

Research Paper

Evaluation of Polyferric Sulfate (PFS) as a Coagulant for Chromium (VI) and Cadmium (II) Removal From Aqueous Solutions

Afshin Takdastan^{1,2}, Mehdi Jolanejad³, Abdolkazem Neisi^{4,5}, Mehrnosh Abtahi⁶, *Sahand Jorfi^{5,6}

1. Associate Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
2. Associate Professor, Environmental Technologies Research Center, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
3. MSc., Department of Environmental Health, Faculty of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Environmental Health, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
6. Assistant Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Citation: Takdastan A, Jolanejad M, Neisi AK, Abtahi M, Jorfi S. [Evaluation of Polyferric Sulfate (PFS) as a Coagulant for Chromium (VI) and Cadmium (II) Removal From Aqueous Solutions (Persian)]. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences. 2016; 23(4):698-705.



Received: 15 May 2016

Accepted: 8 Aug. 2016

Keywords:

Heavy metals,
Hexavalent chromium, Cadmium,
Polyferric sulphate,
Coagulation and sedimentation

ABSTRACT

Backgrounds Chromium and cadmium are two heavy metals having adverse effects on the health and environment, which are released to environment by waste streams. Because of high solubility, they are absorbed by living organisms and through food chain accumulate in human body. This study aimed to determine the efficiency of the polyferric sulfate (PFS) in removing of Cr_6+ and Cd_2+ from aqueous solutions.

Methods & Materials This study was investigated in bench scale using a jar test apparatus. The effect of pH (4-11), dose of coagulants (10-200 mg/l), initial amount of metals (1-100 mg/l) and settling time (15-9 min) were investigated. Cr and Cd concentration were determined by atomic absorption spectroscopy.

Results The result showed that the maximum removal efficiency was 52.82% for Cr and 93.13% for Cd, at pH values of 6 and 9, coagulant dosage of 100 and 50 mg/l, respectively, and settling time for 30 min.

Conclusion Coagulation and sedimentation by use of polyferric sulfate can be considered as an efficient process for removal of Cd and pretreatment of Cr.

* Corresponding Author:

Sahand Jorfi, PhD

Address: Department of Environmental Health, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

Tel: +98 (916) 3109153

E-mail: sahand369@yahoo.com

بررسی کارایی منعقدکننده پلی فریک سولفات در حذف کروم شش ظرفیتی و کادمیوم دوظرفیتی از محلول های آبی

افشین تکدستان^{۱*}، مهدی ژولانژاد^۲، عبدالکاظم نیسی^۳، مهرنوش ابطحی^۴، سهند جرفی^۵

- ۱- دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
- ۲- دانشیار، مرکز تحقیقات و فناوری های زیست محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
- ۳- کارشناس ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
- ۴- استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
- ۵- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران.
- ۶- استادیار، مرکز تحقیقات و فناوری های زیست محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۵
تاریخ پذیرش: ۱۸ مرداد ۱۳۹۵

اهداف کروم و کادمیوم از جمله فلزات سنگین با اثر سوء بهداشتی و زیست محیطی هستند که از طریق جریان های زائد وارد محیط می شوند. به دلیل حلال بودن فلزات سنگین در محیط های آبی این فلزات به سهولت توسط آرگانیسم های زنده جذب می شوند و با ورود به زنجیره غذایی در بدن انسان ها تجمع زیستی می یابند. هدف از این مطالعه تعیین کارایی منعقدکننده پلی فریک سولفات در حذف کروم شش ظرفیتی و کادمیوم دوظرفیتی از محلول های آبی است.

مواد و روش ها این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه جار اثر متغیرهای pH (۴ تا ۱۱)، دزای منعقدکننده (۱۰ تا ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر)، غلظت اولیه فلز (۱ تا ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) و زمان تنشینی (۱۵ تا ۹۰ دقیقه) بررسی شد. غلظت فلزات کروم و کادمیوم به روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی اندازه گیری شد.

یافته ها نتایج نشان داد بیشترین بازدهی حذف کروم ۵۲/۸۲ درصد و کادمیوم ۹۳/۱۳ درصد به ترتیب در pH ۶ و ۹ دزای منعقدکننده ۱۰۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر، مقدار کروم و کادمیوم ۱۰۰ و ۵۰ میلی گرم بر لیتر و زمان تنشینی ۳۰ دقیقه به دست آمد.

نتیجه گیری انعقاد و تنشینی با استفاده از پلی فریک سولفات می تواند به عنوان یک فرایند کارآمد برای حذف کادمیوم و پیش تصفیه کروم مدنظر قرار گیرد.

کلیدواژه ها:

فلزات سنگین، کروم شش ظرفیتی، کادمیوم، پلی فریک سولفات، انعقاد و تنشینی

مقدمه

سیستم عصبی و خون ساز و قلبی و عروقی، آسیب به کلیه و تجمع در بافت ها می شوند [۴]. همچنین وجود فلزات سنگین در فاضلاب می تواند عملکرد تصفیه بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار داده و کیفیت پساب خروجی تصفیه خانه را کاهش دهد [۵].

کروم از جمله فلزات سنگین است که بسیار واکنش پذیر است. دو حالت پایدار آن سه و شش ظرفیتی هستند [۶، ۷]. کروم شش ظرفیتی در مقایسه با کروم سه ظرفیتی ۱۰۰ برابر سمی تر و سرطان زا و جهش زا است [۸] و در فاضلاب صنایعی همچون آب کاری، فولاد، صنعت خودرو و دباغی کروم در غلظت های مختلف وجود دارد [۹]. سازمان جهانی بهداشت مقدار مجاز

از اوایل دهه ۷۰ میلادی نگرانی در زمینه اثرات مضر فلزات سنگین بر انسان و اکوسیستم های آبی افزایش یافته است [۱]. انتشار فلزات سنگین از فاضلاب صنایع به محیط از مشکلات عمده زیست محیطی به شمار می آید [۲]. بسیاری از فلزات سنگین مانند نیکل، سرب، کروم، کادمیوم، روی و جیوه در مقادیر جزئی در اکثر فاضلاب ها وجود دارند. وجود هر یک از این فلزات در مقادیر بالا به لحاظ سمی بودن در مصارف مفید آب اختلال ایجاد می کند [۳]. فلزات سنگین با ایجاد مکانیزم های متعدد باعث ایجاد اختلالاتی همچون سرطان زایی، اثرگذاری بر

* نویسنده مسئول:

دکتر سهند جرفی

نشانی: اهواز، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.

تلفن: ۳۱۰۹۱۵۳ (۹۱۶) ۹۸+

پست الکترونیکی: sahand369@yahoo.com

حذف فلز کروم از فاضلاب آب کاری با سولفات فروس و در pH طبیعی ۹۶/۵ درصد است [۲۰]. در مطالعه‌ای دیگر ژاو و همکاران (۲۰۱۰) میزان حذف فلز کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله انواع منعقدکننده منگنز را در pH خنثی ۸۵ درصد به دست آوردند [۲۱]. پلی فریک سولفات به عنوان منعقدکننده در حذف کدورت [۲۲، ۱۷، ۱۶]، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و کل جامدات [۲۳، ۱۷، ۱۶] و رنگ مطالعه شده است. هدف از مطالعه حاضر بررسی کارایی فرایند انعقاد و لخته‌سازی به وسیله منعقدکننده پلی فریک سولفات بر میزان حذف کروم و کادمیوم از محلول‌های آبی سنتتیک است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تمامی مواد شیمیایی از محصولات شرکت مرک آلمان بود. محلول مادر کروم شش ظرفیتی و کادمیوم دو ظرفیتی از انحلال دی کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) و نیترات کادمیوم ($Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$) در آب دیونیزه تهیه شد. محلول ۰/۱ مولار اسید کلریدریک و سود برای تنظیم pH استفاده شد.

روش اجرای آزمایش‌های انعقاد

این پژوهش از گروه مطالعات تجربی است و در مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست محیطی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز انجام شده است. مطالعه بر اساس روش یک عامل در زمان و با بهینه‌سازی مرحله متغیرهای پژوهش شامل pH، دزای منعقدکننده، زمان واکنش و غلظت اولیه فلز صورت پذیرفت. متغیر مدنظر در محدوده تعیین شده و دیگر متغیرها در سطح ثابت مطالعه شدند. اجرای مطالعه با دستگاه جار شامل مرحله اختلاط تند با سرعت همزن ۱۲۰ دور بر دقیقه و زمان اختلاط ۲ دقیقه، اختلاط کند با سرعت همزن ۳۰ دور بر دقیقه و زمان اختلاط ۲۰ دقیقه برای انجام عمل لخته‌سازی و سپس ته‌نشینی در محدوده ۱۵ تا ۹۰ دقیقه بود. این روند در همه مراحل تعیین اثر متغیرها اعمال شد [۲۲].

بررسی اثر pH

در اولین مرحله مطالعه به محلول حاوی ۱۰ میلی گرم بر لیتر فلز کروم یا کادمیوم، ۱۰ میلی گرم بر لیتر پلی فریک سولفات به عنوان منعقدکننده افزوده شد و اثر متغیر pH در محدوده ۴ تا ۱۱ بر مبنای بازه حذف بررسی شد. زمان ته‌نشینی در این مرحله ۳۰ دقیقه بود.

بررسی اثر دزای ماده منعقدکننده

در سطح pH بهینه تعیین شده از مرحله قبل به منظور تعیین دزای بهینه منعقدکننده در حذف کروم و کادمیوم غلظت‌های مختلف پلی فریک سولفات بین ۱۰ تا ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر آزمایش شد [۱۷].

کروم در آب آشامیدنی را بر حسب کروم کل ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر در نظر گرفته است [۱۱، ۱۰]. کادمیوم در آب‌های طبیعی به ندرت یافت می‌شود. غلظت یک میلی گرم بر لیتر برای ماهی‌ها کشنده است. دردهای استخوانی طاقت‌فرسا به خصوص در استخوان‌های لگن خاصره و پس از مدتی شکستگی‌های متعدد در استخوان‌ها از عوارض کادمیوم است [۱۲]. فاضلاب صنایع ذوب فلزات غیر آهنی، آب کاری، آلیاژسازی، کود شیمیایی، رنگ، شیشه، چینی، سرامیک و پلاستیک کادمیوم دارند [۴]. حداکثر غلظت مجاز کادمیوم در آب آشامیدنی طبق راهنمای سازمان جهانی بهداشت ۰/۰۵ میلی گرم در لیتر است [۱۳].

برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب روش‌های مختلفی از جمله ترسیب شیمیایی، تبادل یون، جذب، روش‌های الکتروشیمیایی و غشایی وجود دارد [۱۴]. روش‌های حذف فلزات سنگین محدودیت‌هایی از جمله گران بودن، حذف ناقص فلزات، احتیاج به انرژی و مواد واکنش گر به مقدار زیاد، تولید مواد سمی و لجن دارد [۹]. فرایند انعقاد و لخته‌سازی از روش‌های معمول در تصفیه آب و فاضلاب است [۱۵]. به منظور بهبود کارایی و ایجاد شارژ بیشتر منعقدکننده‌های مونومری معمولی همچون آلوم و کلرید فریک را از قبل پلیمریزه می‌کنند.

پلی فریک سولفات^۱ یک منعقدکننده از پیش پلیمریزه آهن سه ظرفیتی است که از خنثی کردن نمک‌های آهن به دست می‌آید و شامل گونه مونومری ($[Fe(OH)_x]^{(3-x)+}$) و پلیمری ($[Fe_m(OH)_x]^{(3m-x)+}$) از آهن سه ظرفیتی است [۱۶]. پلی فریک سولفات با فرمول عمومی $[Fe_2(OH)_n(SO_{4,3-n/2})_m]^{(2-n)+}$ ($n < 2, m > 10$) از جمله منعقدکننده‌های جدید غیر آلی و غیر سمی پلیمریزه شده است که نسبت به نمک‌های معمولی آهن به دلیل داشتن کمپلکس‌های هیدروکسیل چند هسته‌ای بار مثبت و فعالیت سطحی بیشتری دارد. این منعقدکننده در شرایط کیفی مختلف آب به خصوص دمای پایین و محدوده گسترده‌تری از pH کارایی بهتر داشته و دزای مصرفی و باقی مانده کمتری در آب دارد [۱۷].

مطالعات زیادی در خصوص حذف فلزات سنگین با فرایند انعقاد و لخته‌سازی انجام گرفته است. هو و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای با عنوان «تصفیه کمپلکس سیانید و کادمیوم به روش ترکیبی اکسیداسیون و انعقاد» انجام دادند. نتایج مطالعه نشان داد میزان حذف کادمیوم با PACCC و در شرایط بهینه pH=۸/۵، ۹۳ درصد است [۱۸]. در مطالعه دیگری جنیدی جعفری و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند در شرایط بهینه pH=۷ و غلظت ۰/۷ گرم بر لیتر از منعقدکننده کلرید فریک درصد حذف کروم شش ظرفیتی ۹۲ درصد است [۱۹].

نتایج مطالعه سرور و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد میزان

1. Polyferric Sulfate (PFS)

بررسی اثر غلظت اولیه فلز سنگین

در سطح pH و غلظت بهینه منعقدکننده در حذف کروم و کادمیوم که از مراحل قبل به دست آمد اثر غلظت‌های اولیه متفاوت فلزات کروم و کادمیوم در مقادیر ۱، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر به منظور تعیین اثر غلظت فلز بر بازدهی حذف مطالعه شد.

بررسی اثر زمان ته‌نشینی

در شرایط بهینه تعیین شده متغیرهای دیگر اثر زمان ماند ته‌نشینی در محدوده ۱۵ تا ۹۰ دقیقه بر میزان حذف کروم و کادمیوم بررسی شد.

اندازه‌گیری غلظت فلزات

نمونه‌ها از ۲/۵ سانتی متری زیر سطح آب که به وسیله نقطه نشان‌دار شده بود برداشت می‌شد و پس از عبور از کاغذ صافی، غلظت کروم و کادمیوم باقی‌مانده به وسیله دستگاه جذب اتمی شعله (AAS Vario ۶) اندازه‌گیری شد. بازده حذف فلزات با آزمایش جار طبق فرمول زیر محاسبه شد.

$$\text{حذف درصد} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100$$

در این فرمول C_1 و C_2 به ترتیب غلظت اولیه و نهایی فلز است. تمامی مراحل آزمایش‌ها در دمای اتاق انجام شد. هر آزمایش سه بار تکرار و در نهایت میانگین نتایج به دست آمده گزارش شد. به منظور بررسی سطح معناداری اختلاف بین غلظت فلز تماس یافته و تماس نیافته با منعقدکننده پلی فریک سولفات از نسخه ۱۶ نرم‌افزار SPSS و برای رسم نمودارها از اکسل ۲۰۰۷ استفاده شد.

یافته‌ها

تعیین اثر pH

تأثیر pH بر بازدهی حذف کروم از نمونه‌های سنتتیک در

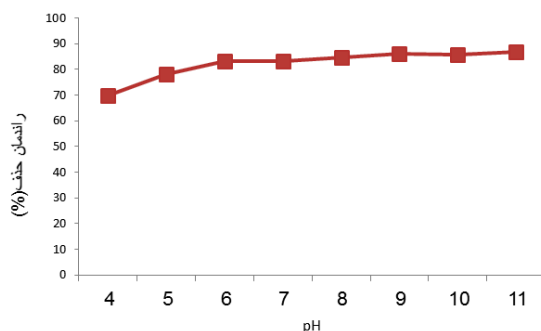
تصویر شماره ۱ آمده است. بیشترین و کمترین بازده حذف مشاهده شده به ترتیب ۳۹/۳۴ درصد و ۹/۹ درصد در pHهای ۶ و ۴ به دست آمد. نتایج آزمون آماری مقایسه میانگین دو متغیر آزمون تی نشان داد اختلاف بین غلظت یون کروم تماس یافته و تماس نیافته با منعقدکننده در فرایند انعقاد و لخته‌سازی معنادار است ($P < 0/05$). بر اساس این pH برابر ۶ به عنوان pH بهینه حذف کروم انتخاب شد.

تأثیر pH بر بازدهی حذف کادمیوم از نمونه‌های سنتتیک در تصویر شماره ۲ آمده است. بیشترین و کمترین بازده حذف مشاهده شده به ترتیب ۶۹/۷۴ درصد و ۸۶/۸۵ درصد در pHهای ۴ و ۱۱ به دست آمد. همان‌طور که در تصویر شماره ۲ مشاهده می‌شود عملکرد حذف کادمیوم با تغییر pH از ۴ به ۶ افزایش می‌یابد، اما با افزایش pH تغییرات قابل توجهی در عملکرد حذف این آلاینده مشاهده نمی‌شود و شیب نمودار تقریباً ثابت است. بر اساس این pH برابر ۹ با عملکرد ۸۵/۹۴ درصد به عنوان pH بهینه حذف کادمیوم انتخاب شد.

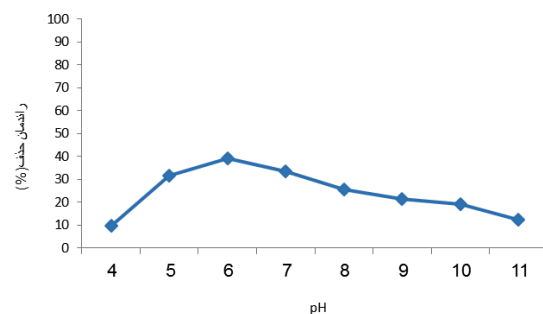
تعیین اثر دز ماده منعقدکننده پلی فریک سولفات

تأثیر دز ماده پلی فریک سولفات بر بازدهی حذف کروم از نمونه‌های سنتتیک در تصویر شماره ۳ آمده است. بیشترین و کمترین بازده حذف مشاهده شده به ترتیب ۳۸/۱۲ درصد و ۲۴/۷۷ درصد در دزهای ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. بر اساس این دز ماده منعقدکننده ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر به عنوان مقدار بهینه حذف کروم انتخاب شد.

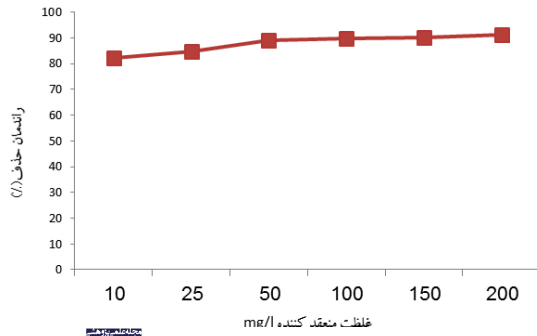
تأثیر دز ماده پلی فریک سولفات بر بازدهی حذف کادمیوم از نمونه‌های سنتتیک در تصویر شماره ۴ آمده است. بیشترین و کمترین بازده حذف مشاهده شده به ترتیب ۹۱/۲۲ درصد و ۸۲/۰۳ درصد در دزهای ۲۰۰ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد و در غلظت‌های بیش از ۵۰ میلی گرم بر لیتر بهبود معناداری مشاهده نشد. بر اساس این دز ماده منعقدکننده ۵۰ میلی گرم



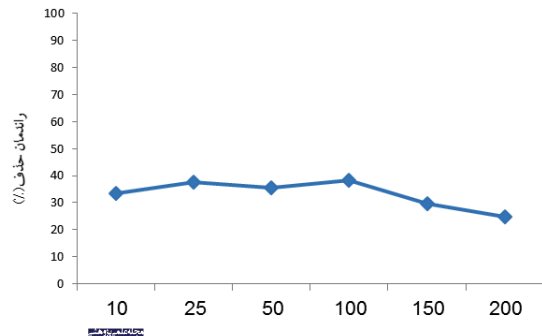
تصویر ۲. اثر pH بر بازده حذف کادمیوم: $PFS=10\text{ mg/l}$, $Cd=10\text{ mg/l}$. زمان ته‌نشینی ۳۰.



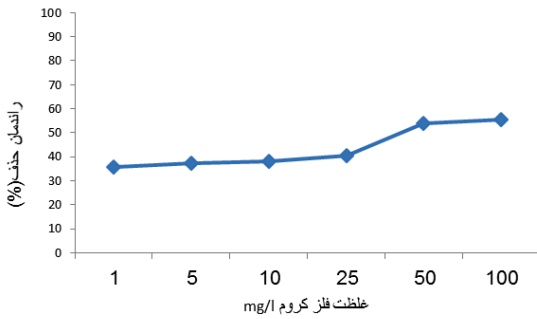
تصویر ۱. اثر pH بر بازده حذف کروم: $PFS=10\text{ mg/l}$, $Cr=10\text{ mg/l}$. زمان ته‌نشینی ۳۰ دقیقه.



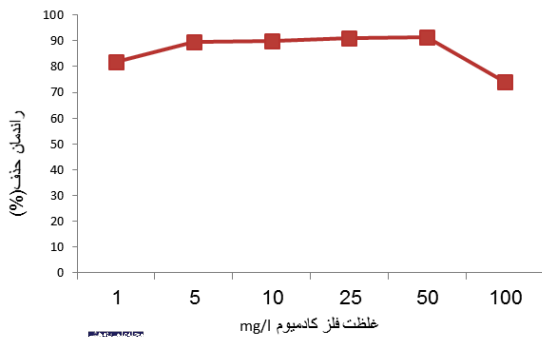
تصویر ۴. اثر دزهای PFS بر بازده حذف کادمیوم: $Cr=10\text{ mg/l}$ ، $pH=9$ ، زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه.



تصویر ۳. اثر دزهای PFS بر بازده حذف کروم: $Cr=10\text{ mg/l}$ ، $pH=6$ ، زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه.



تصویر ۶. اثر غلظت اولیه کادمیوم بر بازدهی فرایند انعقاد: $PFS=50\text{ mg/l}$ ، $pH=9$ ، زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه.



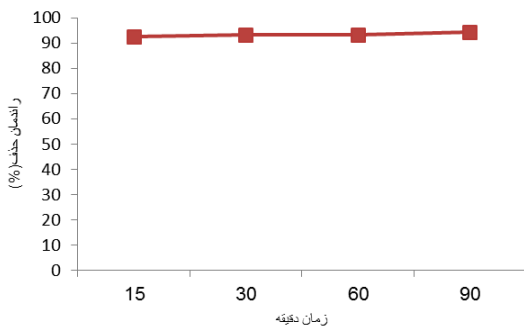
تصویر ۵. اثر غلظت اولیه کروم بر بازدهی فرایند انعقاد: $PFS=100\text{ mg/l}$ ، $pH=6$ ، زمان ته نشینی ۳۰ دقیقه.

بازده حذف کروم مشاهده شده به ترتیب ۵۵/۴۲ درصد و ۳۵/۸۳ درصد در غلظت‌های اولیه ۱۰۰ و ۱ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. روند تغییرات بازدهی حذف کروم به موازات افزایش غلظت اولیه در تصویر شماره ۵ آمده است. در pH بهینه ۹ و دزهای پلی‌فریک سولفات معادل ۵۰ میلی گرم بر لیتر اثر غلظت اولیه فلز کادمیوم مطالعه شد. بیشترین و کمترین بازده حذف

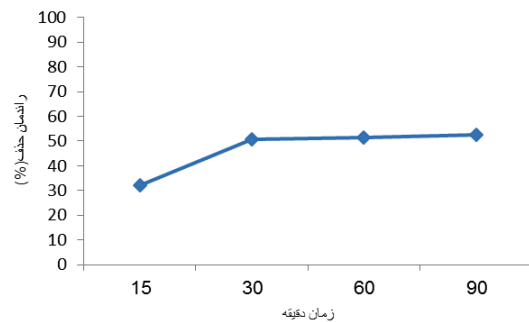
بر لیتر با عملکرد حذف ۸۸/۹۱ درصد به عنوان مقدار بهینه حذف کادمیوم انتخاب شد.

تعیین اثر غلظت اولیه فلز

در pH بهینه ۶ و دزهای پلی‌فریک سولفات معادل ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اثر غلظت اولیه فلز کروم مطالعه شد. بیشترین و کمترین



تصویر ۸. اثر زمان ماند ته نشینی بر بازدهی حذف کادمیوم: $Cd=50\text{ mg/l}$ ، $pH=9$ ، $PFS=50\text{ mg/L}$



تصویر ۷. اثر زمان ماند ته نشینی بر بازدهی حذف کروم: $Cr=50\text{ mg/l}$ ، $pH=6$ ، $PFS=100\text{ mg/L}$

آلوم و کلرید فریک میزان حذف فلزات افزایش یافته و میزان حذف فلز اتمس و روی به ۹/۹۹ درصد می‌رسد [۲۷].

اثر غلظت اولیه فلزات کروم و کادمیوم به ترتیب در تصویر شماره ۵ و ۶ آمده است. همان گونه که در تصویر شماره ۵ مشاهده می‌شود با افزایش غلظت کروم میزان حذف افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه گولدر و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد با افزایش مقدار کروم شش ظرفیتی در pH اسیدی عملکرد حذف افزایش می‌یابد [۲۸]. همچنین به نظر می‌رسد به دلیل اینکه آزمایش در کدورت پایین انجام شده است هنگام افزایش غلظت فلزات سنگین قدرت لخته‌سازی منعقدکننده افزایش یافته است. مطابق تصویر شماره ۶ با افزایش غلظت کادمیوم از ۱ به ۵ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف کادمیوم افزایش ناگهانی دارد، سپس با افزایش غلظت میزان حذف افزایش تدریجی دارد. در غلظت‌های بالای ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم بازدهی حذف کاهش می‌یابد.

اثر زمان ماند ته‌نشینی در حذف کروم و کادمیوم به وسیله پلی فریک سولفات در شرایط بهینه در تصویر شماره ۷ و ۸ آمده است. نتایج مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد میزان حذف کادمیوم با افزایش زمان ته‌نشینی از ۵ به ۲۰ دقیقه افزایش ناگهانی دارد، سپس با افزایش زمان میزان حذف چشمگیر نیست [۲۹]. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کارایی منعقدکننده پلی فریک سولفات در حذف کروم بالای ۵۲ درصد و کادمیوم بالای ۹۳ درصد است. همچنین پلی فریک سولفات نسبت به منعقدکننده‌های معمول در محدوده وسیع‌تری از pH کارایی بهتری دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای مهدی ژولانژاد در دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز است. بدین‌وسیله از دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز به دلیل حمایت‌های مالی و معنوی در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

کادمیوم مشاهده شده به ترتیب ۹۱/۴۲ درصد و ۷۴/۱۹ درصد در غلظت‌های اولیه ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. روند تغییرات بازدهی حذف کادمیوم به موازات افزایش غلظت اولیه در تصویر شماره ۶ آمده است.

تعیین اثر زمان ته‌نشینی

در شرایط بهینه متغیرهای دیگر اثر زمان ته‌نشینی در محدوده ۱۵ تا ۹۰ دقیقه بر بازده حذف فلز کروم در تصویر شماره ۷ آمده است. بازدهی حذف در زمان‌های ته‌نشینی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۳۲/۱۳، ۵۰/۸۲، ۵۱/۵۱ و ۵۲/۴ درصد بود. در شرایط بهینه متغیرهای دیگر اثر زمان ته‌نشینی در محدوده ۱۵ تا ۹۰ دقیقه بر بازده حذف فلز کادمیوم در تصویر شماره ۸ آمده است. بازدهی حذف در زمان‌های ته‌نشینی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب ۹۲/۴۵، ۹۳/۱۳، ۹۳/۴۱ و ۹۴/۴۱ درصد بود.

بحث

در این مطالعه حذف فلزات سنگین کروم شش ظرفیتی و کادمیوم دوظرفیتی از محلول‌های آبی با استفاده از منعقدکننده پلی فریک سولفات در شرایط متفاوت pH، دزای منعقدکننده و فلز و زمان ته‌نشینی بررسی شد. در این مطالعه اثر pH در دامنه ۴ تا ۱۱ آزمایش شد. نتایج آن در تصویر شماره ۱ و ۲ آمده است. نتایج مطالعه اسلام و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد حذف کروم شش ظرفیتی توسط منعقدکننده‌های آلوم و کلرید فریک در pH کمتر از ۴ به دلیل اینکه سایت‌های جذب توسط پروتون اشغال شده‌اند و مقدار CrOH^{2+} در پایین‌ترین سطح قرار دارد ناچیز است و با افزایش pH میزان حذف افزایش می‌یابد.

بیشترین میزان حذف کروم در دامنه ۹-۵ pH است. در این رده Fe(III) به کمپلکس‌های تک‌هسته‌ای و چندهسته‌ای هیدرولیز می‌شود و توانایی خنثی‌سازی بار و جذب را دارد [۲۴]. در مطالعه چادوری و همکاران (۲۰۱۳) نشان داده شد در pH خنثی فاضلاب میزان حذف کروم و کادمیوم به ترتیب ۹۶ درصد و ۹۲ درصد است [۲۵]. لیانگ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود نشان دادند حذف بهینه کدورت و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در دزای پلی فریک سولفات برابر ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۸-۶/۵ pH به دست می‌آید [۱۷].

اثر غلظت‌های متفاوت منعقدکننده بر حذف کروم در تصویر شماره ۳ آمده است. نتایج مطالعه اسلام و همکاران (۲۰۱۱) و گائو و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد با افزایش غلظت ماده منعقدکننده بیش از حد بهینه عملکرد حذف کاهش می‌یابد. نتایج این مطالعات با مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲۴، ۲۶]. نتایج مطالعه اکبال و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد با افزایش دزای

References

- [1] Amuda O, Amoo I, Ipinmoroti K, Ajayi O. Coagulation / flocculation process in the removal of trace metals present in industrial wastewater. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*. 2006; 10(3):159-162. doi: 10.4314/jasem.v10i3.17339
- [2] Barakat MA. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*. 2011; 4(4):361-77. doi: 10.1016/j.arabjc.2010.07.019
- [3] Abrishamchi A, Afshar A, Behshid J. [Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse (Persian)]. Tehran: Tehran University Press; 1995.
- [4] Esmahili A. [Removal of heavy metals from industrial wastewater (Persian)]. Kerman: Darkoob; 2010.
- [5] Johnson PD, Girinathannair P, Ohlinger KN, Ritchie S, Teuber L, Kirby J. Enhanced removal of heavy metals in primary treatment using coagulation and flocculation. *Water Environment Research*. 2008; 80(5):472-9. doi: 10.2175/106143007x221490
- [6] Osasona I. Adsorptive removal of chromium (VI) from aqueous solution using cow hooves. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2013; 2(1):288-303. doi: 10.9734/jsrr/2013/2405
- [7] Takdastan A, Shariat A, Mafi Gholami R, Eslami A. [Investigation of the hexavalent chromium adsorption onto activated sugarcane bagasse and determining of the kinetic and equilibrium modeling (Persian)]. *Quarterly Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2014; 21(4):665-74.
- [8] Shirzad Siboni M, Samadi MT, Azizian S, Maleki A, Zarrabi M. [Removal of chromium by using of adsorption onto strong base anion resin: study of equilibrium and kinetic (Persian)]. *Water & Wastewater*. 2011; 22(3):10-18.
- [9] Khanafari A, Eshghdoost S, Mashinchian A. Removal of lead and chromium from aqueous solution by *Bacillus Circulans* biofilm. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2008; (5):195-200.
- [10] World Health Organization. *Guideline for drinking water quality*. 3rd ed. Geneva: World Health Organization; 2008.
- [11] Institute of Standards & Industrial Research of Iran. [Drinking Water; Physical and chemical specification (Persian)]. Tehran: Institute of Standards and Industrial Research of Iran; 2007.
- [12] Hashemian S. [The principle of water and industrial effluents treatment (Persian)]. 1st ed. Esfahan: Jangal Publications; 2003.
- [13] Bazafkan MH, Saki H, Shahsavani A. [Handbook of drinking water quality. 1st ed. (Persian)]. Tehran: Ava-ye Qalam; 2012.
- [14] Fu F, Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*. 2011; 92(3):407-18. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.11.011
- [15] Kurniawan TA, Chan GYS, Lo W-H, Babel S. Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*. 2006; 118(1-2):83-98. doi: 10.1016/j.cej.2006.01.015
- [16] Liang Z, Wang Y, Zhou Y, Liu H, Wu Z. Hydrolysis and coagulation behavior of polyferric sulfate and ferric sulfate. *Water Science & Technology*. 2009; 59(6):1129. doi: 10.2166/wst.2009.096
- [17] Liang Z, Wang Y. Pretreatment of diosgenin wastewater using Polyferric Sulfate and cationic polyacrylamide. *Journal of Earth Science*. 2010; 21(3):340-6. doi: 10.1007/s12583-010-0097-x
- [18] Hu C, You L, Liu H, Qu J. Effective treatment of cadmium-cyanide complex by a reagent with combined function of oxidation and coagulation. *Chemical Engineering Journal*. 2015; 262:96-100. doi: 10.1016/j.cej.2014.09.080
- [19] JonidiJafari A, Golbaz S, Rezaei Kalantary R. [Concurrent removal of cyanide and hexavalent chromium from aqueous solution by coagulation and flocculation processes (Persian)]. *Journal of Health & Hygiene*. 2014; 4(4): 312-20.
- [20] Sorour MMH, Aboulmour AG, Mostafa AA, Shaalan HF, El-Sayed MH, Hani HA, et al. Treatment of municipal and industrial wastewater effluents using integrated schemes. *World Applied Sciences Journal*. 2013; 26 (8):987-993. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.26.08.13543
- [21] Xu Y, Yang L, Yang J. Removal of cadmium (II) from aqueous solutions by two kinds of manganese coagulants. *International Journal of Engineering, Science & Technology*. 2011; 2(7):1-8. doi: 10.4314/ijest.v2i7.63733
- [22] Buciscanu I, Pruneanu M, Maier V. Novel ferric sulfate-base coagulants. *Scientific Study & Research*. 2008; 8(2):187-194.
- [23] Mahvi AH, Dehghani MH, Kiani G, Barani M. [Evaluating the performance of three different coagulants for treatment of leachate of the Isfahan compost plant, Iran (Persian)]. *Journal of Health System Research*. 2012; 8(1):146-55.
- [24] Nazmul Islam KM, Misbahuzzaman K, Kamruzzaman Majumder A, Chakrabarty M. Efficiency of different coagulants combination for the treatment of tannery effluents: A case study of Bangladesh. *African Journal of Environmental Science & Technology*. 2011; 5(6):409-19.
- [25] Chowdhury M, Mostafa MG, Biswas TK, Saha AK. Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. *Water Resources & Industry*. 2013; 3:11-22. doi: 10.1016/j.wri.2013.05.002
- [26] Gao B, Yue Q, Zhao H, Song Y. Properties and evaluation of Polyferric-Silicate-Sulfate (PFSS) coagulant as a coagulant for water treatment. *Chemical Water & Wastewater Treatment VI*. 2000; 15-22. doi: 10.1007/978-3-642-59791-6_2
- [27] Akbal F, Camcı S. Comparison of electrocoagulation and chemical coagulation for heavy metal removal. *Chemical Engineering & Technology*. 2010; 33(10):1655-64. doi: 10.1002/ceat.201000091
- [28] Golder AK, Chanda AK, Samanta AN, Ray S. Removal of Cr (VI) from aqueous solution: Electrocoagulation vs. chemical coagulation. *Separation Science & Technology*. 2007; 42(10):2177-93. doi: 10.1080/01496390701446464
- [29] Zhang P, Ma H, Zhang Y, Zhu G, Ren B. Coagulation and adsorption cadmium from aqueous solution using chitosan. *Journal of Chemical & Pharmaceutical Research*. 2014; 6(7):2175-81.

