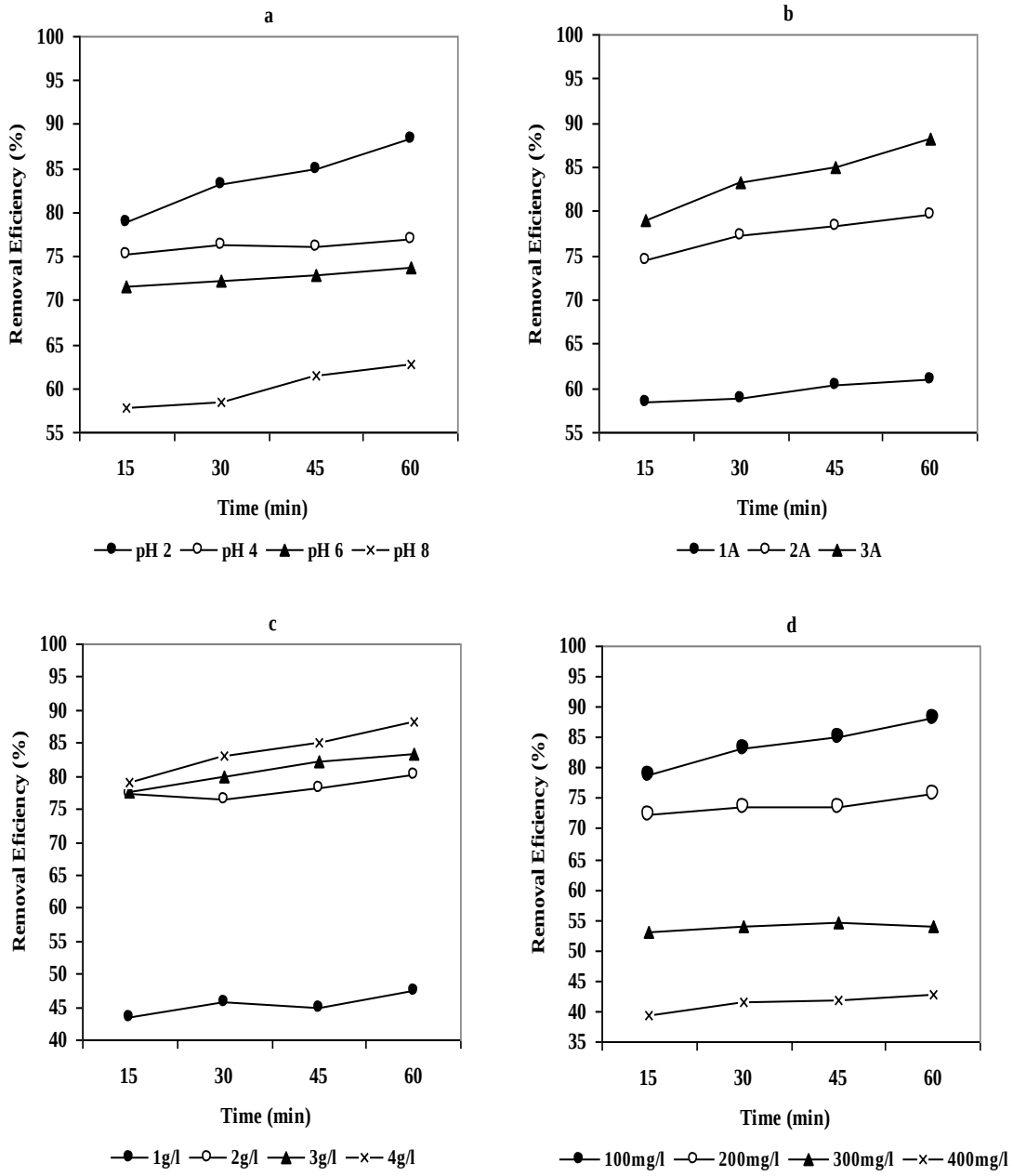
نتایج مربوط به غلظت ورودی در نمودارهای ۲d و ۳d ارایه شده است. در غلظت ورودی ۴۰۰mg/l کمترین میزان احیای Cr^{6+} در هر دو مرحله از آزمایش با الکترود آهن و کربن در فاز چهارم مشاهده شد که به ترتیب در حدود ۸۹٪ و ۳۹/۴٪ در زمان واکنش ۱۵ دقیقه ثبت گردید. با افزایش در غلظت ورودی Cr^{6+}، غلظت Cr^{3+} خروجی از سیستم تغییر چندانی نیافت به طوری‌که در غلظت ورودی mg/l ۴۰۰ میزان آن پس از ۶۰ دقیقه برای الکترود آهن و کربن به ترتیب به ۱/۱۹ و ۵/۲۳ mg/l رسید. میزان آهن محلول در پساب خروجی در مورد الکترود آهن در حدود g/l ۷۸/۸ به دست آمد. اثر pH اولیه بر عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی در غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/l، جریان ۳ آمپر و الکترولیت ورودی ۴g/l (b) اثر دانسیته جریان بر عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی در pHاولیه ۲، غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/l و الکترولیت ورودی ۴ g/l .(c) اثر میزان الکترولیت اضافه شده بر عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی در pHاولیه ۲، غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/l و جریان ۳ آمپر. (d) اثر غلظت‌های مختلف از کروم شش ظرفیتی ورودی بر روی عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در ظرفیتی در pH اولیه ۲، جریان ۳ آمپر و الکترولیت ورودی ۴ g/l. اثر pH اولیه بر عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی در غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/l، جریان ۳ آمپر و الکترولیت ورودی ۴g/l .(b) اثر دانسیته جریان بر عملکرد فرآیند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی در pH اولیه ۲، غلظت کروم ورودی ۱۰۰ mg/l و الکترولیت ورودی ۴ g/l .(c) اثر میزان الکترولیت اضافه شده بر عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در حذف کروم شش ظرفیتی در pH اولیه ۲، غلظت کروم ورودی ۱۰۰mg/l و جریان ۳ آمپر. (d) اثر غلظت‌های مختلف از کروم شش ظرفیتی ورودی بر روی عملکرد فرایند الکتروشیمیایی در ظرفیتی درpH اولیه ۲، جریان ۳ آمپر و الکترولیت ورودی ۴ g/l.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]



شکل۲. نتایج حاصل از الکترود آهن-آهن (a)

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]



شکل۳. نتایج حاصل از الکترود کربن-کربن

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۱. میانگین غلظت کروم سه ظرفیتی و آهن محلول در پساب خروجی از سلول الکتروشیمیایی در زمان های ماند مختلف و شرایط فرایندی مختلف برای الکترود آهن.

مرحله آزمایش	شرایط آزمایش	پارامتر	غلظت خروجی کروم سه ظرفیتی و آهن محلول(میلیگرم بر لیتر) در زمان ماند مختلف (دقیقه)			
			۳۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰
مرحله اول	pH=۲	Cr^{3+}	۳/۷	۲/۴	۱/۱۶	۰/۹۱
(تعیین pH بهینه)		Fe^{2+}	۴۰	۷۰	۷۲	۷۸/۸
	pH=۴	Cr^{3+}	۱/۱۴	۰/۹۴	۰/۷	۰/۵۳
		Fe^{2+}	۱۵/۵	۲۲/۷	۲۵/۷	۵۲/۳
	pH=۶	Cr^{3+}	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۲
		Fe^{2+}	۵/۵	۱۲/۴	۱۴/۶	۱۸/۸
	pH=۸	Cr^{3+}	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۰۵
		Fe^{2+}	۱/۷	۳	۶/۲	۱۴/۹
مرحله دوم	۲ آمپر	Cr^{3+}	۱۲/۷	۷/۸۶	۳/۶	۲/۴
(تعیین شدت جریان بهینه)		Fe^{2+}	۵۲	۵۷	۵۷/۵	۶۸
	۱ آمپر	Cr^{3+}	۱۴/۸	۸/۴	۵/۳	۳/۱۵
		Fe^{2+}	۶۵/۵	۷۰	۷۱	۷۳
مرحله سوم	۳g/l	Cr^{3+}	۶/۲	۳/۵	۳/۱۶	۱/۱
		Fe^{2+}	۱۳/۷	۵۷	۶۶	۶۶
(تعیین میزان اکترولیت بهینه)	۲g/l	Cr^{3+}	۵/۸	۳/۷	۲/۵	۱/۳
		Fe^{2+}	۶۴	۶۵	۶۵/۶	۶۸
	۱g/l	Cr^{3+}	۵/۹	۴/۲	۳/۲	۱/۶
		Fe^{2+}	۷۰/۶	۷۱	۷۱/۵	۷۲
مرحله چهارم	۲۰۰mg/l	Cr^{3+}	۳/۴	۲/۹	۱/۵	۰/۷
(اعمال غلظت های مختلف Cr^{+6})		Fe^{2+}	۶۵/۳	۶۷/۴	۶۸/۶	۶۹
	۳۰۰mg/l	Cr^{3+}	۳/۲	۲/۸	۱/۸۶	۱/۱
		Fe^{2+}	۵۰/۸	۶۰/۲	۶۵/۶	۶۸/۵
	۴۰۰mg/l	Cr^{3+}	۴/۴	۲/۵	۱/۳	۱/۱۹
		Fe^{2+}	۵۹/۵	۶۲/۳	۶۶	۶۶

توجه: تعیین pH بهینه در شدت جریان ۳ آمپر، میزان الکترولیت ۴ g/l و غلظت کروم ۱۰۰ mg/l انجام شده است

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

جدول ۲. میانگین غلظت کروم سه ظرفیتی در پساب خروجی از سلول الکتروشیمیایی در زمان های ماند مختلف و شرایط فرآیندی مختلف برای الکترود کربن.

مرحله آزمایش	شرایط آزمایش	پارامتر	غلظت خروجی کروم سه ظرفیتی و آهن محلول(میلیگرم بر لیتر) در زمان ماند مختلف (دقیقه)			
مرحله اول	pH=۲	Cr^{3+}	۷/۲	۶/۱	۴/۳۳	۳/۶۷
(تعیین pH بهینه)	pH=۴	Cr^{3+}	۳/۸	۳/۴	۲/۶	۲
	pH=۶	Cr^{3+}	۳/۶	۲/۹	۱/۶	۱/۸۳
	pH=۸	Cr^{3+}	۲/۴۵	۲/۴۲	۱/۳۲	۱/۱۷
مرحله دوم	۲ آمپر	Cr^{3+}	۱۸/۶	۱۳/۸	۹/۴	۸/۲
(تعیین شدت جریان بهینه)	۱ آمپر	Cr^{3+}	۲۵/۷	۱۹/۶۵	۱۶/۴	۱۵/۵
	۳g/l	Cr^{3+}	۹/۲	۷/۷	۵/۹	۵/۳
مرحله سوم	۲g/l	Cr^{3+}	۱۰/۶	۱۰/۵	۷/۶۳	۶/۳
(تعیین میزان اکترولیت بهینه)	۱g/l	Cr^{3+}	۱۰/۹	۸/۳	۸/۱۵	۶/۸
مرحله چهارم	۲۰۰mg/l	Cr^{3+}	۸/۴۳	۶/۶	۶/۴	۴/۱
(اعمال غلظت های مختلف	۳۰۰mg/l	Cr^{3+}	۹/۳	۷/۲	۶/۸۳	۴/۹
Cr^{+6})	۴۰۰mg/l	Cr^{3+}	۸/۵	۷/۴۷	۶/۶	۵/۲۳

بحث

اثر pH بر فرایند

یکی از مهم‌ترین پارامترهایی مؤثر بر عملکرد فرایند الکتروشیمیایی pH است. اثر pH در حذف کروم شش ظرفیتی در pH اولیه ۲تا ۸ با غلظت ثابت Cr^{6+} ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، الکترولیت ۴ گرم بر لیتر و جریان ۳ آمپر مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه و همچنین مطالعات دیگر انجام یافته در زمینه حذف کروم+Cr6 نشان می‌دهد که در pH اولیه اسیدی احیای +Cr6 به Cr3 تقویت می‌شود. مطابق با نمودارهای ۱a و ۲a، در pH اولیه ۲ میزان حذف و احیای+Cr6 از درصد بالایی نسبت به pHهای بالاتر از آن برخوردار است. یافته‌های مطالعات دیگر انجام‌گرفته تأییدکننده نتایج این مطالعه است (۲۱، ۶، ۴، ۲، ۱). با این وجود ناریانان و همکاران نتایج مخالفی با مطالعات اخیر به دست آوردند (۲۲). بالاترین میزان حذف +Cr6 در مطالعه حاضر در حدود ۹۹/۸٪ برای الکترود آهن ثبت گردید. همان‌طور که در نمودارهای ۱a و ۲a مشاهده می‌کنیم در pH ۸ درصد حذف و احیای کروم کمتر است که ظاهراً علت احیای کمتر کروم در این pH، کاهش تولید یون‌های+H و همچنین نبود اسید سولفوریک است. در مورد استفاده از هر دو الکترود آهن و کربن بصورت جداگانه، علت احیای بالای کروم+Cr6 در pH اسیدی بدلیل وجود یون‌های H^+ زیاد و همچنین اسید سولفوریک اضافه شده به فرآیند به منظور کاهش pH و تولید یون SO_4^{2-} طبق واکنش زیر است:

$$SO4^{2-} + 2H^+ \longrightarrow H2SO4 \quad (۳)$$

یون SO_4^{2-} باعث افزایش رهاسازی Cr^{6+} از کمپلکس $(Cr(H_2O)_6^{3+})$ پایدار تشکیل شده در طول فرآیند شده و در نتیجه ترسیب کروم به شکل هیدروکسید در حضور Cr^{6+} راحت‌تر انجام می‌شود. همچنین با تولید یون HSO_4^- از

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

واکنش-SO42 با آب طی واکنش زیر احیای +Cr6به+Cr3 در حضور این یون کاتالیز می‌شود (۱).

$$HSO_4^- + OH^- \longrightarrow SO_4^{2-} + H_2O \quad (۴)$$

وقتی که از آهن به عنوان الکترود در سلول استفاده می‌شود آهن فلزی (Fe^0) نیز به فرآیند احیای Cr^{6+} کمک می‌کند. در pH کمتر از ۷/۵ آهن طبق واکنش زیر به Fe^{2+} اکسید می‌شود (۴):

$$Fe^0 + 2H^+ \longrightarrow Fe^{2+} + H_2 \quad (۵)$$

آهن Fe^{2+} نیز باعث احیای Cr^{6+} می‌شود (۷). در pH کمتر از ۷/۵ احیای Cr^{6+} توسط Fe^{2+} طیق واکنش زیر انجام می‌شود:

$$3Fe^{3+} + Cr^{3+} + 8OH^- \longrightarrow CrO_4^{2-} + 3Fe^{2+} + 4H_20 \quad (۶)$$

در pH بالاتر از ۷/۵ احیا طیق واکنش زیر انجام می‌گیرد (۶):

$$3Fe(OH)_3 + Cr(OH)_3 + 2OH^- \longrightarrow CrO_4^{2-} + 3Fe(OH) + 4H_2O \quad (۷)$$

PH در طول فرآیند الکتروشیمیایی افزایش می‌یابد. افزایش pH در شرایط اسیدی (pH اولیه ۲) به مراتب کمتر از شرایط قلیایی اتفاق می‌افتد (مقادیر نشان داده نشده است). افزایش pH به‌طور کلی بدلیل تولید OH در الکترود کاتد و حضور هیدروکسیدهای فلزی تشکیل شده در آند که بطور کامل ترسیب نیافته‌اند رخ می‌دهد. OH طبق واکنش (۲) در یک سلول الکتروشیمیایی تولید می‌شود (۴).

همان‌طور که ذکر شد میزان احیای Cr^{6+} در pH ۲ بیشتر است ولی در مقابل، مشاهده‌ی رسوبات سفید رنگ هیدروکسیدکروم ($Cr(OH)_3$) و رسوبات قهوه‌ای رنگ هیدروکسید آهن ($Fe(OH)3$) در شرایط قلیایی نسبت به شرایط اسیدی بیشتر بود. بنابراین حذف کروم کل در pH قلیایی بیشتر از pH اسیدی اتفاق افتاد. برخی محققین از جمله Rana و Mohan نیز به این نتیجه رسیدند (۶، ۱). مقادیر+Cr3 و آهن محلول خروجی از سیستم برای هر دو الکترود در جدول ۱ و ۲ خلاصه شده است. Cr^{3+} در طی فرایند بدلیل تشکیل رسوب هیدروکسید کروم سه ظرفیتی از سیستم خارج شده و با افزایش زمان ماند کم می‌شود و بدین طریق میزان کروم کل خروجی از سیستم کاهش می‌یابد. افزایش آهن محلول در طول تمامی آزمایش‌ها، به‌دلیل اکسیداسیون آهن فلزی به آهن دو ظرفیتی طی فرایند الکتروشیمیایی، طبق واکنش ۵ رخ می‌دهد. آهن دوظرفیتی در مقادیر pH بالاتر (حدود ۶) تبدیل به آهن سه ظرفیتی شده و بصورت هیدروکسید آهن ($Fe(OH)_3$) از پساب خروجی جدا شده و رسوب می‌کند. اثر pH بر آهن خروجی از سیستم را این چنین می‌توان توضیح داد که در آزمایش‌هایی که با pH ۲ انجام شده‌اند غلظت آهن محلول در پساب عدد بالایی را نشان داد. علت آن عدم تشکیل مناسب رسوبات $Fe(OH)_3$ در pH اولیه و نهایی پایین در این مرحله از آزمایش‌ها بود. هم‌چنین دلیل دیگر بالا بودن میزان آهن در پساب در pH پایین ، احتمالاً به علت پایین بودن Cr^{6+} در محلول است. Cr^{6+} باعث اکسید Fe^{2+} به Fe^{3+} شده (۶) بنابراین میزان آهن محلول در پساب خروجی را کاهش می‌دهد. همان‌طور که pH اولیه بالا در کاهش کروم کل خروجی مؤثر بود، هم‌چنین در کاهش غلظت آهن محلول نیز تأثیر مهمی داشت.

اثر شدت جریان الکتریکی بر فرایند

اثر شدت جریان الکتریکی در حذف Cr^{6+} در جریان ۱ تا ۳ آمپر و در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از Cr^{6+} ورودی، الکترولیت ۴ گرم بر لیتر و pH ثابت ۲ بررسی گردید. همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد، بالاترین راندمان حذف برای الکترود آهن و کربن به ترتیب در حدود ۹۹/۸٪ و ۸۸/۳٪ به‌دست آمد. این روند افزایش راندمان با افزایش جریان الکتریکی در مطالعات دیگر نیز مشاهده می‌شود (۶، ۴، ۱). به‌عنوان مثال در مطالعه‌ای که توسط Rana و همکاران به منظور حذف کروم شش ظرفیتی با استفاده از الکترودهای کربن انجام گردید، در بالاترین شدت جریان (۱/۵ A h) بیشترین راندمان حذف (بیش از ۹۵٪) در تمامی pHها مشاهده گردید. مودهن و همکاران با کاربرد روش

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

الکتروشیمیایی در حذف کروم با استفاده از الکترود آهن و الکترودهای دیگر به این نتیجه رسیدند که در دانسیته جریان بالا ($۲A/dm^2$) راندمان احیای Cr^{6+} نسبت به دانسیته‌های پایین‌تر تقویت می‌شود.

با توجه به نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر و اغلب مطالعات دیگر خصوصاً مودهن و همکاران، مشاهده گردید که با افزایش شدت جریان، زمان مورد نیاز جهت تصفیه نیز کاهش می‌یابد. در شرایط آزمایش (غلظت کروم ورودی، pH و میزان الکترولیت) ثابت جهت تعیین شدت جریان بهینه، غلظت Cr^{3+} در پساب در شدت جریان ۱ آمپر عدد بالاتری نسبت به شدت جریان ۲ و ۳ آمپر نشان داد. این نتیجه برای هر دو الکترود نشان داد که در شدت جریان پایین به‌دلیل این‌که pH در طول فرآیند کمتر افزایش می‌یابد، بنابراین میزان Cr^{3+} نیز کمتر قابل حذف بود. آهن محلول به علت وجود Cr^{6+} در شدت جریان‌های پایین‌تر و اکسیداسیون بیشتر آن به آهن سه ظرفیتی در پساب خروجی نسبت به جریان ۳ آمپر، کمتر مشاهده شد.

اثر الکترولیت بر فرآیند

الکترولیت مورد استفاده در این مطالعه کلرید سدیم (NaCl) بوده و در غلظت‌های ۱ تا ۴ گرم بر لیتر در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از Cr^{6+} ورودی، جریان ثابت ۳ آمپر و pH ثابت ۲ به سلول الکتروشیمیایی اضافه گردید و نتایج با هم مقایسه شدند. NaCl به این علت استفاده شد که یون‌های کلراید هم هدایت الکتریکی محلول را افزایش می‌دهند و هم از غیرفعال شدن سطح الکترودها بدلیل حذف لایه‌های اکسید تشکیل شده روی سطح الکترود جلوگیری می‌کنند. اگرچه در حضور این یون‌ها حلالیت یون‌های Cr^{3+} افزایش می‌یابد و این امر احتمالاً در کاهش راندمان حذف کروم کل تأثیر منفی می‌گذارد ولی در عین حال این اثر منفی در غلظت‌های بالاتری (بیش از ۱۰/۳۷ mM) از NaCl تأثیر بیشتری دارد و اثر آن در غلظت‌های پایین قابل اغماض است (۴).

هرچند غلظت بالایی از NaCl اضافه شده باعث افزایش در لجن تولیدی در انتهای فرایند شده و چه بسا در کاربرد این روش در مقیاس صنعتی مشکل تصفیه و دفع لجن را ایجاد خواهد کرد، لذا افزایش الکترولیت تا حد ۴ g/l در این مطالعه با حجم کوچک پایلوت صرفاً جنبه مطالعاتی داشته و در مقیاس‌های بزرگ صنعتی بایستی به این نکته توجه زیادی را معطوف کرد. با افزایش میزان الکترولیت، غلظت Cr^{3+} و در نتیجه کروم کل در خروجی کاهش یافت. با توجه به افزایش کم pH در طول فرآیند در آزمایش‌هایی که در غلظت الکترولیت ۱ g/l انجام شد، Cr^{3+} خروجی در مورد هر دو الکترود نسبتاً افزایش یافت. با توجه به نتایج مربوط به اثر شدت جریان بر روی تغییرات غلظت خروجی Cr^{3+} می‌توان گفت که تأثیر تغییرات الکترولیت روی آن بیشتر از تأثیر شدت جریان است.

اثر غلظت کروم ورودی

اثر غلظت ورودی Cr^{6+} در غلظت‌های ورودی ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در غلظت الکترولیت ورودی ثابت ۴ گرم بر لیتر، جریان ثابت ۳ آمپر و pH ثابت ۲ مطالعه شد. نمودارها بطور واضح نشان می‌دهند که در غلظت‌های ورودی پایین‌تر، راندمان حذف Cr^{6+} در مقدار ماکزیمم خود قرار دارد نتایج حاصل در مطالعه حاضر با مطالعاتی که توسط محققین دیگر انجام گرفته مطابقت دارد. رانا و همکاران در تحقیقات خود نشان دادند که درصد حذف کروم در غلظت‌های ورودی پایین، حداکثر است اگرچه در pH ۲ میزان حذف را در تمامی غلظت‌های ورودی در شدت جریان پایین، بیش از ۹۸ درصد مشاهده کردند. در مطالعه حاضر نیز در مورد الکترود آهن مقادیر حذف در تمامی غلظت‌های ورودی تقریباً مشابه یکدیگر و در حد قابل قبول می‌باشند. راندمان بالا برای الکترود آهن احتمالاً مربوط به غلظت بالای آهن فلزی و متعاقباً آهن دوظرفیتی در محلول نسبت به زمانی باشد که از الکترود کربن استفاده شده است.

لازم به ذکر است که اگرچه مقادیر راندمان حذف در مطالعات مختلف به دلیل شرایط متفاوت آزمایش با هم تفاوت دارد ولی علی‌رغم این تفاوت در راندمان، تغییرات راندمان حذف از روند مشابهی در اغلب این مطالعات برخوردار است. با افزایش در غلظت ورودی Cr^{6+}، غلظت Cr^{3+} خروجی از سیستم تغییر چندانی نیافت. در این شرایط به دلیل اینکه میزان Cr^{6+} ورودی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

بالا بود و از طرف دیگر احتمالاً مدت زمان ۶۰ دقیقه برای احیای کامل این مقدار به Cr^{3+} کافی نبود بنابراین کروم کل اغلب به شکل Cr^{6+} در پساب خروجی ظاهر شد. میزان آهن محلول موجود در پساب با افزایش غلظت کروم ورودی نسبت به غلظت‌های ورودی پایین و شرایط ثابت آزمایش برای الکترود آهن، احتمالاً به علت افزایش اکسیداسیون Fe^{0} و Fe^{2+} به Fe^{3+} در حضور Cr^{6+} ، نسبتاً کاهش یافت، ولی در هر حال نتایج حاصل از غلظت‌های ورودی مختلف تقریباً مشابه هستند.

نتیجه‌گیری

با مشاهده راندمان بالای الکترود آهن نسبت به الکترود کربن در حذف کروم شش ظرفیتی و در نهایت کروم کل از پساب دست‌ساز می‌توان نتیجه گرفت الکترود آهن توان بیشتری در تصفیه پساب‌های صنعتی آلوده به کروم داشته و با توجه به اینکه در شدت جریان‌های الکتریکی و مقادیر الکترولیت پایین‌تر از مقدار بهینه نیز راندمان قابل قبولی را نسبت به الکترود کربن از خود نشان داد بنابراین به عنوان یک الکترود مقرون به صرفه می‌تواند در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. با در نظر گرفتن مقدار مجاز خروجی Cr^{3+} از پساب‌های صنعتی و با توجه به نتایج حاصل شده در این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که الکترود آهن این مقدار استاندارد خروجی را تأمین کرده و عملکرد کلی آن بهتر از الکترود کربن است.

تشکر و قدردانی

با توجه به اینکه اجرای این مطالعه بصورت طرح تحقیقاتی از نظر مالی از طرف معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان حمایت گردید لذا نویسندگان مقاله از آن معاونت محترم جهت همکاری صمیمانه شان سپاس‌گذاری می‌نمایند.

References

1. Rana P, Mohan N, Rajagopal C. Electrochemical removal of chromium from wastewater by using carbon aerogel electrodes. Water Research. 2004; 38 (12): 2811-20.
2. Liu Y-X, Yuan D-X, Yan J-M, Li Q-L, Ouyang T. Electrochemical removal of chromium from aqueous solutions using electrodes of stainless steel nets coated with single wall carbon nanotubes. Journal of Hazardous Materials 2011; 186 (1): 473-80.
3. Barrera-Diaz C, Palomar-Pardave M, Romero-Romo M, Martinez S. Chemical and electrochemical considerations on the removal process of hexavalent chromium from aqueous media. Journal of Applied Electrochemistry. 2003; 33 (1): 61-71.
4. Golder AK, Chanda AK, Samanta AN, Ray S. Removal of hexavalent chromium by electrochemical reduction-precipitation: Investigation of process performance and reaction stoichiometry. Separation and Purification Technology 2011; 76 (3): 345-50.
5. Lakshmipathiraj P, Bhaskar Raju G, Raviatul Basariya M, Parvathy S, Prabhakar S. Removal of Cr (VI) by electrochemical reduction. Separation and Purification Technology 2008; 60 (1): 96-102.
6. Mouedhen G, Feki M, De Petris-Wery M, Ayedi HF. Electrochemical removal of Cr (VI) from aqueous media using iron and aluminum as electrode materials: Towards a better understanding of the involved phenomena. Journal of Hazardous Materials. 2009; 168 (2–3): 983-91.
7. Mukhopadhyay B, Sundquist J, Schmitz RJ. Removal of Cr(VI) from Cr-contaminated groundwater through electrochemical addition of Fe(II). Journal of Environmental Management 2007; 82 (1): 66-76.
8. Aber S, Amani-Ghadim AR, Mirzajani V. Removal of Cr (VI) from polluted solutions by electrocoagulation: Modeling of experimental results using artificial neural network. Journal of Hazardous Materials 2009; 171 (1–3): 484-90.
9. Nanseu-Njiki CP, Tchamango SR, Ngom PC, Darchen A, Ngameni E. Mercury(II) removal from water by electrocoagulation using aluminium and iron electrodes. Journal of Hazardous Materials 2009; 168 (2–3): 1430-6.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

10. Alizadeh T, Ganjali MR, Zare M. Application of an Hg2+ selective imprinted polymer as a new modifying agent for the preparation of a novel highly selective and sensitive electrochemical sensor for the determination of ultratrace mercury ions. Analytica Chimica Acta 2011; 689 (1): 52-9.
11. Montoya MR, Pintado S, Mellado JMR. Electrochemical reduction of imazamethabenz methyl on mercury and carbon electrodes. Electrochimica Acta 2010; 55 (9): 3164-70.
12. Barakat M. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. Arabian Journal of Chemistry 2011; 4 (4): 361-77.
13. Almaguer-Busso G, Velasco-Martinez G, Carreno-Aguilera G, Gutierrez-Granados S, Torres-Reyes E, Alatorre-Ordaz A. A comparative study of global hexavalent chromium removal by chemical and electrochemical processes. Electrochemistry Communications 2009; 11 (6): 1097-100.
14. Martinez SA, Rodriguez MG, Aguilar R, Soto G. Removal of chromium hexavalent from rinsing chromating waters electrochemical reduction in a laboratory pilot plant. Water Science and Technology 2004; 49 (1): 115-22.
15. Martinez SA, Rodriguez MG, Barrera C. A kinetic model that describes removal of chromium VI from rinsing waters of the metal finishing industry by electrochemical processes. Water Science and Technology 2000; 42 (5-6): 55-61.
16. Martinez-Delgadillo SA, Rodriguez-Rosales MG, Aguilar-Lopez R, Soto-Crotes G. Performance evaluation of electrochemical reactors for the removal of Cr (VI) from wastewater. Ingenieria Hidraulica En Mexico 2004; 19 (4): 97-103.
17. Rodríguez R MG, Mendoza V, Puebla H, Martínez D SA. Removal of Cr (VI) from wastewaters at semi-industrial electrochemical reactors with rotating ring electrodes. Journal of Hazardous Materials 2009; 163 (2–3): 1221-9.
18. Vasudevan S, Lakshmi J, Vanathi R. Electrochemical Coagulation for Chromium Removal: Process Optimization, Kinetics, Isotherms and Sludge Characterization. Clean-Soil Air Water 2010; 38 (1): 9-16.
19. Wu W, Peng J-J. Linear control of electrochemical tubular reactor system—Removal of Cr (VI) from wastewaters. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 2011; 42 (3): 498-505.
20. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed.Washington,DC: American Public Health Association; 1992.
21. Mahvi AH, Bazrafshan E, Mesdaghinia AR, Naseri S, Vaezi F. Chromium (Cr+6) Removal from Aqueous Environments by Electrocoagulation Process Using Aluminum Electrodes. Journal of water and wastewater 2007; 18(2): 28-34.
22. Vivek Narayanan N, Ganesan M. Use of adsorption using granular activated carbon (GAC) for the enhancement of removal of chromium from synthetic wastewater by electrocoagulation. Journal of hazardous materials 2009; 161 (1): 575-80.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]

Heavy metals in industrial wastewater especially chromium (VI) are considered as the main environmental pollutants

Yaghoub Hajizadeh [1], Mohsen Rezaei [2], Yousof Poureshgh [3], Marziyeh Vahid Dastjerdi [4]

Original Article

Abstract

Background: Heavy metals in industrial wastewater especially chromium (VI) are considered as the main environmental pollutants.

Methods: Electrochemical cell made of plexiglass with a volume of 1.95 lit was used. Iron and graphite electrodes, electricity conductor, each with dimensions of 0.1×3×10 cm (width×length×height) were designed and built. Tests were carried out in various conditions of pH, concentrations of input chromium (VI), different amounts of electrolytes, electric currents and retention times. Measurement of samples was performed using of diphenylhydrazine method.

Findings: Maximum removal efficiency for iron and carbon electrodes at about 99.8% and 88.3% was observed, respectively. The lowest among of Cr^{+3} in efficiency wastewater of system was recorded about 0.05 mg/l for Fe electrode.

Conclusion: The results showed that the operation of the electrochemical cell, efficiency removal of Cr (VI) by iron electrode in the same process conditions is more than carbon electrode. Generally, despite in this method removal efficiency of hexavalent chromium from synthetic wastewater is acceptable however consume a lot of electrical energy. Thus, electrochemical method is usable for the removal of heavy metals in industrial scale.

Keywords: Hexavalent Chromium, Industrial Wastewater, Electrochemical Treatment

Citation: Hajizadeh Y, Rezaei M, Poureshgh Y, Vahid Dastjerdi M. **Heavy metals in industrial wastewater especially chromium (VI) are considered as the main environmental pollutants.** J Health Syst Res 2014; 10(2): 362-375

Received date: 20.08.2013 **Accept date: 01.03.2014**

1. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2. MSc Student, Department of Environmental Health Engineering, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (Corresponding Author) Email: mohsen.rezaei@bk.ru
3. PhD Student, Department of Environmental Health Engineering, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran.
4. Department of Environmental Health Engineering, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-25]