

کارایی فرایند تلفیقی الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آهن و ستون فیلتری حاوی پامیس در حذف کروم و سیانید از فاضلاب شهرک صنعتی صفادشت

سید محسن بلادی^۱

رویا مافی غلامی^{۲*}

r.mafigholami@wtiau.ac.ir

مهرداد دیان^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۸

چکیده

زمینه و هدف: امروزه حفظ محیط زیست به امری ضروری برای جامعه تلقی می‌شود. تصفیه فاضلاب‌های صنعتی به دلیل مشخصات فیزیکوشیمیایی منحصر بفردی که دارند، نیازمند فرایندهای مختلف از جمله موثر هستند. کیفیت و کمیت فاضلاب صنعتی به دلیل وجود صنایع مختلف، پیچیده تر از فاضلاب انسانی است و به دلیل داشتن بار آلودگی بالا باید قبل از تخلیه به محیط زیست تصفیه گردد. فلزات سنگین یکی از دلایل ایجاد آلودگی در فاضلاب صنعتی، هستند. فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون به عنوان یک فرایند تلفیقی و دوستدار محیط زیست، دارای قابلیت بالایی در تصفیه فاضلاب‌هایی با آلودگی بالا است.

روش بررسی: در این مطالعه از فرایند انعقاد الکتریکی در مقیاس آزمایشگاهی به منظور حذف فلز کروم (شش ظرفیتی) و سیانید استفاده شد. در این فرایند، تاثیر متغیرهای pH اولیه فاضلاب (۵-۹)، زمان واکنش (۶۰-۰ دقیقه)، جریان الکتریکی اعمال شده (۱-۳ آمپر) و ارتفاع بستر فیلتراسیون (۱۰-۳۰ سانتی‌متر) مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج به دست آمده بهترین شرایط فرایند انعقاد الکتریکی شامل pH برابر ۷، زمان انجام انعقاد الکتریکی برابر ۶۰ دقیقه، جریان الکتریکی اعمال شده بر سطح الکترودها برابر ۳ آمپر و ارتفاع پامیس به عنوان ماده فیلتر کننده در داخل ستون برابر ۳۰ سانتی متر است. در این شرایط کارایی حذف کروم و سیانید به ترتیب ۹۲ و ۸۸ درصد به دست آمد. بدین صورت که در شرایط بهینه تعیین شده، میزان غلظت کروم و سیانید از ۱۳ و ۹/۰۸ میلی گرم به ترتیب به ۱/۵۶ و ۰/۷۲ کاهش پیدا کرده است.

بحث و نتیجه گیری: بر اساس استانداردهای ارایه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران، پساب تصفیه شده توانایی تخلیه به محیط زیست را دارا است.

واژه‌های کلیدی: فرایند انعقاد الکتریکی، فیلتراسیون، پامیس، فاضلاب شهرک صنعتی.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب.

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب. * (مسئول مکاتبات)

۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب.

The efficiency of combined process of electrocoagulation with iron electrodes and a filter columns containing pumice in removing chromium and cyanide from the wastewater of Safa Dasht industrial estate

Seyed Mohsen Baladi¹

Roya Mafi Gholami^{2*}

r.mafigholami@wtiau.ac.ir

Mehrad Mehrdadian³

Admission Date: April 22, 2023

Date Received: February 27, 2023

Abstract

Background and Objectives: Nowadays, environmental preservation is considered a necessary matter for society. Industrial wastewater treatment requires various effective processes, due to their unique physicochemical characteristics. The quality and quantity of industrial wastewater are more complicated than human wastewater due to the presence of various industries and must be treated before being discharged into the environment due to their high pollution load. One of the common pollutants in industrial wastewater is heavy metals. The electrocoagulation and filtration process, as an environmentally friendly and integrated process, have a high capability in treating wastewater with high levels of pollution.

Material and Methodology: In this study, the electrocoagulation process was used on a laboratory scale to remove chromium (hexavalent) and cyanide metal pollutants. In this process, the effect of various parameters, including the initial pH of the wastewater (5-9), reaction time (0-60 minutes), applied electric current (1-3 Amps), and filtration bed height (10-30 cm) were investigated.

Findings: Based on the obtained results, the best conditions for the electrocoagulation process include a pH of 7, a reaction time of 60 minutes, an applied electric current of 3 Amps, and a filter bed height of 30 cm. Under these optimal conditions, the removal efficiency of chromium and cyanide was 92% and 88%, respectively. In this way, in the determined optimal conditions, the concentration of chromium and cyanide decreased from 13 and 0.908 mg/L to 1.56 and 0.72 mg/L, respectively.

Discussion and Conclusion: Based on the standards provided by Iran's Environmental Protection Organization, treated wastewater has the ability to be discharged into the environment.

Key words: Electrocoagulation process, filtration, pumice, industrial town wastewater.

1- Master of Environmental Civil Engineering, Department of Environment, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tehran West Branch.

2- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tehran West Branch. **(Corresponding Author)*

3- Master of Environmental Civil Engineering, Department of Environment, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, Tehran West Branch.

مقدمه

گسترش زندگی شهرنشینی پس از انقلاب صنعتی و بالاخص در قرن کنونی در کنار همه مزایایی که برای انسان و محیط زیست داشته، باعث ایجاد مشکلاتی نیز گردید. حضور آلاینده‌های مختلف در محیط زیست به ویژه محیط‌های آبی مانند آب و فاضلاب باعث بروز پیامدهای محیط‌زیستی ناگواری شده است. از سویی حضور انکار ناپذیر آب در فرایندهای حاصل از زندگی، آن را به عنوان یک جز اساسی برای همه شکل‌های حیات، تبدیل کرده است. امروزه آلودگی آب‌ها و تولید فاضلاب‌ها از بخش‌های مختلف از جمله فاضلاب شهری، صنعتی، کشاورزی و رواناب، از مسائل نگران کننده آلودگی محیط زیست به شمار می‌آیند (۱ و ۲). همان‌گونه که اشاره شد، یکی از عوامل تهدید کننده محیط زیست فاضلاب‌های تولیدی در جوامع بویژه فاضلاب‌های صنعتی هستند که شامل طیف وسیعی از ترکیبات آلی تجزیه پذیر، تجزیه ناپذیر و انواع فلزات از قبیل فلزات سنگین هستند (۳ و ۴). امروزه روش‌های تصفیه بیولوژیکی به دلیل حضور آلاینده‌های آلی سخت تجزیه پذیر یا تجزیه ناپذیر موفقیت‌چندانی را کسب کرده اند (۴-۶). اینگونه فرآیندها بیشتر برای تصفیه فاضلاب‌های حاصل از مناطق شهر (مسکونی) که دارای مشخصات متداول و همچنین مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیک هستند بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی از آنجاییکه در فاضلاب‌های صنعتی دارای ترکیبات آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیک و همچنین ترکیبات معدنی خاص هستند تصفیه زیستی را با مشکل مواجه می‌کنند (۷ و ۲۰). روش‌های بیولوژیکی شامل روش‌های هوازی و بی‌هوازی هستند که بر اساس مشخصات فاضلاب (به‌طور عمده مقدار BOD و COD) مورد استفاده قرار می‌گیرند (۸). بر اساس گزارشات ارایه شده، فاضلاب‌های صنعتی معمولاً دارای نسبت بالای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی هستند که تاکید کننده حضور مواد آلی غیرقابل تجزیه بیولوژیکی است و این موضوع اثبات می‌کند که فرایندهای تصفیه بیولوژیکی هوازی و بی‌هوازی در تصفیه اینگونه فاضلاب‌ها دچار مشکل خواهند شد (۹-۱۱). در کنار

نسبت بالای اشاره شده، حضور سایر ترکیبات مانند فلزات به ویژه فلزات سنگین به دلیل خاصیت سمی که برای میکروارگانیسم‌ها دارد باعث محدودتر شدن فرایندهای بیولوژیک در استفاده برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی می‌شوند (۱۲). کروم و سیانید به‌عنوان فلز و ترکیب شیمیایی پرکاربرد در صنایع هستند که مقادیر مختلفی از این فلزات در فاضلاب‌های صنعتی یافت می‌شود (۱۳). کروم در فاضلاب صنایع مختلفی مانند آهن و استیل، تولید قطعات خودرو، عکاسی، داروسازی، پلاستیک‌سازی، استخراج ذغال سنگ، آبکاری و غیره وجود دارد. سمیت بالا و اثرات سو آن بر سلامتی موجودات زنده و اثر جذب بیوزیستی و تجمع زیستی، دلیلی بر ضرورت کنترل غلظت این آلاینده‌ها در طبیعت است. تماس کوتاه مدت با سیانید، عوارضی مانند تنفس‌های سریع، رعشه، اثرات عصبی را در پی دارد و تماس طولانی مدت باعث کاهش وزن، اثر بر تیروئید، آسیب‌های عصبی و مرگ می‌شود. اثرات زیست محیطی و انسانی کروم معمولاً به کروم شش ظرفیتی مرتبط می‌گردد که در تماس‌های مکرر با آن باعث عوارض خونی به خصوص کاهش گلبول‌های قرمز، صدمات ژنتیکی (آسیب به DNA)، انواع سرطان‌ها و غیره می‌گردد (۱۴). لزوم تصفیه و حذف آلاینده‌های فاضلاب‌های صنعتی بویژه فلزات سنگین امری بدیهی است. پژوهشگران امروزه به دنبال جایگزین کردن فرآیندهای تلفیقی و پیشرفته به جای فرآیندهای بیولوژیکی هستند تا بتوانند با کارایی بالاتری فلزات سنگین را از محیط حذف کنند. یکی از روش‌های متداولی که در مقیاس آزمایشگاهی، پیلوت و واقعی برای تصفیه فاضلاب صنعتی استفاده شده است و نتایج نسبتاً مطلوبی از آن گزارش شده، فرایند الکتروکواگولاسیون است (۱۵). فرایند الکتروکواگولاسیون یک عمل موثر در حذف آلاینده‌های مختلف مانند آلاینده‌های آلی تجزیه ناپذیر، فلزات سنگین، COD و غیره از فاضلاب است (۱۶). این روند برای ناپایدار کردن ذرات معلق و آلاینده‌هایی که بصورت محلول هستند با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. در فرایند الکتروکواگولاسیون از جریان

الکتریسته برای تصفیه بهره برده می شود. صفحات رسانای فلزات آهن یا آلومینیوم به عنوان الکترود قربانی به کار می روند. در فرایند الکتروکواگولاسیون توسط فرایند الکتروشیمیایی عواملی مانند یون های آهن و آلومینیوم دو ظرفیتی تولید می شوند که باعث خنثی شدن بار الکتریکی آلاینده ها و ذرات کلوییدی و حذف آنها به صورت هیدروکسید های فلزی سه ظرفیتی می شود. از مزایای این فرایند می توان به عدم نیاز به مواد شیمیایی مانند مواد منعقد کننده آهنی یا آلومینیومی، نیاز به فضای کوچک، هزینه بهره برداری و راه اندازی اندک و راهبری آسان اشاره نمود. فرایند الکتروکواگولاسیون در ۳ مرحله انجام می گیرد. مرحله اول لخته سازی است که به وسیله الکترود آند (الکترود قربانی) صورت می گیرد. در مرحله بعد اکسیداسیون آلاینده ها صورت می گیرد که شامل ناپایداری سازی آلودگی، معلق سازی مواد و شکست امولسیون است. در مرحله سوم ذرات ناپایدار برای تشکیل فلوک با هم ترکیب می شوند. ساز و کار ناپایداری سازی در این فرایند شامل فشردگی لایه دوپل الکتریکی، جذب، خنثی کردن شارژ، به دام انداختن در رسوبات و پل زنی بین ذرات است. همچنین در این فرایند امکان رخ دادن اکسیداسیون آندی نیز وجود دارد که باعث افزایش کارایی فرایند می شود (۱۷-۲۰). فرایند الکتروکواگولاسیون در کنار مزایایی که دارد، باعث ایراداتی از قبیل باقی ماندن لخته ها، خروج آلاینده، ایجاد رنگ در فاضلاب و غیره می شود (۲۱). بنابراین محققان از فرایندهای تلفیقی استفاده می نمایند (۲۲). فرایندهای تلفیقی باعث افزایش کارایی سیستم و جبران نواقص می گردند. یکی از فرایندهای مورد استفاده در کنار الکتروکواگولاسیون، فیلتراسیون است (۲۳).

سنگ آتش فشانی پامیس یکی از مواد معدنی مناسبی است که برای انجام فرایند فیلتراسیون استفاده می شود. این ترکیب ماده ای سبک با چگالی کمتر از یک کیلوگرم در لیتر و دارای خلل و فرج بالا (حجم منافذ خالی تا ۸۵ درصد) است. این نوع سنگ دارای ساختاری منفذدار و نسبت سطح به حجم بزرگ است و همین موضوع موجب شده تا فرایند جذب و انجام عمل فیلتراسیون بر روی آن امکان پذیر شود (۲۴). در مطالعات

صورت گرفته پامیس در حذف و کاهش برخی آلاینده های آب نظیر: مواد آلی طبیعی، رنگ ها، نیترات و فلوراید بکار رفته و کارایی قابل ملاحظه ای نیز داشته است (۲۵). در این زمینه تا کنون تحقیقات مشابه داخلی و خارجی صورت گرفته است که می توان به آنها اشاره کرد مانند: جنیدی و همکاران در سال ۱۳۹۲ طی مطالعه ای به بررسی حذف همزمان سیانید و کروم شش ظرفیتی از محلول های آبی با استفاده از فرایندهای انعقاد و لخته سازی پرداخته اند، بر اساس نتایج این مطالعه مشخص شد که کروم و سیانید با غلظت های اولیه ۱۰ میلی گرم در لیتر FeCl_3 (pH=۷) برابر با ۰/۷ گرم در لیتر بعد از مدت زمان ته نشینی ۶۰ دقیقه به ترتیب راندمان حذفی معادل ۳۸ و ۹۳ درصد خواهند داشت. به علاوه، با افزایش زمان ته نشینی به بالاتر از ۶۰ دقیقه، تغییر محسوسی در روند افزایش راندمان های حذف مشاهده نشد (۲۶).

۲- محوی و همکاران طبق مطالعاتی که در سال ۲۰۱۰ انجام دادند حذف کادمیوم از فاضلاب های صنعتی به روش الکتروکواگولاسیون را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که غلظت اولیه بر روی راندمان حذف تاثیر گذار است و برای غلظت بالاتر کادمیوم به پتانسیل الکتریکی بالاتر و زمان واکنش بیشتر نیاز است. pH نهایی نسبت به pH اولیه در طی فرایند واکنش، افزایش می یابد. در این مطالعه در جریان الکتریکی ۴۰ ولت در مدت زمان ۲۰ دقیقه سریع ترین حذف با راندمان بالای ۹۹ درصد صورت گرفت (۲۷).

۳- نتایج مطالعه انجام گرفته توسط Zhengo و همکاران در سال ۲۰۰۹ که از دو الکترود آهن و آلومینیوم به منظور تصفیه فاضلاب صنایع نساجی با استفاده از فرایند الکتروکواگولاسیون انجام گرفت، حاکی از آن بود که استفاده از الکترود آهن نتایج بهتری در تصفیه پساب در مقایسه با الکترود آلومینیوم داشته است (۲۸).

۴- مطالعه ای توسط Tchamango و همکاران در سال ۲۰۱۰ با عنوان تصفیه فاضلاب صنایع لبنی به وسیله انعقاد الکتریکی با استفاده از الکترودهای آلومینیوم انجام شد. نتایج نشان داد که میزان حذف COD برابر ۶۱ درصد بود، در حالی

(شهرهای محمدشهر و ماهدشت)، از شرق به بخش مرکزی شهرستان ملارد و از جنوب به ساوه محدود شده است. بر اساس ضوابط کسب پروانه بهره برداری ویژه شهرک‌های صنعتی غیردولتی مربوط به سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران و منطبق بر مصوبه ۲۵ دی ماه ۱۳۸۹ هیئت وزیران، شهرک صنعتی صفادشت به عنوان شهرک صنعتی غیردولتی ثبت رسمی شد. بر این اساس شرکت خدماتی "شهرک صنعتی غیر دولتی صفادشت" مجاز به بهره برداری از شهرک غیر دولتی صنعتی صفادشت شد. گفتنی است فاز اول این شهرک در زمینی به مساحت کل ۲۹۵ هکتار مصوب شده بود که شامل ۲۱۷ هکتار زمین صنعتی، ۵ هکتار زمین خدماتی، ۵۴ هکتار معابر و ۱۹ هکتار فضای سبز بوده است. سپس با پیگیری‌های به عمل آمده و تلاش مسئولین محترم استان و شهرستان فاز دوم شهرک مطابق با بند ۵ مصوبه شورای برنامه‌ریزی (توسعه) استان تهران مورخ ۹۴/۱۲/۱۰ به مساحت ۸۰۰ هکتار به تائید و تصویب رسید و با عنایت به موقعیت مناسب شهرک در نزدیکی به پایتخت و دیگر مزیت‌های نسبی مورد استقبال صنعتگران قرار گرفت و به سرعت موجب گردید ساخت و توسعه واحدهای تولیدی در شهرک صنعتی صفادشت انجام پذیرد. لازم به ذکر است این شهرک اکنون با بیش از ۴۵۰ شرکت واحد تولیدی فعال و برخوردار از ۳ حلقه چاه برای تامین حدود ۴۰-۵۰ لیتر بر ثانیه آب، ۱۴ مگا وات برق، ۸۰۰ خط تلفن، ۷۵۰ مترمکعب در ساعت گاز با ایستگاهی اختصاصی است و به عنوان یکی از فعالترین شهرک‌های صنعتی استان تهران محسوب می‌گردد. موقعیت شهرک صنعتی صفادشت در شکل ۱ نمایش داده شده است (۳۲).

که میزان حذف نیترژن، فسفر و کدورت به ترتیب برابر ۸۹، ۸۱ و ۱۰۰ درصد بود (۲۹).

۵- پژوهشی توسط Y. Mountassir در سال ۲۰۱۵ در فرانسه در رابطه با پتانسیل استفاده از رس در فرایند انعقاد الکتریکی در فاضلاب نساجی انجام شد. نتایج نشان داد این فرایند در حذف رنگ، COD و کدورت تاثیر زیادی دارد (۳۰).
۶- مطالعه ای مروری در ترکیه توسط I. Kabdash در سال ۲۰۱۲ در خصوص کاربرد انعقاد الکتریکی برای فاضلاب صنعتی انجام شد و نشان داد کاربرد این فرایند به صورت ترکیبی به همراه فرایندهای متداول دیگر سبب بهبود افزایش راندمان تصفیه خواهد شد (۳۱).
قابل ذکر است نوآوری این پژوهش در استفاده از فرایند اکسیداسیون پیشرفته بر پایه دی پراکسی پرسولفات در حضور نانوذرات آهن صفر (Fe^0) ظرفیتی و نانوذرات آهن مغناطیسی (Fe_3O_4) به منظور افزایش تولید رادیکال‌های اکسید کننده مانند رادیکال سولفات، رادیکال هیدروکسیل و سوپراکساید در راستای تصفیه پساب صنعت چرم سازی است. لذا بر اساس توضیحات بالا، هدف از این مطالعه، تعیین کارایی فرایند تلفیقی الکتروکواگولاسیون با الکترودهای آهن و ستون فیلتری حاوی پامیس در حذف فلز کروم و سیانید از فاضلاب شهرک صنعتی صفادشت بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بخش صفادشت با وسعت ۷۵۱۰ کیلومتر مربع در غرب شهرستان ملارد قرار دارد. از شمال و غرب به استان البرز



شکل ۱- موقعیت شهرک صنعتی سفاداشت (۳۲)

Figure 1. Location of Safadasht industrial town(32)

تصفیه‌خانه شهرک صنعتی سفاداشت

غلظت مواد آلی نیز به دلیل آن کاهش می باید که در این قسمت به علت تولید گاز H_2S به همراه بوی نامطبوع متصاعد می‌شود. پس از مرحله بی هوازی فاضلاب وارد لاگون‌های هوادهی می‌گردد حجم هر لاگون حدود ۷۴۰۰ متر مکعب و عمق مفید آنها $\frac{3}{2}$ متر است. مواد آلی موجود در فاضلاب توسط باکتری‌های هوازی این لاگون‌ها مصرف شده و به سلولهای جدید باکتری تبدیل می‌شوند، سپس خروجی این لاگون‌ها وارد مخزن زلال ساز شده و فاضلاب به تدریج ته

تصفیه‌خانه شهرک صنعتی برای تصفیه روزانه حدود ۳۰۰۰ متر مکعب و بار COD ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر مورد بهره‌برداری قرار گرفت. فرآیند تصفیه، در تصفیه‌خانه از نوع بیولوژیکی است. مدول اول شامل تصفیه بی هوازی (لاگون بی هوازی) و در ادامه لاگون هوادهی بوده، در ابتدای فرآیند بیولوژیک، یک لاگون بی‌هوازی در نظر گرفته شده است. حجم لاگون حدود ۱۲۰۰۰ متر مکعب و عمق مفید آن ۴ متر است. عمده ترین هدف از این مرحله کاهش مواد معلق به طریق ته‌شینی بوده و

نشین و خروجی زلال می گردد (۳۲). در شکل ۲ نمایی از لاگون
 مواد و تجهیزات:
 هوادهی ارایه شده است.

جدول ۱- تجهیزات آزمایشگاهی

Table 1. Laboratory equipment

ردیف	نام دستگاه	توضیحات
۱	دستگاه جذب اتمی	اندازه گیری فلز کروم و سیانید
۲	دستگاه مولد جریان برق	ایجاد جریان الکتریسته و اعمال به سطح الکترودها
۳	دستگاه سانتیفریوژ	جداسازی ناخالصی های نمونه قبل از مشاهده
۴	PH متر	تنظیم PH نمونه ها
۵	الکترودهای آهن	با ابعاد ۱۰*۲ سانتی متر و ضخامت ۴ میلی متر
۶	سیم برق و متعلقات	برای راه اندازی پایلوت
۷	شیشه آلات آزمایشگاهی	برای انجام آزمایش
۸	ستون شیشه ای	ایجاد بستر فیلتراسیون

جدول ۲- مواد شیمیایی استفاده شده در پژوهش

Table 2. Chemicals used in the research

ردیف	ماده شیمیایی	توضیحات
۱	ریجنت های فلزات	برای اندازه گیری فلزات
۲	آب مقطر دی یونایز	برای شست و شوی وسایل آزمایشگاهی/ تقطیر توسط دستگاه همپلتون/ دیونایزر دستگاهی است که جهت تولید آب فوق خالص از آن استفاده می شود. آب مقطر دی یونایز، آبی است خالص تر از آب مقطر، بدون یون، که کلیه مواد جامد محلول در آن گرفته شده است. آب دیونایزه، هدایت الکتریکی بسیار کم در حدود ۰.۰۵۶ میکرو زیمنس خواهد داشت.
۳	اسید سولفوریک	برای تنظیم pH/ نوعی اسید معدنی است که از عناصر گوگرد، اکسیژن و هیدروژن تشکیل می شود و فرمول شیمیایی آن H_2SO_4 است. این ماده یک مایع بی رنگ، بی بو، و با گرانیوری بالا است که در آب انحلال پذیر بوده و واکنش ترکیب شدن آن با آب بسیار گرمازا است.
۴	هیدروکسید سدیم	برای تنظیم pH/ ترکیبی معدنی با فرمول شیمیایی NaOH است. این ماده یک ترکیب یونی جامد سفیدرنگ است که از کاتیون سدیم Na^+ و آنیون هیدروکسید OH^- تشکیل شده است. این ترکیب، در تماس با پوست می تواند سوختگی شیمیایی شدید ایجاد کند.

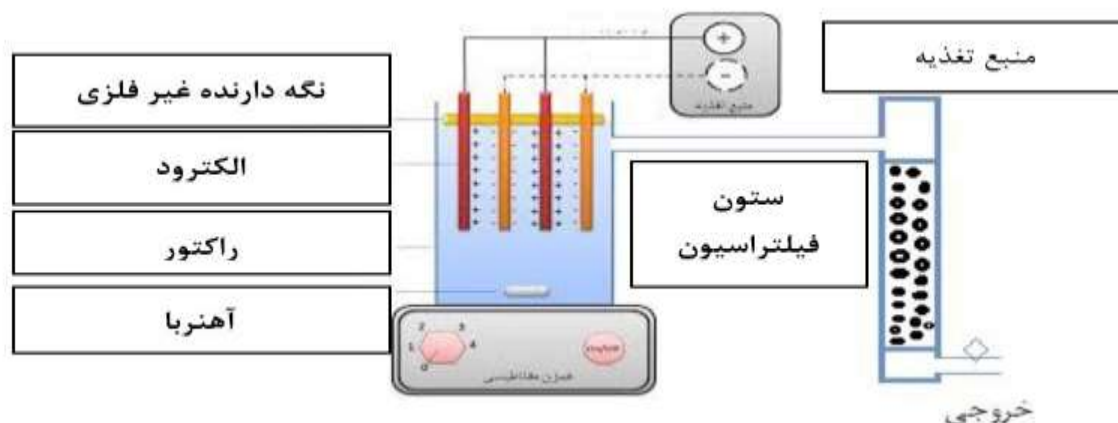
روش تحقیق:

انعداد الکتریکی به حجم مفید ۵۰۰ میلی لیتر و یک بستر فیلتراسیون ۵۰ سانتی متری در آزمایشگاه استفاده شد. راکتور مورد استفاده مجهز به دستگاه مولد جریان الکتریکی مستقیم و

این پژوهش در آزمایشگاه خصوصی پایا پرداز محیط واقع در خیابان آزادی انجام شد. در این مطالعه از یک راکتور واکنش

که مقادیر کروم و سیانید در آن ها قرائت شده اند به ترتیب برابر با ۳۵۹/۷ و ۶۱۲ نانومتر است. آزمایشات با استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی و ستون فیلتراسیون با طراحی مرحله به مرحله (OFAT) هر یک از متغیرها، صورت گرفته است (شکل ۳ و ۴). به این شکل که در هر مرحله یکی از متغیرهای مورد مطالعه، در مقادیر تعیین شده، در نظر گرفته شدند، باقی متغیرها در یک مقدار میانی ثابت قرار گرفته و تاثیر تغییرات آن ها سنجیده شد و مقداری که بالاترین کارایی را داشت انتخاب گردید و در مراحل بعدی آن متغیر در مقدار به دست آمده، مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین مقادیر کروم و سیانید با استفاده از دستگاه جذب اتمی بالا، یک میلی لیتر نمونه فاضلاب پس از انجام فرایند توسط سانتریفیوژ خالص سازی و به ورودی دستگاه تزریق گردید. در ادامه در دمای ۲۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه پیکهای فلزات سنگین در دستگاه قرائت شد.

بستر فیلتراسیون بود، همچنین از پمپ برای انتقال جریان از راکتور الکتروکواگولاسیون به داخل ستون جذب استفاده گردید. برای بررسی تاثیر فرایندهای اشاره شده در تصفیه فاضلاب صنعتی در کاهش میزان فلز سنگین کروم و سیانید، از دستگاه جذب اتمی مدل Savant AA ساخت کمپانی GBC استرالیا استفاده شد. دو کالیبراسیون برای دستگاه جذب اتمی در آزمایشگاه پاپا پرداز محیط انجام می گردید: اول اینکه از طرف شرکت بهسا هرسال یکبار دستگاه ها کالیبره می شوند و اما دوم: قبل از آنالیز، محلول های استاندارد به عنوان کنترل کننده با غلظت های معین از رقیق به غلیظ وارد می شوند، پس از آنکه جذب به مقدار ثابت رسید دستگاه ۳ بار جذب را می خواند و میانگین آن را ثبت می کند این کار برای تمامی استاندارد ها انجام می شود و بعد از آن نوبت به نمونه هایی با غلظت مجهول می رسد که توسط اپراتور جذب آن ها ثبت می شود در آخر نمودار کالیبراسیون رسم می شود. لازم به ذکر است طول موجی



شکل ۲- تصویر شماتیک فرایند انعقاد الکتریکی و ستون حاوی پامیس

Figure 2. Schematic image of electrocoagulation process and column containing pumice



شکل ۳- تصویر واقعی فرایند انعقاد الکتریکی

Figure 3. Actual image of electrocoagulation process

نمونه برداری در بازه‌های زمانی اشاره شده در جدول ۳ صورت گرفت. در انتهای این مرحله pH و زمان واکنش به صورت همزمان بهینه سازی شد و شرایطی که بالاترین مقدار حذف در آن صورت گرفت، به عنوان شرایط بهینه تعیین گردید. در این مطالعه از منبع مولد جریان الکتریکی مستقیم با توان ۲۲۰ وات استفاده شد. این دستگاه جریان متناوب شهری را به جریان مستقیم تبدیل کرده و با توان حداکثر ۶۰ ولت و جریان ۵ آمپر در دسترس قرار می دهد.

تعیین مقدار مطلوب متغیرها در فرایند انعقاد الکتریکی:

۱- تعیین تاثیر pH محیط و زمان واکنش:

بدین منظور، ابتدا مقدار ۵۰۰ میلی لیتر فاضلاب خام صنعتی با مشخصات فیزیکوشیمیایی اولیه‌ی مشخص برداشته شد، سپس با استفاده از اسید و باز، pH نمونه‌ها در مقادیر اشاره شده در جدول ۳ تنظیم گردید. سایر مقادیر از جمله میزان جریان الکتریکی ۲ (آمپر) و ارتفاع بستر فیلتراسیون ۲۰ (سانتی متر) ثابت در نظر گرفته شد (با توجه به نتایج مطالعات گذشته فرض می‌گیریم). از زمان صفر تا ثابت شدن کارایی فرایند،

جدول ۳- متغیرها و محدوده‌ها

Table 3. Variables and ranges

ردیف	متغیر	محدوده	واحد	توضیحات
۱	PH اولیه محیط	۵، ۷، ۹	---	انتخاب یک محیط اسیدی ضعیف، یک محیط خنثی و یک محیط بازی ضعیف
۲	زمان واکنش	۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰	دقیقه	انتخاب زمان‌های مناسب جهت بررسی دقیق‌تر
۳	جریان الکتریکی مستقیم	۱، ۲، ۳	آمپر	جریان الکتریکی در واحد حجم و زمان
۴	ارتفاع ستون فیلتراسیون	۱۰، ۲۰، ۳۰	سانتی‌متر	تامین سطح مناسب جهت انجام فیلتراسیون

۲- تعیین تاثیر جریان الکتریکی مستقیم:

ارتفاع ستون فیلتراسیون همانند مرحله قبل ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته شد و جریان‌های مختلف بر اساس جدول ۳ به سطح الکترودها اعمال گردید. در انتها، جریان الکتریکی بهینه‌ای که در آن فرایند انعقاد الکتریکی دارای بالاترین کارایی حذف

بدین منظور، ابتدا مقدار ۵۰۰ میلی لیتر فاضلاب خام صنعتی با مشخصات فیزیکوشیمیایی اولیه‌ی مشخص برداشته شد. در ادامه با استفاده از اسید و باز، pH نمونه‌ها در مقدار بهینه به دست آمده در مرحله اول تنظیم گردید. همچنین در این مرحله

فیلتراسیون حاوی پامیس ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر به کار برده شد و در انتهای این مرحله، ارتفاع ستونی که در آن فرایند انعقاد الکتریکی دارای بالاترین کارایی حذف بود به عنوان تعداد ارتفاع بهینه ستون انتخاب شد. با انجام این ۳ مرحله بهینه سازی فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون توسط پامیس در تصفیه فاضلاب صنعتی انجام گردید و بهترین شرایط برای بالاترین میزان حذف کروم و سیانید بدست آمد. آزمایشات و تعداد نمونه ها در جدول ۴ ارایه شده است.

سیانید و کروم بود به عنوان جریان الکتریکی بهینه انتخاب و در مرحله بعد از این مقدار جریان استفاده شد.

۳- تعیین تاثیر ارتفاع ستون فیلتراسیون:

بدین منظور، ابتدا مقدار ۵۰۰ میلی لیتر فاضلاب خام صنعتی با مشخصات فیزیکوشیمیایی اولیه مشخص برداشته شد. در ادامه با استفاده از اسید و باز، جریان الکتریکی و pH نمونه‌ها در مقدار بهینه به دست آمده در مرحله اول در مقدار بهینه تنظیم شدند. در این مرحله بر اساس جدول ۳ ارتفاع ستون

جدول ۴- تعداد نمونه ها و مراحل انجام فرآیند

Table 4. Number of samples and steps of the process

مراحل	نام مرحله	PH	زمان (دقیقه)	جریان الکتریکی (آمپر)	ارتفاع ستون (سانتی متر)	تعداد آزمایش‌ها
۱	بهینه‌سازی PH	۵، ۷، ۹	۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، صفر	۲	۲۰	۳
۲	بهینه‌سازی جریان الکتریکی مستقیم	در حالت بهینه	۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، صفر	۱، ۲، ۳	۲۰	۳
۳	بهینه‌سازی ارتفاع ستون	در حالت بهینه	۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، صفر	در حالت بهینه	۱۰، ۲۰، ۳۰	۳
مجموع آزمایش‌ها ۹						

با استفاده از اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید در مقادیر ۹، ۷ و ۵ تنظیم گردید. سایر متغیرها در نقطه میانی ثابت در نظر گرفته شد (جریان=۲ آمپر، ارتفاع پامیس در ستون فیلتراسیون=۲۰ سانتی متر). در بازه زمانی ۰ تا ۶۰ دقیقه در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری از محفظه واکنش انجام شد و میزان کاهش اشاره شده مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت pH و زمان واکنشی که در آن بالاترین میزان حذف مشاهده شد، به عنوان pH و زمان بهینه انتخاب و در ادامه مراحل، از این مقادیر استفاده شد.

تعداد مراحل آزمایش ۹ مرحله تعیین شد. تعداد نمونه‌های برداشت شده بر اساس زمان‌های نمونه‌برداری ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و صفر دقیقه و در نظر گرفتن متغیرهای pH، جریان الکتریکی و ارتفاع ستون ۴۵ نمونه بود.

بهینه سازی فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون

۱- بهینه سازی همزمان زمان و pH اولیه فاضلاب:

در این مرحله دو پارامتر pH اولیه فاضلاب صنعتی خام و زمان واکنش مورد بهینه‌سازی قرار گرفتند که نتایج آن در جداول ۶ و ۷ برای فلز کروم و سیانید ارایه شده است. در این بخش pH

جدول ۵- تعیین تاثیر زمان واکنش و pH بر کارایی فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف سیانید (شرایط فرایند :

جریان = ۲ آمپر، ارتفاع بستر فیلتراسیون = ۲۰ سانتی متر)

Table 5. Determining the effect of reaction time and pH on the efficiency of the electrocoagulation process
Filtration to remove cyanide (Process conditions: current = 2 amps, filtration bed height = 20 cm)

PH	زمان واکنش (دقیقه)					
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	
۵	۰	۱۷	۳۷	۶۲	۷۰	
۷	۰	۲۱	۴۹	۷۱	۷۴	
۹	۰	۱۴	۳۰	۵۱	۶۲	

جدول ۶- تعیین تاثیر زمان واکنش و pH بر کارایی فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف کروم (شرایط فرایند :

جریان = ۲ آمپر، ارتفاع بستر فیلتراسیون = ۲۰ سانتی متر)

Table 6. Determining the effect of reaction time and pH on the efficiency of the electrocoagulation process
Filtration to remove chromium (Process conditions: current = 2 amps, filtration bed height = 20 cm)

PH	زمان واکنش (دقیقه)					
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰	
۵	۰	۲۰	۴۲	۶۵	۷۲	
۷	۰	۲۵	۵۳	۷۳	۷۵	
۹	۰	۱۸	۳۸	۵۴	۶۵	

شده است (به دلیل در نظر گرفتن نقاط میانی سایر پارامترها). در فرایند کواگولاسیون (انعقاد شیمیایی pH) گزارش شده برای منعقد کننده‌های خانواده آهن در محدوده ۵/۵ تا ۸/۵ ذکر شده است. در pH برابر ۷ به دلیل خنثی بودن بارهای مثبت و منفی و تشکیل بهتر لخته های با وزن مناسب، انتظار می رود کارایی فرایند بالاتر از سایر pH ها باشد.

۲- بهینه سازی جریان الکتریکی

در این مرحله، جریان الکتریکی مستقیم اعمال شده به سطح الکترودها، مورد بهینه سازی قرار گرفت. در این بخش pH با استفاده از اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید در pH برابر ۷ (pH تعیین شده در مرحله قبل) تنظیم گردید. جریان الکتریکی مستقیم در مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۷، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴، ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷، ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۰، ۳۵۱، ۳۵۲، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۵۹، ۳۶۰، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳، ۳۶۴، ۳۶۵، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۶۸، ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۲، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۷۶، ۳۷۷، ۳۷۸، ۳۷۹، ۳۸۰، ۳۸۱، ۳۸۲، ۳۸۳، ۳۸۴، ۳۸۵، ۳۸۶، ۳۸۷، ۳۸۸، ۳۸۹، ۳۹۰، ۳۹۱، ۳۹۲، ۳۹۳، ۳۹۴، ۳۹۵، ۳۹۶، ۳۹۷، ۳۹۸، ۳۹۹، ۴۰۰، ۴۰۱، ۴۰۲، ۴۰۳، ۴۰۴، ۴۰۵، ۴۰۶، ۴۰۷، ۴۰۸، ۴۰۹، ۴۱۰، ۴۱۱، ۴۱۲، ۴۱۳، ۴۱۴، ۴۱۵، ۴۱۶، ۴۱۷، ۴۱۸، ۴۱۹، ۴۲۰، ۴۲۱، ۴۲۲، ۴۲۳، ۴۲۴، ۴۲۵، ۴۲۶، ۴۲۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۰، ۴۳۱، ۴۳۲، ۴۳۳، ۴۳۴، ۴۳۵، ۴۳۶، ۴۳۷، ۴۳۸، ۴۳۹، ۴۴۰، ۴۴۱، ۴۴۲، ۴۴۳، ۴۴۴، ۴۴۵، ۴۴۶، ۴۴۷، ۴۴۸، ۴۴۹، ۴۵۰، ۴۵۱، ۴۵۲، ۴۵۳، ۴۵۴، ۴۵۵، ۴۵۶، ۴۵۷، ۴۵۸، ۴۵۹، ۴۶۰، ۴۶۱، ۴۶۲، ۴۶۳، ۴۶۴، ۴۶۵، ۴۶۶، ۴۶۷، ۴۶۸، ۴۶۹، ۴۷۰، ۴۷۱، ۴۷۲، ۴۷۳، ۴۷۴، ۴۷۵، ۴۷۶، ۴۷۷، ۴۷۸، ۴۷۹، ۴۸۰، ۴۸۱، ۴۸۲، ۴۸۳، ۴۸۴، ۴۸۵، ۴۸۶، ۴۸۷، ۴۸۸، ۴۸۹، ۴۹۰، ۴۹۱، ۴۹۲، ۴۹۳، ۴۹۴، ۴۹۵، ۴۹۶، ۴۹۷، ۴۹۸، ۴۹۹، ۵۰۰، ۵۰۱، ۵۰۲، ۵۰۳، ۵۰۴، ۵۰۵، ۵۰۶، ۵۰۷، ۵۰۸، ۵۰۹، ۵۱۰، ۵۱۱، ۵۱۲، ۵۱۳، ۵۱۴، ۵۱۵، ۵۱۶، ۵۱۷، ۵۱۸، ۵۱۹، ۵۲۰، ۵۲۱، ۵۲۲، ۵۲۳، ۵۲۴، ۵۲۵، ۵۲۶، ۵۲۷، ۵۲۸، ۵۲۹، ۵۳۰، ۵۳۱، ۵۳۲، ۵۳۳، ۵۳۴، ۵۳۵، ۵۳۶، ۵۳۷، ۵۳۸، ۵۳۹، ۵۴۰، ۵۴۱، ۵۴۲، ۵۴۳، ۵۴۴، ۵۴۵، ۵۴۶، ۵۴۷، ۵۴۸، ۵۴۹، ۵۵۰، ۵۵۱، ۵۵۲، ۵۵۳، ۵۵۴، ۵۵۵، ۵۵۶، ۵۵۷، ۵۵۸، ۵۵۹، ۵۶۰، ۵۶۱، ۵۶۲، ۵۶۳، ۵۶۴، ۵۶۵، ۵۶۶، ۵۶۷، ۵۶۸، ۵۶۹، ۵۷۰، ۵۷۱، ۵۷۲، ۵۷۳، ۵۷۴، ۵۷۵، ۵۷۶، ۵۷۷، ۵۷۸، ۵۷۹، ۵۸۰، ۵۸۱، ۵۸۲، ۵۸۳، ۵۸۴، ۵۸۵، ۵۸۶، ۵۸۷، ۵۸۸، ۵۸۹، ۵۹۰، ۵۹۱، ۵۹۲، ۵۹۳، ۵۹۴، ۵۹۵، ۵۹۶، ۵۹۷، ۵۹۸، ۵۹۹، ۶۰۰، ۶۰۱، ۶۰۲، ۶۰۳، ۶۰۴، ۶۰۵، ۶۰۶، ۶۰۷، ۶۰۸، ۶۰۹، ۶۱۰، ۶۱۱، ۶۱۲، ۶۱۳، ۶۱۴، ۶۱۵، ۶۱۶، ۶۱۷، ۶۱۸، ۶۱۹، ۶۲۰، ۶۲۱، ۶۲۲، ۶۲۳، ۶۲۴، ۶۲۵، ۶۲۶، ۶۲۷، ۶۲۸، ۶۲۹، ۶۳۰، ۶۳۱، ۶۳۲، ۶۳۳، ۶۳۴، ۶۳۵، ۶۳۶، ۶۳۷، ۶۳۸، ۶۳۹، ۶۴۰، ۶۴۱، ۶۴۲، ۶۴۳، ۶۴۴، ۶۴۵، ۶۴۶، ۶۴۷، ۶۴۸، ۶۴۹، ۶۵۰، ۶۵۱، ۶۵۲، ۶۵۳، ۶۵۴، ۶۵۵، ۶۵۶، ۶۵۷، ۶۵۸، ۶۵۹، ۶۶۰، ۶۶۱، ۶۶۲، ۶۶۳، ۶۶۴، ۶۶۵، ۶۶۶، ۶۶۷، ۶۶۸، ۶۶۹، ۶۷۰، ۶۷۱، ۶۷۲، ۶۷۳، ۶۷۴، ۶۷۵، ۶۷۶، ۶۷۷، ۶۷۸، ۶۷۹، ۶۸۰، ۶۸۱، ۶۸۲، ۶۸۳، ۶۸۴، ۶۸۵، ۶۸۶، ۶۸۷، ۶۸۸، ۶۸۹، ۶۹۰، ۶۹۱، ۶۹۲، ۶۹۳، ۶۹۴، ۶۹۵، ۶۹۶، ۶۹۷، ۶۹۸، ۶۹۹، ۷۰۰، ۷۰۱، ۷۰۲، ۷۰۳، ۷۰۴، ۷۰۵، ۷۰۶، ۷۰۷، ۷۰۸، ۷۰۹، ۷۱۰، ۷۱۱، ۷۱۲، ۷۱۳، ۷۱۴، ۷۱۵، ۷۱۶، ۷۱۷، ۷۱۸، ۷۱۹، ۷۲۰، ۷۲۱، ۷۲۲، ۷۲۳، ۷۲۴، ۷۲۵، ۷۲۶، ۷۲۷، ۷۲۸، ۷۲۹، ۷۳۰، ۷۳۱، ۷۳۲، ۷۳۳، ۷۳۴، ۷۳۵، ۷۳۶، ۷۳۷، ۷۳۸، ۷۳۹، ۷۴۰، ۷۴۱، ۷۴۲، ۷۴۳، ۷۴۴، ۷۴۵، ۷۴۶، ۷۴۷، ۷۴۸، ۷۴۹، ۷۵۰، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۴، ۷۵۵، ۷۵۶، ۷۵۷، ۷۵۸، ۷۵۹، ۷۶۰، ۷۶۱، ۷۶۲، ۷۶۳، ۷۶۴، ۷۶۵، ۷۶۶، ۷۶۷، ۷۶۸، ۷۶۹، ۷۷۰، ۷۷۱، ۷۷۲، ۷۷۳، ۷۷۴، ۷۷۵، ۷۷۶، ۷۷۷، ۷۷۸، ۷۷۹، ۷۸۰، ۷۸۱، ۷۸۲، ۷۸۳، ۷۸۴، ۷۸۵، ۷۸۶، ۷۸۷، ۷۸۸، ۷۸۹، ۷۹۰، ۷۹۱، ۷۹۲، ۷۹۳، ۷۹۴، ۷۹۵، ۷۹۶، ۷۹۷، ۷۹۸، ۷۹۹، ۸۰۰، ۸۰۱، ۸۰۲، ۸۰۳، ۸۰۴، ۸۰۵، ۸۰۶، ۸۰۷، ۸۰۸، ۸۰۹، ۸۱۰، ۸۱۱، ۸۱۲، ۸۱۳، ۸۱۴، ۸۱۵، ۸۱۶، ۸۱۷، ۸۱۸، ۸۱۹، ۸۲۰، ۸۲۱، ۸۲۲، ۸۲۳، ۸۲۴، ۸۲۵، ۸۲۶، ۸۲۷، ۸۲۸، ۸۲۹، ۸۳۰، ۸۳۱، ۸۳۲، ۸۳۳، ۸۳۴، ۸۳۵، ۸۳۶، ۸۳۷، ۸۳۸، ۸۳۹، ۸۴۰، ۸۴۱، ۸۴۲، ۸۴۳، ۸۴۴، ۸۴۵، ۸۴۶، ۸۴۷، ۸۴۸، ۸۴۹، ۸۵۰، ۸۵۱، ۸۵۲، ۸۵۳، ۸۵۴، ۸۵۵، ۸۵۶، ۸۵۷، ۸۵۸، ۸۵۹، ۸۶۰، ۸۶۱، ۸۶۲، ۸۶۳، ۸۶۴، ۸۶۵، ۸۶۶، ۸۶۷، ۸۶۸، ۸۶۹، ۸۷۰، ۸۷۱، ۸۷۲، ۸۷۳، ۸۷۴، ۸۷۵، ۸۷۶، ۸۷۷، ۸۷۸، ۸۷۹، ۸۸۰، ۸۸۱، ۸۸۲، ۸۸۳، ۸۸۴، ۸۸۵، ۸۸۶، ۸۸۷، ۸۸۸، ۸۸۹، ۸۹۰، ۸۹۱، ۸۹۲، ۸۹۳، ۸۹۴، ۸۹۵، ۸۹۶، ۸۹۷، ۸۹۸، ۸۹۹، ۹۰۰، ۹۰۱، ۹۰۲، ۹۰۳، ۹۰۴، ۹۰۵، ۹۰۶، ۹۰۷، ۹۰۸، ۹۰۹، ۹۱۰، ۹۱۱، ۹۱۲، ۹۱۳، ۹۱۴، ۹۱۵، ۹۱۶، ۹۱۷، ۹۱۸، ۹۱۹، ۹۲۰، ۹۲۱، ۹۲۲، ۹۲۳، ۹۲۴، ۹۲۵، ۹۲۶، ۹۲۷، ۹۲۸، ۹۲۹، ۹۳۰، ۹۳۱، ۹۳۲، ۹۳۳، ۹۳۴، ۹۳۵، ۹۳۶، ۹۳۷، ۹۳۸، ۹۳۹، ۹۴۰، ۹۴۱، ۹۴۲، ۹۴۳، ۹۴۴، ۹۴۵، ۹۴۶، ۹۴۷، ۹۴۸، ۹۴۹، ۹۵۰، ۹۵۱، ۹۵۲، ۹۵۳، ۹۵۴، ۹۵۵، ۹۵۶، ۹۵۷، ۹۵۸، ۹۵۹، ۹۶۰، ۹۶۱، ۹۶۲، ۹۶۳، ۹۶۴، ۹۶۵، ۹۶۶، ۹۶۷، ۹۶۸، ۹۶۹، ۹۷۰، ۹۷۱، ۹۷۲، ۹۷۳، ۹۷۴، ۹۷۵، ۹۷۶، ۹۷۷، ۹۷۸، ۹۷۹، ۹۸۰، ۹۸۱، ۹۸۲، ۹۸۳، ۹۸۴، ۹۸۵، ۹۸۶، ۹۸۷، ۹۸۸، ۹۸۹، ۹۹۰، ۹۹۱، ۹۹۲، ۹۹۳، ۹۹۴، ۹۹۵، ۹۹۶، ۹۹۷، ۹۹۸، ۹۹۹، ۱۰۰۰، ۱۰۰۱، ۱۰۰۲، ۱۰۰۳، ۱۰۰۴، ۱۰۰۵، ۱۰۰۶، ۱۰۰۷، ۱۰۰۸، ۱۰۰۹، ۱۰۱۰، ۱۰۱۱، ۱۰۱۲، ۱۰۱۳، ۱۰۱۴، ۱۰۱۵، ۱۰۱۶، ۱۰۱۷، ۱۰۱۸، ۱۰۱۹، ۱۰۲۰، ۱۰۲۱، ۱۰۲۲، ۱۰۲۳، ۱۰۲۴، ۱۰۲۵، ۱۰۲۶، ۱۰۲۷، ۱۰۲۸، ۱۰۲۹، ۱۰۳۰، ۱۰۳۱، ۱۰۳۲، ۱۰۳۳، ۱۰۳۴، ۱۰۳۵، ۱۰۳۶، ۱۰۳۷، ۱۰۳۸، ۱۰۳۹، ۱۰۴۰، ۱۰۴۱، ۱۰۴۲، ۱۰۴۳، ۱۰۴۴، ۱۰۴۵، ۱۰۴۶، ۱۰۴۷، ۱۰۴۸، ۱۰۴۹، ۱۰۵۰، ۱۰۵۱، ۱۰۵۲، ۱۰۵۳، ۱۰۵۴، ۱۰۵۵، ۱۰۵۶، ۱۰۵۷، ۱۰۵۸، ۱۰۵۹، ۱۰۶۰، ۱۰۶۱، ۱۰۶۲، ۱۰۶۳، ۱۰۶۴، ۱۰۶۵، ۱۰۶۶، ۱۰۶۷، ۱۰۶۸، ۱۰۶۹، ۱۰۷۰، ۱۰۷۱، ۱۰۷۲، ۱۰۷۳، ۱۰۷۴، ۱۰۷۵، ۱۰۷۶، ۱۰۷۷، ۱۰۷۸، ۱۰۷۹، ۱۰۸۰، ۱۰۸۱، ۱۰۸۲، ۱۰۸۳، ۱۰۸۴، ۱۰۸۵، ۱۰۸۶، ۱۰۸۷، ۱۰۸۸، ۱۰۸۹، ۱۰۹۰، ۱۰۹۱، ۱۰۹۲، ۱۰۹۳، ۱۰۹۴، ۱۰۹۵، ۱۰۹۶، ۱۰۹۷، ۱۰۹۸، ۱۰۹۹، ۱۱۰۰، ۱۱۰۱، ۱۱۰۲، ۱۱۰۳، ۱۱۰۴، ۱۱۰۵، ۱۱۰۶، ۱۱۰۷، ۱۱۰۸، ۱۱۰۹، ۱۱۱۰، ۱۱۱۱، ۱۱۱۲، ۱۱۱۳، ۱۱۱۴، ۱۱۱۵، ۱۱۱۶، ۱۱۱۷، ۱۱۱۸، ۱۱۱۹، ۱۱۲۰، ۱۱۲۱، ۱۱۲۲، ۱۱۲۳، ۱۱۲۴، ۱۱۲۵، ۱۱۲۶، ۱۱۲۷، ۱۱۲۸، ۱۱۲۹، ۱۱۳۰، ۱۱۳۱، ۱۱۳۲، ۱۱۳۳، ۱۱۳۴، ۱۱۳۵، ۱۱۳۶، ۱۱۳۷، ۱۱۳۸، ۱۱۳۹، ۱۱۴۰، ۱۱۴۱، ۱۱۴۲، ۱۱۴۳، ۱۱۴۴، ۱۱۴۵، ۱۱۴۶، ۱۱۴۷، ۱۱۴۸، ۱۱۴۹، ۱۱۵۰، ۱۱۵۱، ۱۱۵۲، ۱۱۵۳، ۱۱۵۴، ۱۱۵۵، ۱۱۵۶، ۱۱۵۷، ۱۱۵۸، ۱۱۵۹، ۱۱۶۰، ۱۱۶۱، ۱۱۶۲، ۱۱۶۳، ۱۱۶۴، ۱۱۶۵، ۱۱۶۶، ۱۱۶۷، ۱۱۶۸، ۱۱۶۹، ۱۱۷۰، ۱۱۷۱، ۱۱۷۲، ۱۱۷۳، ۱۱۷۴، ۱۱۷۵، ۱۱۷۶، ۱۱۷۷، ۱۱۷۸، ۱۱۷۹، ۱۱۸۰، ۱۱۸۱، ۱۱۸۲، ۱۱۸۳، ۱۱۸۴، ۱۱۸۵، ۱۱۸۶، ۱۱۸۷، ۱۱۸۸، ۱۱۸۹، ۱۱۹۰، ۱۱۹۱، ۱۱۹۲، ۱۱۹۳، ۱۱۹۴، ۱۱۹۵، ۱۱۹۶، ۱۱۹۷، ۱۱۹۸، ۱۱۹۹، ۱۲۰۰، ۱۲۰۱، ۱۲۰۲، ۱۲۰۳، ۱۲۰۴، ۱۲۰۵، ۱۲۰۶، ۱۲۰۷، ۱۲۰۸، ۱۲۰۹، ۱۲۱۰، ۱۲۱۱، ۱۲۱۲، ۱۲۱۳، ۱۲۱۴، ۱۲۱۵، ۱۲۱۶، ۱۲۱۷، ۱۲۱۸، ۱۲۱۹، ۱۲۲۰، ۱۲۲۱، ۱۲۲۲، ۱۲۲۳، ۱۲۲۴، ۱۲۲۵، ۱۲۲۶، ۱۲۲۷، ۱۲۲۸، ۱۲۲۹، ۱۲۳۰، ۱۲۳۱، ۱۲۳۲، ۱۲۳۳، ۱۲۳۴، ۱۲۳۵، ۱۲۳۶، ۱۲۳۷، ۱۲۳۸، ۱۲۳۹، ۱۲۴۰، ۱۲۴۱، ۱۲۴۲، ۱۲۴۳، ۱۲۴۴، ۱۲۴۵، ۱۲۴۶، ۱۲۴۷، ۱۲۴۸، ۱۲۴۹، ۱۲۵۰، ۱۲۵۱، ۱۲۵۲، ۱۲۵۳، ۱۲۵۴، ۱۲۵۵، ۱۲۵۶، ۱۲۵۷، ۱۲۵۸، ۱۲۵۹، ۱۲۶۰، ۱۲۶۱، ۱۲۶۲، ۱۲۶۳، ۱۲۶۴، ۱۲۶۵، ۱۲۶۶، ۱۲۶۷، ۱۲۶۸، ۱۲۶۹، ۱۲۷۰، ۱۲۷۱، ۱۲۷۲، ۱۲۷۳، ۱۲۷۴، ۱۲۷۵، ۱۲۷۶، ۱۲۷۷، ۱۲۷۸، ۱۲۷۹، ۱۲۸۰، ۱۲۸۱، ۱۲۸۲، ۱۲۸۳، ۱۲۸۴، ۱۲۸۵، ۱۲۸۶، ۱۲۸۷، ۱۲۸۸، ۱۲۸۹، ۱۲۹۰، ۱۲۹۱، ۱۲۹۲، ۱۲۹۳، ۱۲۹۴، ۱۲۹۵، ۱۲۹۶، ۱۲۹۷، ۱۲۹۸، ۱۲۹۹، ۱۳۰۰، ۱۳۰۱، ۱۳۰۲، ۱۳۰۳، ۱۳۰۴، ۱۳۰۵، ۱۳۰۶، ۱۳

الکتریکی مستقیم بهینه انتخاب و در ادامه مراحل، از این جریان استفاده شد.

برداری از محفظه واکنش انجام شد و میزان کاهش مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت آن جریان الکتریکی که در آن بالاترین میزان حذف کروم و سیانید مشاهده شد، به عنوان جریان

جدول ۷- تعیین تاثیر زمان جریان الکتریکی مستقیم بر کارآیی فرآیند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف سیانید (شرایط فرآیند: $\text{pH} = 7$ ، ارتفاع بستر فیلتراسیون = ۲۰ سانتی متر)

Table 7- Determination of the effect of direct electric current time on process efficiency Electrocoagulation and filtration in cyanide removal (Process conditions: $\text{pH} = 7$, filtration bed height = 20 cm)

جریان الکتریکی مستقیم (آمپر)	زمان واکنش (دقیقه)				
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰
۱	۰	۸	۲۰	۲۸	۴۵
۲	۰	۲۱	۴۹	۷۱	۷۴
۳	۰	۳۰	۵۷	۸۰	۸۴

جدول ۸- تعیین تاثیر زمان جریان الکتریکی مستقیم بر کارآیی فرآیند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف کروم (شرایط فرآیند: $\text{pH} = 7$ ، ارتفاع بستر فیلتراسیون = ۲۰ سانتی متر)

Table 8. Determination of the effect of direct electric current time on process efficiency Electrocoagulation and filtration in chromium removal (Process conditions: $\text{pH} = 7$, filtration bed height = 20 cm)

جریان الکتریکی مستقیم (آمپر)	زمان واکنش (دقیقه)				
	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰
۱	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۷
۲	۰	۲۵	۵۳	۷۳	۷۵
۳	۰	۳۲	۵۶	۸۳	۸۵

لخته را تسریع می کند. همچنین در بخش کاند، مقدار بیشتری یون هیدروژن تولید می شود که به شناورسازی آلاینده ها کمک می کند.

۳- بهینه سازی ارتفاع ستون فیلتراسیون

در این مرحله، متغیر ارتفاع ستون فیلتراسیون، مورد بهینه سازی قرار گرفت. در این بخش pH با استفاده از اسید سولفوریک و سدیم هیدروکسید برابر ۷ و جریان الکتریکی مستقیم در مقدار ۳ آمپر (مقدار بهینه تعیین شده در مرحله قبل) در نظر گرفته شدند. ارتفاع ستون فیلتراسیون در مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. در بازه زمانی ۰ تا ۶۰ دقیقه در زمان های صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰

بر اساس نتایج ارایه شده در جداول ۸ و ۹ مشخص شد که کارایی فرآیند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در کاهش بار آلودگی فاضلاب صنعتی در جریان برابر ۳ آمپر دارای بالاترین میزان در حذف کروم و سیانید بوده است، در این شرایط کارایی فرآیند به ترتیب برابر ۸۴ و ۸۵ درصد برای کروم و سیانید است. در پایان این مرحله، جریان الکتریکی مستقیم برابر با ۳ آمپر در نظر گرفته شد و در مراحل بعدی از این جریان استفاده شد. با افزایش میزان جریان الکتریکی به سطح الکترودها، مقدار بیشتری آهن دو ظرفیتی از سطح الکترودهای آند جدا می شود و تشکیل

دقیقه نمونه برداری از محفظه واکنش صورت گرفت و میزان کاهش کروم و سیانید مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، ارتفاع ستونی که در آن بالاترین میزان حذف سیانید و کروم مشاهده شد، به عنوان ارتفاع بهینه انتخاب شد.

جدول ۹- تعیین تاثیر ارتفاع ستون فیلتراسیون بر کارایی فرآیند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف سیانید (شرایط فرآیند: $\text{pH}=7$ جریان = ۳ آمپر، زمان: ۰-۶۰ دقیقه)

Table 9. Determining the effect of the height of the filtration column on the efficiency of the electrocoagulation and filtration process in removing cyanide (process conditions: $\text{pH}=7$, current = 3 amps, time 0-60 minutes)

زمان واکنش					
ارتفاع ستون	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰
۱۰ سانتی متر	۰	۱۸	۳۴	۴۲	۵۹
۲۰ سانتی متر	۰	۳۰	۵۷	۸۰	۸۴
۳۰ سانتی متر	۰	۳۵	۶۰	۸۵	۸۸

جدول ۱۰- تعیین تاثیر ارتفاع ستون فیلتراسیون بر کارایی فرآیند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف کروم (شرایط فرآیند: $\text{pH}=7$ جریان = ۳ آمپر، زمان: ۰-۶۰ دقیقه)

Table 10. Determining the effect of the height of the filtration column on the efficiency of the electrocoagulation and filtration process in removing chromium (process conditions: $\text{pH}=7$, current = 3 amps, time 0-60 minutes)

زمان واکنش					
ارتفاع ستون	۰	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰
۱۰ سانتی متر	۰	۲۲	۳۸	۵۰	۶۹
۲۰ سانتی متر	۰	۳۲	۵۶	۸۳	۸۵
۳۰ سانتی متر	۰	۳۹	۶۲	۸۹	۹۲

ترتیب ۱۵ و ۲۲ درصد از کروم و سیانید را توانست از فاضلاب جدا کند. افزایش کارایی فرایند تلفیقی انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون را می توان این گونه توصیف نمود که ایجاد لخته های درشت در فرایند انعقاد الکتریکی کمک بسیاری برای به دام انداختن فلز کروم و سیانید می نماید و در ادامه حین فیلتراسیون در خلل و فرج بستر به دام می افتند، در نهایت:

۱- شرایط بهینه فرایند عبارت است از pH برابر ۷، زمان واکنش برابر ۶۰ دقیقه، جریان الکتریکی برابر ۳ آمپر و ارتفاع ستون برابر ۳۰ سانتی متر ۲- در این شرایط، کارایی فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در حذف کروم و سیانید می تواند ۸۸ و ۹۲ درصد از غلظت اولیه را کاهش دهد. ۳- در فرایند انعقاد الکتریکی pH بهینه در حدود ۵-۷ است، که بر اساس

بر اساس نتایج ارایه شده مشخص شد که فرایند انعقاد الکتریکی با تلفیق عمل فیلتراسیون توسط پامیس، در کاهش بار آلودگی کروم و سیانید از فاضلاب صنعتی کارایی مناسبی دارد. بالاترین کارایی حذف در ارتفاع ستون برابر ۳۰ سانتی متر بدست آمد. این کارایی به ترتیب برای سیانید و کروم برابر ۸۸ و ۹۲ درصد بوده است.

تعیین اثر هم افزایی انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون

برای تعیین تاثیر هر یک از فرایندهای انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون، در شرایط بهینه، هریک از آنها بصورت مجزا مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج این بخش مشخص نمود که فرایند انعقاد الکتریکی به تنهایی ۶۵ و ۷۰ درصد از غلظت اولیه کروم و سیانید را حذف کرده است و فرایند فیلتراسیون مجزا به

بستر این اجازه را به جریان فاضلاب می‌دهد که مدت زمان بیشتری را در بستر طی نماید، همین امر باعث افزایش شانس فیلتراسیون می‌گردد.

۶- میزان فلز کروم و سیانید به ترتیب از مقدار ۱۳ و ۹/۰۸ میلی گرم در لیتر با راندمان ۹۲ و ۸۸ درصدی به ۰/۷۲ و ۱/۵۶ میلی گرم در لیتر رسیده است که بر اساس استاندارد محیط زیست (جدول استاندارد به خروجی فاضلاب) از نظر غلظت فلز کروم و سیانید، اجازه تخلیه به چاه جاذب و یا مصارف کشاورزی و آبیاری را داراست.

مستندات و مقالات pH برابر ۷ برای فرایند انعقاد الکتریکی با الکترودهای آهن، شرایط بهینه محسوب می‌شود (۳۴). ۴- افزایش جریان الکتریکی مستقیم در محفظه واکنش باعث افزایش جریان در سطح الکترودهای آهن شده و مقدار بیشتری آهن دو ظرفیتی از سطح الکترودها جدا می‌شود و وارد محیط واکنش می‌شود. این یون‌های دو ظرفیتی با آلاینده‌ها واکنش داده و هیدروکسیدهای فلزی تولید می‌نماید. این هیدروکسیدها بر اساس نیروی وزن از محیط جدا شده و فرایند تصفیه اتفاق می‌افتد. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش جریان باعث افزایش کارایی می‌شود. ۵- افزایش ارتفاع ستون در

جدول ۱۱- شرایط بهینه فرآیند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون در کاهش کروم و سیانید

Table 11. Optimum conditions of electrocoagulation and filtration process in reducing chromium and cyanide

مطابقت با استاندارد محیط زیست	غلظت نهایی (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	کارایی (درصد)	زمان واکنش (دقیقه)	ارتفاع ستون فیلتراسیون (سانتی‌متر)	جریان الکتریکی	آلاینده	pH پساب
دارد	۱/۵۶	۱۳	۸۸	۶۰	۳۰	۳ آمپر	سیانید	۷
دارد	۰/۷۲	۹/۰۸	۹۲	۶۰	۳۰	۳ آمپر	کروم	۷

بحث و نتیجه گیری

قابلیت را ایجاد کرد که بتوان پساب خروجی از این سیستم را به محیط زیست تخلیه نمود.

تاثیر تغییرات pH در فرایند انعقاد الکتریکی نشان دهنده تاثیرگذاری pH اولیه فاضلاب بسته به نوع فرایند بکار برده شده و نوع آلاینده و پساب بسیار گوناگون است. به عنوان مثال فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته مبنی بر تولید رادیکال هیدروکسیل در pH های اسیدی، فرایندهای جذب بر اساس خصوصیات جاذب و فرآیندهایی بر پایه ازن‌زنی در شرایط قلیایی دارای کارایی بالاتری هستند (۳۵). این متغیر مهم در فرایندهای کواگولاسیون شیمیایی و الکتروکواگولاسیون (انعقاد شیمیایی و انعقاد الکتروشیمیایی) از طریق تاثیر بر تشکیل انواع هیدروکسیدهای فلزی مانند هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم

فرایند انعقاد الکتریکی و فیلتراسیون به دلیل کارایی بالا (حذف ۸۸ درصد از سیانید و حذف ۹۲ درصد از فلز کروم اولیه)، می‌تواند برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی این ترکیب شیمیایی و فلز، به‌ویژه فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گیرد. از نقاط قوت این فرایند، سادگی آن در راه اندازی و راهبری است و در این پروسه فلزات به صورت کامل و مؤثر حذف می‌شوند. نتایج نشان داد که فرایند مورد استفاده دارای کارایی مناسبی در تصفیه فاضلاب صنعتی است و امکان استفاده از این فرایند، به عنوان تصفیه کامل و با پیش تصفیه نیز فراهم است. نکته ای که باید به آن اشاره شود این است که فرایند مورد نظر با کاهش غلظت به کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط استانداردها، این

حاضر نیز مشاهده شد (۴۰). این رفتار که راندمان تصفیه تا حدود زیادی تحت تاثیر بارگذاری جریان الکتریسیته است توسط برخی محققین به اثبات رسیده است. در این زمینه Sharma و همکاران در سال ۲۰۱۴ طی مطالعه ای که حذف آرسنیک را با استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی را مورد مطالعه قرار داده اند، به تأثیر ولتاژ در مطالعه اشاره کرده اند و نتایج مطالعاتشان نشان می دهد که افزایش ولتاژ مستقیم باعث افزایش کارایی حذف آرسنیک می شود. (۴۲).

یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر کارایی فرایند انعقاد الکتریکی، مدت زمان واکنش در طی انجام فرایند است. بدیهی است که با افزایش این مدت زمان کارایی نیز افزایش پیدا می کند. با افزایش زمان واکنش، این فرصت به عوامل دخیل بر کارایی داده می شود که تاثیرگذاری بیشتری بر کارایی حذف آلاینده داشته باشند. در فرایند انعقاد الکتریکی مستقیم به واسطه تولید یون های آهن ایجاد لخته و در ادامه به دام انداختن آلاینده ها و در نهایت کاهش حذف سیانید و کروم در کارایی فرایند دخیل بوده بنابراین واضح است که هر میزان زمان واکنش بالاتر باشد، حذف آلاینده بیشتر صورت می گیرد. باید توجه نمود که ممکن است با افزایش زمان واکنش کارایی افزایش پیدا نماید اما باید به این نکته توجه نمود که بحث اقتصادی فرایند نیز مطرح است و باید در نظر گرفت که افزایش کارایی دارای توجیه اقتصادی است یا خیر (۴۳) در این زمینه Ensano و همکاران در سال ۲۰۱۹ طی مطالعه ای به بررسی کارایی فرایند الکتروکواگولاسیون در تصفیه فاضلاب شهری حاوی ترکیبات دارویی پرداخته اند. در این مطالعه زمان واکنش بهینه ۹۰ دقیقه گزارش شده است (۴۴).

بر اساس نتایج بدست آمده کاملاً پرواضح است که کارایی فرایندها رابطه مستقیمی با افزایش ارتفاع ستون دارد. همانطور که اشاره شد بر اساس تئوری انتقال جرم، افزایش میزان جرمی و حجمی عامل فیلتراسیون (پامیس) در بستر ستون باعث افزایش شانس به دام افتادن فلز کروم و سیانید در بستر ستون می گردد و از آنجایی که هرچقدر ارتفاع بیشتری از پامیس در ستون باشد، فاضلاب مدت زمان بیشتری در ستون باقی می

بر کارایی فرایند در تصفیه آلاینده ها از محیط های آبی به ویژه آب و فاضلاب تاثیرگذار است (۳۷ و ۳۶).
نتایج حاکی از آن است که تغییرات pH پساب در کاهش COD در هنگام استفاده از الکترودهای آهن به عنوان آند موثر بوده است. علت این امر را می توان تولید و حضور گونه های رایج آهن در محلول یعنی $Fe(OH)_2$ و $Fe(OH)_3$ دانست که در هر شرایطی می توانند تشکیل گردند. در سایر مطالعات انجام گرفته نیز در واکنش های الکتروشیمیایی از تاثیر pH محیط به عنوان یک عامل مهم در انجام واکنش و نوع آلاینده تصریح شده است (۳۸). در این زمینه تکدستان و همکاران در سال ۲۰۱۱ بهترین کارایی حذف کدورت را در هنگام استفاده از فرایند انعقاد الکتریکی در pH محیط برابر با ۷ تخمین زده اند (۳۹).

در این تحقیق نتایج مرتبط به تاثیر تغییرات جریان الکتریسته بر فرایند انعقاد الکتریکی، نشان می دهد که جریان الکتریکی بر کارایی تصفیه اثر زیادی دارد. همان طور که انتظار می رفت مشاهده شد، برای یک زمان واکنش معین، با افزایش جریان برق اعمال شده در آن فرایند، کارایی حذف کروم و سیانید نیز به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. در شرایط جریان بالا مقدار بیشتری از فلز آهن (الکترو آند) اکسید می شود و نرخ جدا شدن یون های آهن دو ظرفیتی افزایش می یابد. در نتیجه، تولید مقادیر بیشتر رسوبات و لخته های هیدروکسیدی آهنی برای حذف کروم و سیانید تشکیل می شود. با افزایش جریان الکتریکی از ۱ به ۳ آمپر، میزان خوردگی الکترودهای آهن زیاد می شود. بنابراین تولید یون Fe^{+3} افزایش می یابد که این امر به نوبه خود باعث افزایش تشکیل هیدروکسیل فلزی می شود. بنابراین، کارایی حذف افزایش می یابد. علاوه بر این، این نکته که با افزایش در جریان، دانسیته و تعداد حباب های تشکیل شده در بخش کاتد افزایش یافته به اثبات رسیده است و این امر حذف سریع تر و بیشتر کروم و سیانید را به دنبال خواهد داشت (۴۰ و ۴۱). از سوی دیگر با کاهش میزان جریان الکتریسیته (اختلاف پتانسیل) زمان مورد نیاز برای دست یابی به راندمان های حذف مشابه افزایش می یابد، که این امر در مطالعه

4. Bernal-Martínez LA, Barrera-Díaz C, Solís-Morelos C, Natividad R. Synergy of electrochemical and ozonation processes in industrial wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2010;165(1):71-7.
5. Suman Raj DS, Anjaneyulu Y. Evaluation of biokinetic parameters for pharmaceutical wastewaters using aerobic oxidation integrated with chemical treatment. *Process Biochemistry*. 2005; 40 (1) 165 – 75
6. Di M, Liu X, Wang W, Wang J. Manuscript prepared for submission to environmental toxicology and pharmacology pollution in drinking water source areas: Microplastics in the Danjiangkou Reservoir, China. *Environmental toxicology and pharmacology*. 2019; 65:82-9.
7. Bautista P, Mohedano A, Casas J, Zazo J, Rodriguez J. An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2008;83(10):1323-38.
8. Leven S. Creativity: reframed as a biological process. *Brain and values: Psychology Press*; 2018. p. 427-70.
9. Esplugas S, Bila DM, Krause LGT, Dezotti M. Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;149(3):631-42.
10. Burdon F, Munz N, Reyes M, Focks A, Joss A, Räsänen K, et al. Agriculture versus wastewater pollution as drivers of macroinvertebrate community structure in streams. *Science of the*

ماند، بنابراین انتظار می رود با افزایش ارتفاع ستون موجب افزایش کارایی فرآیند شود(۴۵).

قابل ذکر است می توان موارد دیگری که در این مطالعه پوشش داده نشد را هم انجام داد از جمله: ۱- سایر متغیرهای تاثیر گذار بر کارایی فرایند مانند نحوه اتصال الکترودها، تعداد آن ها و دما مورد مطالعه قرار گیرد. ۲- فرایند در حالت جریان پیوسته مورد مطالعه قرار گیرد. ۳- فرایند در حالت جریان پیوسته مورد مطالعه قرار گیرد. ۴- پساب تصفیه شده توسط فرایند تلفیقی الکتروکواگولاسیون و فیلتراسیون، وارد سیستم تصفیه بیولوژیک گردد. ۵- پساب تصفیه شده توسط فرایند تلفیقی الکتروکواگولاسیون و فیلتراسیون، وارد سیستم تصفیه بیولوژیک گردد. ۶- از سایر مواد معدنی به جای پامیس در ستون فیلتراسیون استفاده شود. ۷- فرایند مورد مطالعه برای سایر فاضلاب های صنعتی مختص هر صنعت مورد استفاده قرار گیرد. ۸- فرایند مورد مطالعه برای فاضلاب های دیگر مانند فاضلاب های سطحی مورد مطالعه قرار گیرد.

References

1. Bird K, Boopathy R, Nathaniel R, LaFleur G. Water pollution and observation of acquired antibiotic resistance in Bayou Lafourche, a major drinking water source in Southeast Louisiana, USA. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;1-13.
2. Teng Q, Hu X-F, Luo F, Wang J, Zhang D-m. Promotion of rice-duck integrated farming in the water source areas of Shanghai: its positive effects on reducing agricultural diffuse pollution. *Environmental Earth Sciences*. 2019;78(5):171.
3. Rivas J, Gimeno O, Beltrán F. Wastewater recycling: Application of ozone based treatments to secondary effluents. *Chemosphere*. 2009;74(6):854-9.

- characteristics. water research. 2012;46(10):3177-88.
19. Emamjomeh MM, Sivakumar M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*. 2009;90(5):1663-79.
 20. Malakootian M, Mansoorian H, Moosazadeh M. Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. *Desalination*. 2010;255(1):67-71.
 21. Mollah MYA, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of hazardous materials*. 2001; 84 (1) 29 - 41 .
 22. Shin D, Shin W, Kim Y-H, Ho Han M, Choi S. Application of a combined process of moving-bed biofilm reactor (MBBR) and chemical coagulation for dyeing wastewater treatment. *Water science and technology*. 2006;54(9):181-9.
 23. Baudequin C, Couallier E, Rakib M, Deguerry I, Severac R, Pabon M. Purification of firefighting water containing a fluorinated surfactant by reverse osmosis coupled to electrocoagulation–filtration. *Separation and Purification Technology*. 2011;76(3):275-82.
 24. Babaee A, alavi Na, Jafarzadeh N. *Engineering of Environmental chemistry*. 2 ed. Tehran: Andisheh Rafie; 1389. p. 147.
 25. Turan NG, Mesci B, Ozgonenel O. The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of adsorption of Cu (II) from industrial leachate by Total Environment. 2019; 659:1256-65.
 11. Antonie RL. Fixed biological surfaces-wastewater treatment: the rotating biological contactor: CRC press; 2018.
 12. Feng Y, Yang S, Xia L, Wang Z, Suo N, Chen H, et al. In-situ ion exchange electrocatalysis biological coupling (i-IEEBC) for simultaneously enhanced degradation of organic pollutants and heavy metals in electroplating wastewater. *Journal of hazardous materials*. 2019; 364:562-70.
 13. JONIDI JA, Golbaz S, REZAEI KR. Concurrent removal of cyanide and hexavalent chromium from aqueous solution by coagulation and flocculation processes. 2014.
 14. Baral A, Engelken RD. Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA. *Environmental Science & Policy*. 2002;5(2):121-33.
 15. Asadollahfardi G, Zangoeei H, Motamedi V, Davoodi MJAIER-AIJ. Selection of coagulant using jar test and analytic hierarchy process: A case study of Mazandaran textile wastewater. 2018;7(1):1-11.
 16. Kabdaşlı I, Arslan-Alaton I, Ölmez-Hancı T, Tünay O. Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. *Environmental Technology Reviews*. 2012;1(1):2-45.
 17. Tanneru CT, Chellam S. Mechanisms of virus control during iron electrocoagulation–Microfiltration of surface water. *Water research*. 2012;46(7):2111-20.
 18. Harif T, Khai M, Adin A. Electrocoagulation versus chemical coagulation: coagulation/flocculation mechanisms and resulting flocc

33. Ghodrati S, Moussavi G. The optimization of electrocoagulation process for treatment of the textile wastewater by Response Surface Methodology (RSM). *Iranian Journal of Health and Environment*. 2014;7(2):239-52.
34. Maryam.m, Bahram. A, ali. T, Investigate the importance of self-purification ability of rivers in the preparation of wastewater discharge standards
35. Liu W, Jin L, Xu J, Liu J, Li Y, Zhou P, et al. Insight into pH dependent Cr (VI) removal with magnetic Fe₃S₄. *Chemical Engineering Journal*. 2019; 359:564-71.
36. Zhao H, Liu H, Qu J. Effect of pH on the aluminum salts hydrolysis during coagulation process: Formation and decomposition of polymeric aluminum species. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2009;330(1):105-12.
37. Lee S, Ihara M, Yamashita N, Tanaka H. Improvement of virus removal by pilot-scale coagulation-ultrafiltration process for wastewater reclamation: Effect of optimization of pH in secondary effluent. *Water research*. 2017; 114:23-30.
38. Hakizimana JN, Gourich B, Chafi M, Stiriba Y, Vial C, Drogui P, et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*. 2017; 404:1-21.
39. TAKDASTAN A, AZIMI A, SALARI Z. The use of electrocoagulation process for removal of turbidity, COD, detergent and phosphorus from carwash effluent. 2011.
40. Yavuz Y, Ögütveren Ü. Treatment of industrial estate wastewater by the pumice. *Chemical Engineering Journal*. 2011;171(3):1091-7
26. JONIDI JA, Golbaz S, REZAEI KR. Concurrent removal of cyanide and hexavalent chromium from aqueous solution by coagulation and flocculation processes. 2014.
27. Mahvi AH, Bazrafshan E. Removal of cadmium from industrial effluents by electrocoagulation process using aluminum electrodes. *World Appl Sci J*. 2007;2(1):34-9.
28. Feng J-w, Sun Y-b, Zheng Z, Zhang J-b, Shu L, Tian Y-c. Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Journal of Environmental Sciences*. 2007;19(12):1409-15.
29. Xiang DG. Electrocoagulation for varicose veins of the lower extremity [J]. *JOURNAL OF BEIJING MEDICAL UNIVERSITY*. 2000;2.
30. Zhang S, Zhang J, Wang W, Li F, Cheng X. Removal of phosphate from landscape water using an electrocoagulation process powered directly by photovoltaic solar modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2013; 117:73-80.
31. Pi K-W, Xiao Q, Zhang H-Q, Xia M, Gerson AR. Decolorization of synthetic methyl orange wastewater by electrocoagulation with periodic reversal of electrodes and optimization by RSM. *Process safety and environmental protection*. 2014;92(6):796-806.
32. Tehran province, Mallard city, Safadasht, south side of Nabi Akram (pbuh) square, non-profit construction and maintenance institute of Safadasht non-governmental industrial town (<http://www.safadashtiec.ir>), (<http://www.eiec.ir>)

- electrochemical advanced oxidation processes: effect of electrode materials. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2013; 140:92-7.
44. Ensano BMB, Borea L, Naddeo V, Belgiorno V, de Luna MDG, Balakrishnan M, et al. Applicability of the electrocoagulation process in treating real municipal wastewater containing pharmaceutical active compounds. *Journal of hazardous materials*. 2019; 361:367-
45. Yildiz S, Oran E. Sewage sludge disintegration by electrocoagulation. *International journal of environmental health research*. 2019;29(5):531-43.
- application of electrocoagulation process using iron electrodes. *Journal of environmental management*. 2018; 207:151-8.
41. Mohammadi AS, Mehralipour J, Shabanlo A, Roshanaie G, Barafreshtepour M, Asgari G. Comparing the electrocoagulation and electro-Fenton processes for removing nitrate in aqueous solution for Fe electrodes. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2013;23(104).
42. Sharma A, Adapureddy SM, Goel S. Arsenic Removal from Aqueous Samples In Batch Electrocoagulation Studies. *Int Proc Chem Biol Environ Eng*. 2014; 64:40-3.
43. Oturan N, Wu J, Zhang H, Sharma VK, Oturan MA. Electrocatalytic destruction of the antibiotic tetracycline in aqueous medium by