مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۱۶، آبان ۱۳۹۶، ۷۱۴-۷۰۳

بررسی میزان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله نانوکامپوزیت نیکل فریت با پوشش اکسید تیتانیوم

حسین شکری[۱]، محمدحسین صیادی[۲]، محمدرضا رضایی[۳]، علی اله‌رسانی[۴]

دریافت مقاله: ۹۶/۴/۱۴ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۹۶/۷/۱۵ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۹۶/۷/۲۳ پذیرش مقاله: ۹۶/۸/۱

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین از رایج‌ترین آلاینده‌های موجود در پساب‌های صنعتی هستند. عنصر کادمیوم به دلیل سمیت و اثرات مضر بر انسان اهمیت زیادی دارد. هدف مطالعه حاضر تعیین میزان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی توسط نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش از نوع تجربی-آزمایشگاهی بود که در یک سیستم ناپیوسته تحت دمای محیط انجام گردید. تأثیر پارامترهای pH، مقدار جاذب، زمان تماس، غلظت اولیه فلزات کادمیوم بر میزان جذب، بررسی و مقادیر حذف کادمیوم از محلول‌های آبی با کمک دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Conter AA700) اندازه‌گیری شد. همچنین مدل‌سازی سینتیک و ایزوترم‌های جذب لانگمویر، فروندلیچ و تمکین مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: بالاترین درصد حذف کادمیوم در pH ۶، با غلظت اولیه ۲ میلی‌گرم بر لیتر، در مدت زمان ۳۰ دقیقه و مقدار ۰/۴ گرم بر لیتر نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم رخ داد؛ بررسی روابط ایزوترمی نشان داد جذب کادمیوم از مدل لانگمویر با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۹۰۵ پیروی می‌نماید. بر طبق نتایج سینتیک جذب کادمیوم از مدل شبه درجه دوم با میزان ضریب ۰/۹۹۹۹ تبعیت می‌کند.

نتیجه‌گیری: نانو کامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم می‌تواند به عنوان جاذبی مؤثر در حذف کادمیوم از محلول‌های آبی استفاده شود. زیرا توانایی بالایی در حذف این عنصر دارد.

واژه‌های کلیدی: کادمیوم، نانوکامپوزیت نیکل فریت، جذب، محلول‌های آبی، ایزوترم

مقدمه

در حال حاضر فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن، سمیت، ماندگاری و تجمع در طبیعت حتی در مقادیر کم یک مسئله نگران‌کننده زیست محیطی هستند. کادمیوم از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی، تولید فلز، آبکاری، ساخت باطری، کودهای شیمیایی فسفات و

۱- کارشناس ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- (نویسنده مسئول) دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
تلفن: ۳۲۲۵۴۰۶۸-۰۵۶، دورنگار: ۳۲۲۵۴۰۶۸-۰۵۶، پست الکترونیکی: mh_sayadi@birjand.ac.ir
۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

رنگدانه‌ها وارد محیط زیست می‌گردد [۱]. به علت اثرات مضر کادمیوم، این عنصر یکی از سمی‌ترین عناصر برای انسان‌ها و محیط زیست می‌باشد [۲]. عنصر سنگین کادمیوم منجر به بیماری‌های بسیاری نظیر فشارخون، آسیب‌های کلیوی، دیابت، ناهنجاری‌های اسکلتی و اختلالات قلبی و عروقی می‌شود [۳]. روش‌های متنوعی جهت حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی وجود دارد که می‌توان به لخته‌سازی، اکسایش، ترسیب، تبادل یونی، اسمز معکوس و الکترودیالیز اشاره نمود؛ این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی همچون زمان‌بر بودن و هزینه بالا می‌باشند [۴]. جذب سطحی به وسیله نانو ذرات فلزی روشی مؤثر و سازگار با محیط زیست است که در سال‌های اخیر به منظور حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی مورد بررسی و استفاده قرار گرفته است [۵]. کاربرد وسیع نانوذرات در جذب سطحی را می‌توان به دلایل راندمان بالای جذب، واکنش‌پذیری زیاد، جایگاه‌های فعال بیشتر و قابلیت پراکنده شدن در محیط‌های آبی عنوان نمود؛ همچنین نانوذرات به علت اندازه بسیار کوچک و دارا بودن نسبت بالای سطح به جرم شرایط مناسبی را جهت جذب یون‌های فلزی از محلول‌های آبی فراهم می‌سازند [۶]. استفاده از نانوذرات $FeNi_3$ (نیکل فریت) به علت واکنش سریع، کارایی بالا در تجزیه و حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی آلوده و توانایی بالای جذب به دلیل خاصیت مغناطیسی می‌تواند مورد بررسی و توجه بیشتری قرار گیرد زیرا جداسازی آلاینده‌ها توسط نانو ذرات دارای خاصیت مغناطیسی- به خاطر نبود مسائل و مشکلات سایر روش‌ها نظیر فیلتراسیون، سانتریفوژ و همچنین مصرف انرژی کمتر- مناسب و کارامد می‌باشد [۷]. Engates و Shipley طی مطالعه‌ای نشان دادند که نانو-ذرات اکسید تیتانیوم توانایی جذب یون‌های سرب، کادمیوم، مس، روی و نیکل را از محیط‌های آبی دارد [۸]. نتایج مطالعه Singh و همکاران با عنوان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله جذب سطحی با استفاده از نانوکامپوزیت پلی‌آکرین آمید اصلاح شده با صمغ-سیلیکا نشان داد که این جاذب به طور مؤثری در حذف کادمیوم عمل کرده، همچنین داده‌های تعادلی فرایند جذب از مدل لانگمویر با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۹ پیروی می‌کند [۹]. Ge و Wang از نانوکامپوزیت پلی‌اسید آکریلیک-کربن فعال شده، که یک جاذب با کارایی بالا است برای حذف کادمیوم از محلول‌های آبی استفاده کرده‌اند. بررسی‌های سینتیکی نشان داده که داده‌های فرایند جذب کادمیوم با مدل سینتیکی شبه درجه دوم (ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۱) مطابقت داشته است [۱۰].

هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله نانوکامپوزیت نیکل فریت-با پوشش اکسید تیتانیوم می باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی جاذب: نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم از دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند تهیه گردید. نانوکامپوزیت $FeNi_3/TiO_2$ مطابق روش استوبر (Stober) با اندکی تغییرات ساخته شده است. جهت شناسایی و مشخص نمودن ویژگی‌های این نانوکامپوزیت از Transmission Electron Microscope

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

(Philips Model CM120) و Vibrating Sample Magnetometer (Model 7400) استفاده شده، که براساس نتایج اندازه‌گیری‌ها این ذرات دارای خاصیت مغناطیسی بوده و متوسط اندازه آن‌ها ۱۰ نانومتر با شکل کروی می‌باشد.

آزمایش‌های جذب: این پژوهش از نوع تجربی-آزمایشگاهی بود که در یک سیستم ناپیوسته تحت دمای محیط انجام گردید. ابتدا محلول‌های استوک کادمیوم (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) با استفاده از حل کردن نمک نیترات کادمیوم در آب بدون یون تهیه شد. سپس محلول‌های استاندارد جهت انجام آزمایش از طریق رقیق نمودن محلول استوک تهیه گردید. نمونه‌ها در دمای محیط (۲۵ درجه سانتی‌گراد) برحسب زمان تماس مشخص در دستگاه شیکر با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه قرار گرفتند. اندازه‌گیری نمونه‌های حاوی فلز سنگین کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Conter AA700) انجام شد.

پارامترهای pH، مقدار جاذب، زمان تماس و غلظت اولیه کادمیوم بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در زمینه حذف کادمیوم با جاذب‌های سطحی در محدوده‌های مشخص در نظر گرفته شد و مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه تأثیر pH بر جذب با دامنه ۹-۳ (۳،۵،۶،۷،۸،۹) انجام شد. جهت مشخص کردن تأثیر مقدار جاذب بر جذب کادمیوم مقادیر مختلف جاذب در محدوده ۰/۹-۰/۲ (۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) گرم بر لیتر مطالعه گردید. تعیین زمان تعادل و سینتیک جذب در بازه زمانی ۶۰-۵ (۵،۱۰،۲۰،۳۰،۴۵،۶۰) دقیقه، صورت پذیرفت. تأثیر غلظت اولیه کادمیوم در محدوده ۱۰-۵/ ۰(۱۰، ۷، ۴، ۲، ۱، ۰/۵) میلی‌گرم بر لیتر بر میزان جذب آن در pH، مقدار جاذب و زمان تماس بهینه مراحل قبل انجام شد. در نهایت نتایج توسط نرم‌افزار Excel ذخیره گردید و تجزیه و تحلیل انجام گرفت.

برای محاسبه درصد حذف کادمیوم از معادله (۱) استفاده شد.

$$\%R - \left[\frac{C_o - C_e}{C_o}\right] \times 100 \qquad \text{معادله (۱)}$$

ظرفیت تعادلی جاذب با استفاده از معادله (۲) محاسبه گردید.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \qquad \text{معادله (۲)}$$

که در این روابط، q_e مقدار یون‌های فلزی جذب شده به ازای واحد جرم جاذب، C_o غلظت اولیه یون‌های فلزی موجود در محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، C_e غلظت تعادلی یون‌های فلزی در محلول بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، V حجم محلول بر حسب لیتر و m وزن جاذب بر حسب گرم می‌باشد.

ایزوترم‌های جذب: به منظور بررسی رفتار جاذب، معادلات و ایزوترم‌های مختلفی وجود دارد که در این پژوهش ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ تمکین مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

معادله خطی لانگمویر به صورت معادله (۳) بیان می‌شود.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_L q_m} + \frac{C_e}{q_m} \qquad \textit{معادله (۳)}$$

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

که در این معادله، C_e غلظت تعادلی فلز در محلول برحسب میلی‌گرم بر لیتر، q_e مقدار فلز جذب شده به ازای واحد وزن جذب برحسب میلی‌گرم بر گرم، K_L و q_m ثابت‌های ایزوترم لانگمویر هستند.

معادله خطی ایزوترم جذب فروندلیچ به صورت معادله (۴) می باشد.

$$\text{Log}q_e = \text{Log}\, K_f + \frac{1}{n}\text{Log}\, C_e \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن K_F و n ثابت‌های فروندلیچ، C_e غلظت ماده جذب شونده در فاز مایع پس از رسیدن به حالت تعادل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و q_e مقدار ماده جذب شده در واحد جرم جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم می‌باشد.

ایزوترم تمکین به صورت معادله خطی زیر بیان می‌شود.

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad \text{معادله (۵)}$$

K_T و B_T ثابت‌های این ایزوترم هستند که با استفاده از نمودار q_e برحسب $\ln C_e$ می‌توان مقادیر آن‌ها را به ترتیب ازعرض از مبدا و شیب نمودار تعیین نمود.

- سینتیک جذب

معادلات سینتیک شبه درجه یک و دو به ترتیب بر اساس معادلات ۶ و ۷ بیان می‌شوند.

$$\text{Log}\,(q_e - q_t) = \text{Log}(q_e) - \frac{K_1}{2.303}t \quad (۶)$$

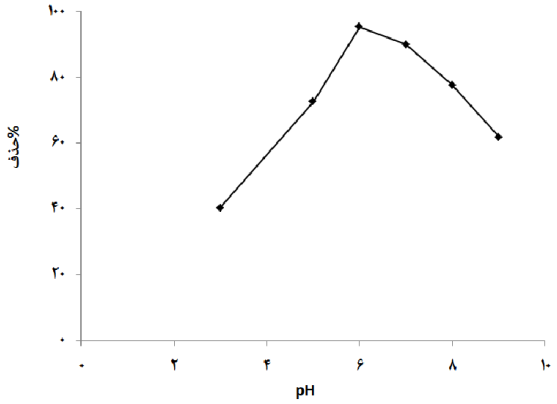
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} \quad (۷)$$

که دراین معادلات، q_e برابر مقدار املاح جذب شده در حالت تعادل (برحسب میلی‌گرم بر گرم)، q_t مقدار املاح جذب شده در زمان (بر حسب میلی‌گرم برگرم)، K_1 و K_2 ثابت‌های سرعت تعادلی سینتیک درجه اول و دوم می‌باشند.

نتایج

بررسی اثر pH محلول بر میزان جذب عنصر کادمیوم:

نمودار ۱ تأثیر pH بر راندمان حذف کادمیوم توسط نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش pH محلول، روند جذب کادمیوم توسط جاذب افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین میزان جذب درpH=۶ با مقدار ۹۵/۱۶٪ اتفاق افتاده است. در pHهای بالاتر از ۶ کارآیی فرایند جذب کاهش می‌یابد.

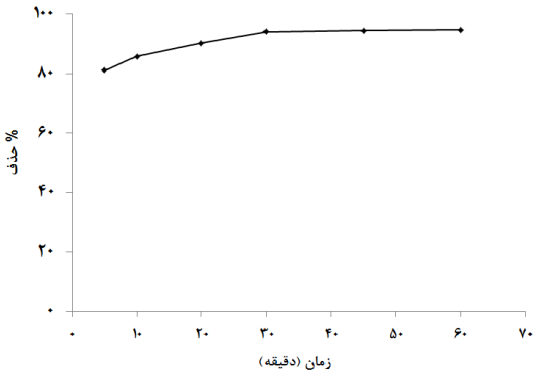


نمودار ۱- تأثیر pH محلول بر درصد حذف یون‌های کادمیوم

بررسی اثر زمان تماس بر کارآیی فرآیند جذب کادمیوم:

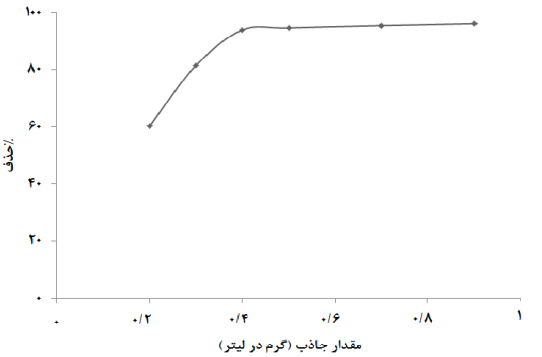
همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، سرعت جذب در دقایق اولیه بالاست و با گذشت زمان راندمان حذف تقریباً ثابت شد. بیشترین میزان درصد حذف کادمیوم پس از مدت ۳۰ دقیقه با مقدار ۹۴/۲۶ بدست آمد.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]



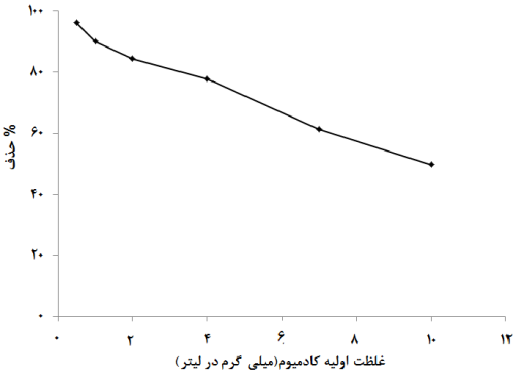
نمودار ۲- تأثیر زمان تماس بر درصد حذف یون‌های کادمیوم

بررسی اثر مقدار جاذب بر راندمان حذف یون‌های کادمیوم: نتایج حاصل از تأثیر مقدار جاذب (نانو کامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم) بر میزان جذب عنصر کادمیوم در نمودار ۳ نشان داده شده است. بر طبق این نتایج با افزایش مقدار جاذب، درصد حذف یون‌های کادمیوم افزایش یافت؛ زیرا با افزایش جاذب، تعداد مکان‌های جذب قابل دسترس افزایش یافته است. اما از غلظت ۰/۴ گرم بر لیتر با افزایش غلظت جاذب تغییر محسوسی در درصد حذف کادمیوم دیده نمی‌شود.



نمودار ۳- تأثیر مقدار جاذب بر درصد حذف عنصر کادمیوم

بررسی اثر غلظت اولیه کادمیوم بر میزان جذب آن: نتایج موجود در نمودار ۴ بیان می‌کند که با افزایش غلظت یون‌های کادمیوم راندمان جذب کاهش یافت؛ به طوری که در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به کمترین میزان خود رسید. همچنین نتایج بیانگر این است که افزایش غلظت اولیه کادمیوم باعث افزایش ظرفیت جذب، جاذب گردید.



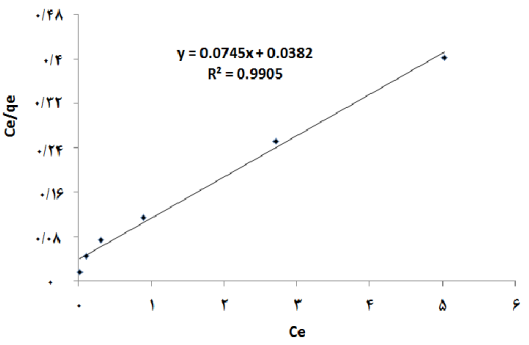
نمودار ۴- تأثیر غلظت اولیه کادمیوم بر درصد حذف آن

تعیین مدل ایزوترم جذب: آزمایش‌های لازم به منظور بررسی ایزوترم‌های جذب با ایجاد شرایط پایه pH، زمان تماس و میزان جاذب بهینه با غلظت‌های اولیه متفاوت از کادمیوم صورت پذیرفت. با استفاده از نتایج حاصل از آزمایش‌های جذب، منحنی‌های ایزوترم رسم گردید که در نمودار ۵ ایزوترم لانگمویر نشان داده شده است. ضرایب ثابت و همبستگی ایزوترم‌های جذب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ثابت‌های جذب و ضرایب همبستگی مدل‌های ایزوترمی جذب

فلز سنگین	لانگمویر			فروندلیچ			تمکین		
	R^2	q_m	K_L	R^2	N	K_F	R^2	B_T	K_T
کادمیوم	۰/۹۹۰۵	۱۳/۴۲	۱/۹۵	۰/۹۸۷۴	۲/۲۷	۶/۸۶	۰/۹۴۱۸	۲/۱۳	۴۶/۶۴

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]



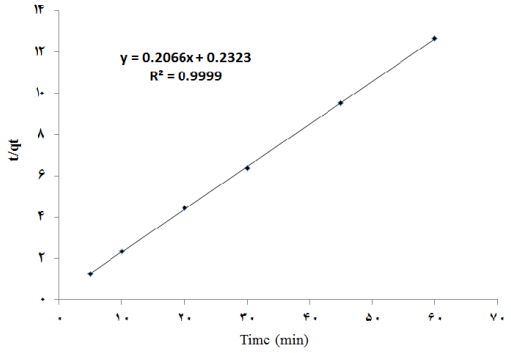
نمودار ۵- ایزوترم لانگمویر برای جذب کادمیوم توسط نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم

بررسی سینتیک جذب: جهت بررسی سینتیک جذب فلز کادمیوم از دو مدل سینتیکی شامل مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم استفاده گردید.

جدول ۲- ضرایب همبستگی مدل‌های سینتیکی درجه اول و شبه درجه دوم

فلز سنگین	سینتیک شبه درجه اول			سینتیک شبه درجه دوم		
	R^2	q_e	K_1	R^2	q_e	K_2
کادمیوم	۰/۷۶۱۱	۸/۲۷	۰/۰۰۱	۰/۹۹۹۹	۴/۸۴	۰/۱۸۳

منحنی سینتیک جذب شبه درجه دوم در نمودار ۶ نشان داده شده است. ضرایب مربوط به مدل‌های سینتیکی در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.



نمودار ۶- سینتیک شبه درجه دوم برای جذب کادمیوم توسط نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم

بحث

در این پژوهش، بیشترین میزان جذب کادمیوم در pH برابر با ۶ مشاهده شد، به همین جهت این pH به عنوان مقدار بهینه برای فرآیند جذب انتخاب گردید. در pHهای بالاتر از ۶، آنیون‌های OH^- محیط افزایش می‌یابند و این امر منجر به رقابت آن‌ها با جاذب در جذب یون‌های کادمیوم می‌گردد بنابراین، میزان جذب یون‌های کادمیوم توسط جاذب کاهش می‌یابد [۱۱]. در بازه قلیایی، رسوب‌دهی نقش بسزایی در حذف یون‌های کادمیوم ایفا می‌کند؛ همچنین احتمال رسوب‌دهی هیدروکسیدهای فلزی در حفرات و فضای اطراف ذرات بسیار کم است، زیرا از لحاظ سینتیکی فرایند جذب سریع‌تر از رسوب‌دهی می‌باشد [۱۲]. بنابراین، می‌توان گفت که حذف کادمیوم در pHهای کمتر از ۶، به طور غالب توسط فرآیند جذب کنترل می‌شود و در pHهای بیشتر از ۶، می‌توان انتظار داشت که این مقدار با رسوب هیدروکسید کادمیوم افزایش یابد. نتایج مطالعه Yang و همکاران نشان داد با افزایش مقدار pH از ۱ به ۶ راندمان حذف افزایش می‌یابد و بیشترین میزان حذف کادمیوم در$pH=6$ صورت گرفته است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد [۱۳]. Ge و همکاران در تحقیقی تحت عنوان حذف مؤثر فلزات سنگین کادمیوم، روی، سرب و مس از محلول‌های آبی به وسیله نانوذرات مغناطیسی پلیمری اصلاح شده نشان

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

دادند که با افزایش pH روند حذف فلزات سنگین به ویژه کادمیوم افزایش می‌یابد [۱۴].

همان‌گونه که در نمودار ۲ ملاحظه شد؛ در ۳۰ دقیقه اول، راندمان حذف به بیشترین مقدار خود رسید که این امر نشان‌دهنده قابلیت و سرعت بالای نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم در حذف یون‌های کادمیوم است. با افزایش زمان، امکان تماس بیشتر یون با گروه‌های عاملی موجود در ساختار جاذب (مکان‌های جذب) فراهم و میزان جذب افزایش می‌یابد. پژوهش Gupta و Nayak در حذف و بازیابی کادمیوم از محلول‌های آبی توسط جاذب‌های جدید تهیه شده از پوست پرتقال و نانوذرات Fe_2O_3 بیانگر آن است که بالاترین راندمان حذف در زمان‌های اول حاصل شده است؛ که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱۵]. Gatabi و همکاران با استفاده از نانو جاذب‌های مغناطیسی ریز لوله کربنی در حذف مؤثر کادمیوم به نتایجی مشابه با این مرحله از این پژوهش دست یافتند که بیان می‌کند سرعت واکنش در ابتدا سریع و با گذشت زمان به حالت تعادل می‌رسد [۱۶].

روشن است که با افزایش مقدار جاذب تعداد مکان‌های جذب قابل‌دسترس برای یون‌های کادمیوم افزایش می‌یابد؛ لذا کارآیی فرایند جذب بیشتر می‌شود، اما ظرفیت جذب کاهش یافت که دلیل آن اشباع نشدن مکان‌ها در واکنش‌های جذبی است. نتایج تحقیق Salam و همکاران نشان داد، راندمان حذف کادمیوم با افزایش مقدار جاذب افزایش می‌یابد [۱۷]. همچنین طی مطالعه‌ای که Feng و همکاران بر روی جذب کادمیوم و روی از محلول‌های آبی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی هیدروکسی آپاتیت انجام دادند؛ نتیجه آن شد که با افزایش مقدار جاذب کارآیی حذف افزایش می‌یابد [۱۸].

با افزایش غلظت اولیه یون‌های کادمیوم میزان جذب آن‌ها کاهش و ظرفیت جذب جاذب افزایش می‌یابد؛ زیرا با افزایش غلظت اولیه یون‌های فلزی، تعداد یون‌های در حال رقابت برای واکنش با گروه‌های عاملی سطح جاذب بیشتر می‌شود و در نتیجه مکان‌های جذب اشباع می‌گردد؛ همچنین افزایش غلظت یون‌های فلزی منجر به افزایش تعداد برخوردهای بین این یون‌ها و جاذب می‌شود که این امر به نوبه خود فرآیند جذب را تسریع می‌کند [۱۹]. مطالعه Deng و همکاران با عنوان حذف همزمان کادمیوم و رنگینه‌های یونی از محلول‌های آبی با استفاده از نانوکامپوزیت مغناطیسی گرافن اکساید به عنوان جاذب، نتایجی مشابه با پژوهش حاضر دارد و نشان داد که با افزایش غلظت اولیه یون‌های کادمیوم، راندمان حذف کاهش می‌یابد [۲۰]. مطالعه Mahdavi و همکاران در حذف فلزات سنگین (کادمیوم، مس، نیکل و سرب) نشان داد با افزایش غلظت یون‌های فلزی، راندمان حذف کاهش می‌یابد [۲۱].

مقایسه ضرایب همبستگی بدست آمده از رسم منحنی‌های هر یک از ایزوترم‌ها، می‌تواند به عنوان معیار مناسبی برای بیان تطبیق داده‌های جذب تعادلی و ایزوترم‌های مورد بررسی باشد. نتایج بررسی مدل‌های ایزوترمی نشان داد ضرایب همبستگی بالایی برای ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ و تمکین وجود دارد که مقادیر آن به ترتیب ۰/۹۹۰۵، ۰/۹۸۷۴ و ۰/۹۴۱۸ می‌باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌سازی

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

داده‌ها با مدل لانگمویر تطابق بیشتری دارد. در پژوهش Boparai و همکاران بر روی حذف کادمیوم توسط نانو-ذرات آهن صفر بررسی مدل‌های ایزوترمی لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوبنین-راشکویچ نشان داد که جذب کادمیوم از مدل لانگمویر بهتر تبعیت می‌کند که با نتایج حاصله مطابقت دارد [۲۲]. مطالعه Singh و همکاران تحت عنوان حذف کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله جذب با استفاده از نانوکامپوزیت آکریلامید اصلاح شده با سیلیکا بیان می‌کند که داده‌های جذب کادمیوم از مدل لانگمویر پیروی می‌کند و مقادیر ضرایب همبستگی برای ایزوترم‌های لانگمویر و فروندلیچ به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۸۳ می‌باشد [۹]. سینتیک جذب به منظور، درک بهتر دینامیک جذب یون‌های کادمیوم روی سطوح جاذب و تعیین مدلی جهت برآورد میزان جذب با زمان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به اطلاعات بدست آمده از مدل‌های سینتیکی (جدول ۲) و بررسی ضرایب همبستگی این مدل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که جذب کادمیوم بر روی نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم از مدل سینتیک شبه درجه دوم با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۹ پیروی می‌کند. نتایج حاصله از مطالعه Badruddoza و همکاران در حذف فلزات سنگین به وسیله نانوکامپوزیت پلیمر سیکلو دکسترین-Fe_3O_4 بیان می‌کند که مدل سینتیک شبه درجه دوم برای جذب کادمیوم مناسب بوده و مقدار ضریب همبستگی آن ۰/۹۹۹ می‌باشد [۲۳]. پژوهش Gong و همکاران با عنوان نانوذرات آهن پوشش‌دار شده با لاک برای حذف یون‌های کادمیوم از محلول‌های آبی نشان داد که حذف کادمیوم از مدل سینتیک شبه درجه دوم با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۹۹۴ پیروی می‌کند، که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد [۲۴]. نتایج پژوهش حاضر بیانگر این است که نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم توانایی بالایی در جذب دارد که می‌توان از آن تحت شرایط بهینه به عنوان جاذب مؤثر برای حذف فلزات سنگین از جمله کادمیوم استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش عوامل مؤثر بر جذب فلز کادمیوم از محلول‌های آبی به وسیله نانوکامپوزیت نیکل فریت-اکسید تیتانیوم بررسی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد نانوکامپوزیت مغناطیسی نیکل فریت-اکسید تیتانیوم جاذبی کارآمد و مؤثر در حذف یون‌های کادمیوم از محلول‌های آبی است بنابراین، این نانوجاذب به علت واکنش سریع، کارایی بالا در حذف یون‌های فلزی و جداسازی آسان به واسطه خاصیت مغناطیسی می‌تواند در حذف فلزات سنگین از محیط‌های آبی آلوده مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۵ می‌باشد که با حمایت دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند اجرا شده است. نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشکده علوم، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند و تمامی کسانی که در انجام این تحقیق همکاری نموده‌اند، اعلام می‌دارند.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

References

[1] Ghaleno OR, Sayadi M, Rezaei M, Kumar CP, Somashekar R, Nagaraja B. Potential ecological risk assessment of heavy metals in sediments of water reservoir case study: Chah Nimeh of Sistan. *Proc Int Acad Ecol Environ Sci* 2015; 5(4): 89-96.

[2] Sayadi M, Rezaei M, Rezaei A. Sediment toxicity and ecological risk of trace metals from streams surrounding a municipal solid waste landfill. *Bull Environ Contam Toxicol* 2015; 94(5): 559-63.

[3] Sayadi M, Torabi S. Geochemistry of soil and human health: A review. *Poll Res* 2009; 28(2): 257-62.

[4] Sajadi F, Sayadi MH, Hajiani M. Optimization study of adsorption process of Cadmium by synthesized silver nanoparticles using Chlorella vulgaris. *J. Birjand Univ Med Sci* 2016; 23(2): 119-29.

[5] Zhang Z, Li M, Chen W, Zhu S, Liu N, Zhu L. Immobilization of lead and cadmium from aqueous solution and contaminated sediment using nano-hydroxyapatite. *Environ Pollut* 2010; 158(2): 514-9.

[6] Banerjee SS, Chen D-H. Fast removal of copper ions by gum arabic modified magnetic nano-adsorbent. *J Hazard Mater* 2007; 147(3): 792-9.

[7] Wang P, Lo IM. Synthesis of mesoporous magnetic γ-Fe 2 O 3 and its application to Cr (VI) removal from contaminated water. *Water Res* 2009; 43(15): 3727-34.

[8] Engates KE, Shipley HJ. Adsorption of Pb, Cd, Cu, Zn, and Ni to titanium dioxide nanoparticles: effect of particle size, solid concentration, and exhaustion. *Environ Sci Pollut Res* 2011; 18(3): 386-95.

[9] Singh V, Pandey S, Singh S, Sanghi R. Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption using poly (acrylamide) modified guar gum–silica nanocomposites. *Separ Purif Tech* 2009; 67(3): 251-61.

[10] Ge H, Wang J. Ear-like poly (acrylic acid)-activated carbon nanocomposite: A highly efficient adsorbent for removal of Cd (II) from aqueous solutions. *Chemosphere* 2017; 169: 443-9.

[11] Srivastava VC, Mall ID, Mishra IM. Equilibrium modelling of single and binary adsorption of cadmium and nickel onto bagasse fly ash. *Chem Eng J* 2006; 117(1): 79-91.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

[12] Mobasherpour I, Salahi E, Pazouki M. Removal of divalent cadmium cations by means of synthetic nano crystallite hydroxyapatite. *Desalination* 2011; 266(1): 142-8.

[13] Yang G, Tang L, Lei X, Zeng G, Cai Y, Wei X, et al. Cd (II) removal from aqueous solution by adsorption on α-ketoglutaric acid-modified magnetic chitosan. *Appl Surf Sci* 2014; 292: 710-16.

[14] Ge F, Li M-M, Ye H, Zhao B-X. Effective removal of heavy metal ions Cd 2+, Zn 2+, Pb 2+, Cu 2+ from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles. *J Hazard Mater* 2012; 211: 366-72.

[15] Gupta V, Nayak A. Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbents prepared from orange peel and Fe_2O_3 nanoparticles. *Chem Eng J* 2012; 180: 81-90.

[16] Gatabi MP, Moghaddam HM, Ghorbani M. Efficient removal of cadmium using magnetic multiwalled carbon nanotube nanoadsorbents: equilibrium, kinetic, and thermodynamic study. *J Nanopart Res* 2016; 18(7): 1-17.

[17] Salam MA, Makki MS, Abdelaal MY. Preparation and characterization of multi-walled carbon nanotubes/chitosan nanocomposite and its application for the removal of heavy metals from aqueous solution. *J Alloy Comp* 2011; 509(5): 2582-7.

[18] Feng Y, Gong J-L, Zeng G-M, Niu Q-Y, Zhang H-Y, Niu C-G, et al. Adsorption of Cd (II) and Zn (II) from aqueous solutions using magnetic hydroxyapatite nanoparticles as adsorbents. *Chem Eng J* 2010; 162(2): 487-94.

[19] Kumar R, Bishnoi NR, Bishnoi K. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution and electroplating wastewater using fungal biomass. *Chem Eng J* 2008; 135(3): 202-8.

[20] Deng J-H, Zhang X-R, Zeng G-M, Gong J-L, Niu Q-Y, Liang J. Simultaneous removal of Cd (II) and ionic dyes from aqueous solution using magnetic graphene oxide nanocomposite as an adsorbent. *Chem Eng J* 2013; 226: 189-200.

[21] Mahdavi S, Jalali M, Afkhami A. Removal of heavy metals from aqueous solutions using Fe3O4, ZnO, and CuO nanoparticles. *J Nanopart Res* 2012; 14(8): 846.

[22] Boparai HK, Joseph M, O'Carroll DM. Kinetics and thermodynamics of cadmium ion removal by adsorption onto nano zerovalent iron particles. *J Hazard Mater* 2011; 186(1): 458-65.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

[23] Badruddoza AZM, Shawon ZBZ, Tay WJD, Hidajat K, Uddin MS. Fe 3 O 4/cyclodextrin polymer nanocomposites for selective heavy metals removal from industrial wastewater. *Carbohydr Polymer* 2013; 91(1): 322-32.

[24] Gong J, Chen L, Zeng G, Long F, Deng J, Niu Q, et al. Shellac-coated iron oxide nanoparticles for removal of cadmium (II) ions from aqueous solution. *J Environ Sci* 2012; 24(7): 1165-73.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]

An Investigation of Cadmium Removal by Nickel Ferrite-Titanium Oxide Nanocomposite from Aqueous Solutions

H. Shekari[1], M.H. Sayadi[2], M.R. Rezaei[3], A. Alahresani[4]

Received: 05/07/2017 Sent for Revision: 07/10/2017 Received Revised Manuscript: 15/10/2017 Accepted: 23/10/2017

Background and Objectives: Heavy metals are the most common contaminants in industrial wastewater. Cadmium is important due to its toxicity and harmful effects on human beings. The aim of this study was to evaluate the removal of cadmium from aqueous solutions by nickel ferrite-titanium oxide nanocomposite.

Materials and Methods: This experimental – laboratory study was carried out in a discontinuous system under environment temperature. Scrutiny effects of pH, adsorbent dosage, contact time, initial concentration of cadmium on the adsorption and the removal of cadmium from aqueous solutions were measured using atomic absorption spectrometry (Conter AA700). Kinetic modeling and adsorption isotherms like Langmuir, Freundlich, and Temkin were also studied.

Results: The highest removal percentage of cadmium was observed in pH 6, with initial concentration of 2 mg/L, in period time of 30 minutes and 0/4 g/L of nickel ferrite- titanium oxide nano-composite. The result of adsorption isotherm models showed the best relationship with Langmuir isotherm model by the correlation coefficient of 0/9905. According to the results of kinetic models, cadmium adsorption was followed by pseudo second model with the coefficient of 0/9999.

Conclusion: Nickel ferrite- titanium oxide nanocomposite can be used as an effective adsorbent in removal of cadmium; because it has a high efficiency in removing these element.

Key words: Cadmium, Nickel ferrite nano-composite, Adsorption, Aqueous solutions, Isotherm

Funding: This research was funded by University of Birjand.

Conflict of interest: None declared.

Ethical approval: The research is done by chemical materials only.

How to cite this article: Shekari H, Sayadi MH, Rezaei MR, Alahresani A. An Investigation of Cadmium Removal by Nickel Ferrite-Titanium Oxide Nanocomposite from Aqueous Solutions. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2017; 16(8): 703-14. [Farsi]

1- MSc Student of Environment Pollutions, Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Prof., Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran (Corresponding Author) Tel: (056)32254068, Fax: (056)32254068, Email: mh_sayadi@birjand.ac.ir

3- Associate Prof., Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

4- Assistant Prof., Dept. of Chemistry, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353165.1396.16.8.7.3]