حذف کروم شش ظرفیتی از پساب شبیه‌سازی شده صنایع آبکاری توسط نانو ذرات مگهمایت*

عباس خدابخشی[۱]، محمد مهدی امین[۲]، مرتضی مظفری[۳]، بیژن بینا[۴]

چکیده

مقدمه: حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی به وسیله نانو ذرات آهن در طی سالیان اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کروم به عنوان یکی ازآلاینده‌های دارای اهمیت در محیط زیست محسوب می‌گردد و در غلظت‌های بالا در پساب صنایع آبکاری وجود دارد. نانو ذرات آهن مغناطیسی، با استفاده از مکانیسم‌های جذب سطحی، تعویض یونی و نیروهای الکترواستاتیک می‌تواند در کنترل و حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار گیرد هدف از انجام این تحقیق بررسی کارآیی نانو ذرات مغناطیسی در حذف کروم شش ظرفیتی (VI) از پساب‌های شبیه‌سازی شده صنایع آبکاری و پارامترهای مؤثر بر آن می‌باشد.

روش‌ها: نانو ذرات مگهمایت با استفاده از روش سل- ژل و با افزودن کلرور آهن دو و سه ظرفیتی در محیط مایی و تحت شرایط قلیایی تهیه گردید. سپس تأثیر عوامل مؤثر بر این فرآیند را که شامل غلظت نانو ذره، غلظت اولیه کروم، pH محلول، سرعت اختلاط و زمان تماس می‌باشند، بررسی گردید.

یافته‌ها: یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که در شرایط pH معادل ۲، غلظت اولیه کروم ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، نانو ذرات مگهمایت تولید شده با دوز ۱ گرم بر لیتر، زمان تماس ۵ دقیقه و سرعت همزن ۲۵۰ دور در دقیقه حدود ۸۶ درصد ازکرم (VI) حذف می‌گردد. خصوصیات نانو ذرات تولید شده شامل ساختار ذره، نوع ترکیب، اندازه و زتا پتانسیل آن‌ها نیز با استفاده از دستگاه‌های XRD، XRF و Zeta and particle sizer تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: از یافته‌های این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود که نانو ذرات تولیدی مگهمایت دارای کارایی بالایی درحذف کرم(VI) از پساب‌های شبیه‌سازی شده صنایع آبکاری بوده و راندمان حذف با pH رابطه عکس دارد.

واژه‌های کلیدی: جذب سطحی، کرم شش ظرفیتی، نانو ذرات مگهمایت، پساب شبیه‌سازی شده صنایع آبکاری.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۸۹/۸/۱۳ *پذیرش مقاله: ۸۹/۹/۲۹*

مقدمه

دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم در بسیاری از کشورهای حذف ضایعات فلزات سنگین از آب، یکی ازموضوعات مهم محیط زیست است، به طوری که مقادیر مجاز بسیاری از آلاینده‌های فلزی، توسط سازمان حفاظت محیط زیست تنظیم شده است. یکی از این نمونه‌ها کروم شش ظرفیتی است که سرطان‌زا شناخته شده است (۱).

* این مقاله حاصل پایان نامه دانشجویی در مقطع دکتری در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد.

۱- دانشجوی دکتری، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان و استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران. (نویسنده مسؤول)

Email: amin@hlth.mui.ac.ir

۳- استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه رازی، طاق بستان، کرمانشاه، ایران.

۴- استاد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir

فلزات سنگین به دلیل رشد سریع صنعت، بیش از اندازه وارد محیط زیست شده‌اند که این امر به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است (۲). کرم شش ظرفیتی، یکی از اکسیدان‌های سخت و جز گروه A مواد سرطان‌زا می‌باشد (۳). کروم از طریق نشت یا روش‌های دفع نادرست در محیط رها می‌شود و به دو حالت اکسید شده،کروم سه ظرفیتی (III) و کروم شش ظرفیتی (VI) یافت می‌شود. کروم شش ظرفیتی در محیط حرکت می‌کند و بسیار سمی، سرطان‌زا و جهش‌زا می‌باشد، در حالی که کروم سه ظرفیتی، سمیت کمتری دارد. توجه به تأثیر کروم بر سلامت انسان و محیط زیست اهمیت زیادی دارد. تجمع کروم در بافت‌های حیوانی و گیاهی می‌تواند سبب بروز مخاطرات جدی گردد. کروم باعث ایجاد اختلال در عملکرد کبد، کلیه و ریه می‌شود. سازمان جهانی بهداشت (WHO)، سرطان‌زا بودن کروم شش ظرفیتی را در انسان تأیید کرده است. حداکثر مجاز توصیه شده برای کروم در آب آشامیدنی توسط مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (۴). منابع صنعتی تولید کننده کرم شش ظرفیتی عمدتاً شامل کارخانجات آلیاژی و ساخت فولاد، شستشوی فلزات، آبکاری، دباغی، چرم و تولید رنگدانه و رنگرزی می‌باشند. در صنعت، جداسازی آلاینده‌ها توسط ذرات مغناطیسی، به علت عدم وجود مشکلات و مسایل موجود در سایر روش‌ها مثل فیلتراسیون، سانتریفوژ و یا جداسازی ثقلی و همچنین نیاز به انرژی کمتر برای رسیدن به سطح معین از جداسازی آلاینده‌ها، بسیار مطلوب و مناسب است (۳). روش‌های گوناگونی، برای حذف ترکیبات کروم شش ظرفیتی از فاضلاب‌های صنعتی توسعه یافته است. کروم شش ظرفیتی معمولاً در فاضلاب به فرم آنیون‌های کرومات (CrO_4^{2-}) و دی کرومات ($Cr_2O_7^{2-}$) وجود دارد و به راحتی با استفاده از روش معمولی، رسوب نمی‌کند (۵). در حال حاضر متدهای زیادی برای حذف و احیای فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی به کار گرفته می‌شوند، که از جمله این روش‌ها می‌توان به ته‌نشینی شیمیایی، رزین‌های تعویض یونی، جداسازی غشایی و بسیاری از روش‌های دیگر اشاره کرد. این روش‌ها هم از کارآیی بالایی در حذف برخوردار نیستند و هم هزینه‌های تصفیه را خیلی زیاد افزایش می‌دهند. تحقیقات زیادی جهت استفاده از روش‌های جایگزین و نوین برای تصفیه فاضلاب‌ها انجام گرفته‌اند. یکی از این زوش‌های نوین که تحقیقات بر آن تأکید می‌کنند استفاده از نانو ذرات مگهمایت در تصفیه فاضلاب‌ها است (۶). اکسیدهای آهن در فرمول‌های مولکولی مختلف، برای تصفیه فلزات سنگین و رادیواکتیو از آب و فاضلاب به کار می‌روند. استفاده از نانو ذرات مغناطیسی مگهمایت، به علت مزایای زیر برای حذف فلزات سنگین مورد مطالعه قرار گرفته است، که این مزایا عبارت از ۱- امکان تولید به روش سل- ژل به مقدار زیاد، ۲-قابلیت جذب سطحی بالا به علت داشتن سطح مؤثر بالا و مکان‌های جذب بر روی خود، ۳- انجام سریع واکنش جذب و ۴- جداسازی آسان توسط میدان مغناطیسی خارجی می‌باشند (۷). در طول چند دهه گذشته، نانو ذرات مگنتیت (Fe_3O_4) پژوهش‌های زیادی در زمینه اصلاح محیط زیست را به خود اختصاص داده است. به عنوان مثال، نانو ذرات مگنتیت به عنوان یک ترکیب مناسب برای جذب و یا کاهش یون‌های فلزهای سنگین (Ni^{2+}، Cu^{2+}، Cd^{2+}، Zn^{2+} و Cr^{6+}) و همچنین برای تجزیه کاتالیزوری برخی از آلاینده‌های آلی مورد استفاده واقع شده است. تحقیقات Yuan وهمکاران نشان داد که مونت مورلینات تقویت شده با نانو ذرات مگنتیت قادر است ۱۵/۳ میلی‌گرم از کروم شش ظرفیتی را به ازای هر گرم از وزن خود حذف کند در حالی که مونت مورلینات به تنهایی فقط قادر به جذب ۱۰/۶ میلی‌گرم از کروم شش ظرفیتی به ازای هر گرم از وزن خود می‌باشد (۸)

هدف از تحقیق حاضر بررسی نقش و اثر نانو ذرات مغناطیسی تولید شده (Fe_2O_3) توسط روش سل- ژل در حذف کروم شش ظرفیتی از پساب‌های صنعتی سنتتیک می‌باشد.

روش‌ها

ویژگی‌های نانو ذرات تولیدی

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir

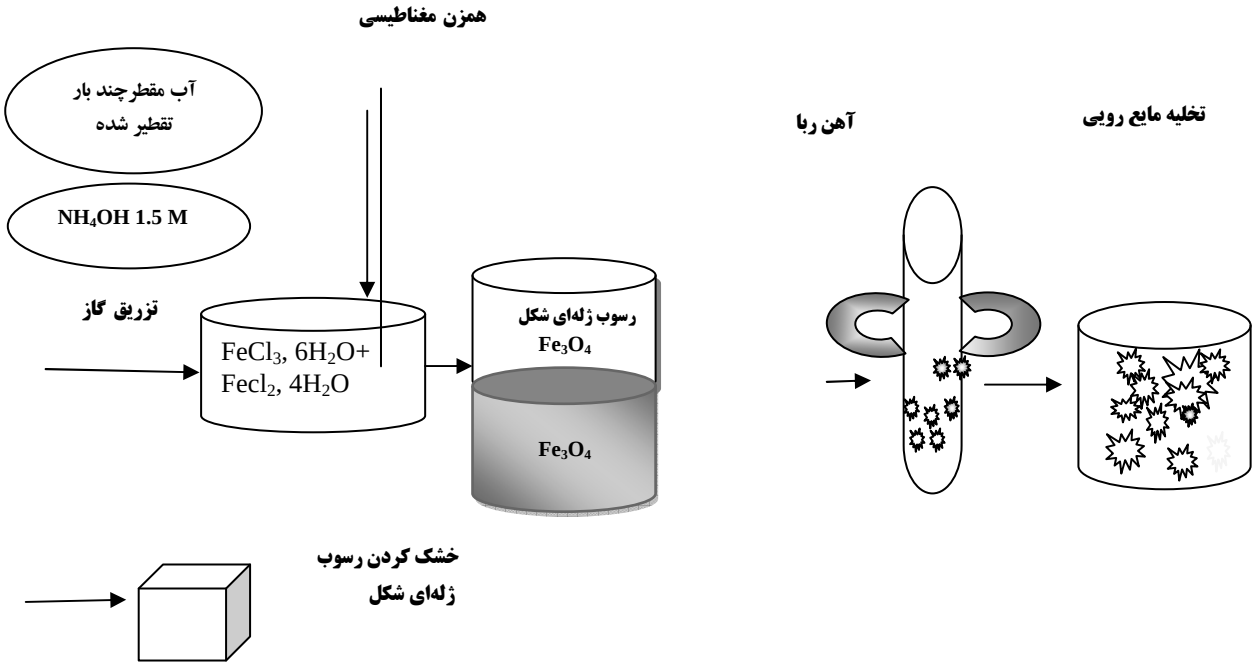
در این پژوهش نانو ذرات مگهمایت، از طریق روش سل- ژل تحت واکنش شیمیایی نشان داده شده در معادله شماره ۱ در آزمایشگاه تهیه گردید. ابتدا ۲۰۰ میلی‌لیتر از آب مقطر اکسیژن‌زادیی شده را با مقاومت الکتریکی ۱۷/۸ میکرو مهوس به مدت ۳۰ دقیقه توسط گاز نیتروژن هوادهی شد. سپس مقدار ۵/۲ گرم کلرور فریک شش آبه با ۲ گرم کلرور فرو چهار آبه با هم مخلوط شدند.

سپس در حالی که گاز نیترژن به محلول دمیده می‌شد، محلول هیدرواکسید آمونیوم ۱/۵ مولار به آن اضافه شد و عمل اختلاط انجام گرفت. پس از انجام واکنش ابتدا رسوب قهوه‌ای رنگ تشکیل شد، سپس در ادامه با افزایش pH به ۸، رسوب سیاه رنگ تشکیل گردید. در این زمان همزن خاموش شد. سپس ذرات مگنتیت تشکیل شدند و شروع به رسوب نمودن کردند. در ادامه به منظور به دست آوردن نانو ژل‌های مگهمایت، ذرات مگنتیت خشک شده با اتر ۹۹ درصد مخلوط شدند و در دمای ۲۵۰ سانتی‌گراد و در شرایط فشار اتمسفر به مدت ۲ ساعت حرارت داده شدند تا نانو ذرات مگهمایت به دست آمدند و در نهایت نانو ژل‌های قهوه‌ای- متمایل به قرمز مگهمایت توسط یک میدان مغناطیسی جداسازی شدند.

در ادامه محلول روی ذرات تخلیه شد و اقدام به شستشوی مواد تولید شده توسط آب مقطر با خلوص بالا گردید و در نهایت رسوب ژل مانند تشکیل شد و خشک گردید (۹). شکل ۱ مراحل تولید را نشان می‌دهد.

پروتکل نمونه‌برداری

پروتکل نحوه انجام آزمایش‌ها از روش آماری تاگوچی و با استفاده از نرم‌افزار Mini Tab تهیه گردید. با در نظر گرفتن شش فاکتور شامل زمان تماس، pH، سرعت اختلاط، غلظت کرم، نوع و غلظت نانو ذره، نرم‌افزار چهار فاکتور چهار سطحی و دو فاکتور دو سطحی مشتمل بر ۱۶ آزمایش را پیشنهاد نمود.



شکل ۱: توالی مراحل تولید نانو ذرات مگهمایت در این مطالعه

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]
www.mui.ac.ir

جدول ۱: مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق

نوع آنالیز	نام دستگاه	مدل دستگاه
تصویر میکروسکوپ الکترونی نوع روبشی	Scanning Electron Microscopy-Energy dispersive-X-ray (SEM–Edx)	Seron, AIS- 2100 (South Korea)
اندازه‌گیری پتانسیل زتا	Zeta Potential Meter	Malvern (England)
اندازه‌گیری اندازه نانو ذرات	Particle Sizer	
اسپکترومتری فلورسانس اشعه ایکس	(X-ray Fluorescence: XRF)	S4-Pioneer Bruker (Germany)
پراش اشعه ایکس	(X-ray Diffraction: XRD)	S4-Pioneer Bruker (Germany)
سنجش کروم	Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)	Ultima-2 Jobin Yvon, (France)

مشخصات فاضلاب صنعتی شبیه‌سازی شده

محدوده غلظت کروم شش ظرفیتی در پساب صنایع آبکاری، در محدوده ۱۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است. بر این اساس، در این مطالعه فاضلاب صنعتی سنتتیک بر اساس غلظت کروم شش ظرفیتی موجود در پساب‌های صنایع آبکاری شبیه‌سازی گردید.

روش آزمایش

کارایی نانو ذرات تولیدی در حذف کروم مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا محلول ۱ گرم در لیتر $K_2Cr_2O_7$ تهیه شد، سپس رقت‌های مختلف کروم از این محلول به دست آمد. آزمایش‌ها به صورت ناپیوسته و با تغییر فاکتورهای pH در مقادیر ۲، ۵، ۷ و ۹، زمان‌های ماند ۵، ۱۰،۲۰ و۳۰ دقیقه، غلظت‌های اولیه کروم ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نانو ذرات با دوزهای ۱ و ۵ گرم در لیتر، سرعت‌های همزن ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و۳۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت.

بعد از انجام هر آزمایش توسط یک میدان مغناطیسی اقدام به جداسازی نانو ذرات مگهمایت شد و غلظت کروم باقیمانده در محلول جداسازی شده، توسط دستگاه ICP-OES تعیین گردید. به منظور اطمینان از نتایج، کلیه آزمایش‌ها دو بار تکرار گردیدند. توالی مراحل تولید نانو ذرات مگهمایت در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین مشخصات دستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه، در جدول ۱ ارایه شده است.

یافته‌ها

نتایج حاصل از کارآیی نانو ذرات مگهمایت تولیدی در این مطالعه در حذف غلظت‌های مختلف کرم شش ظرفیتی در محدوده‌ای از زمان تماس، pH و سرعت اختلاط ۲۵۰ دور در دقیقه در جدول‌های ۲ و۳ و نمودارهای ۲ تا ۵ آورده شده است.

جدول ۲: نتیجه آنالیز XRF اکسید آهن (Fe_2O_3) تولید شده

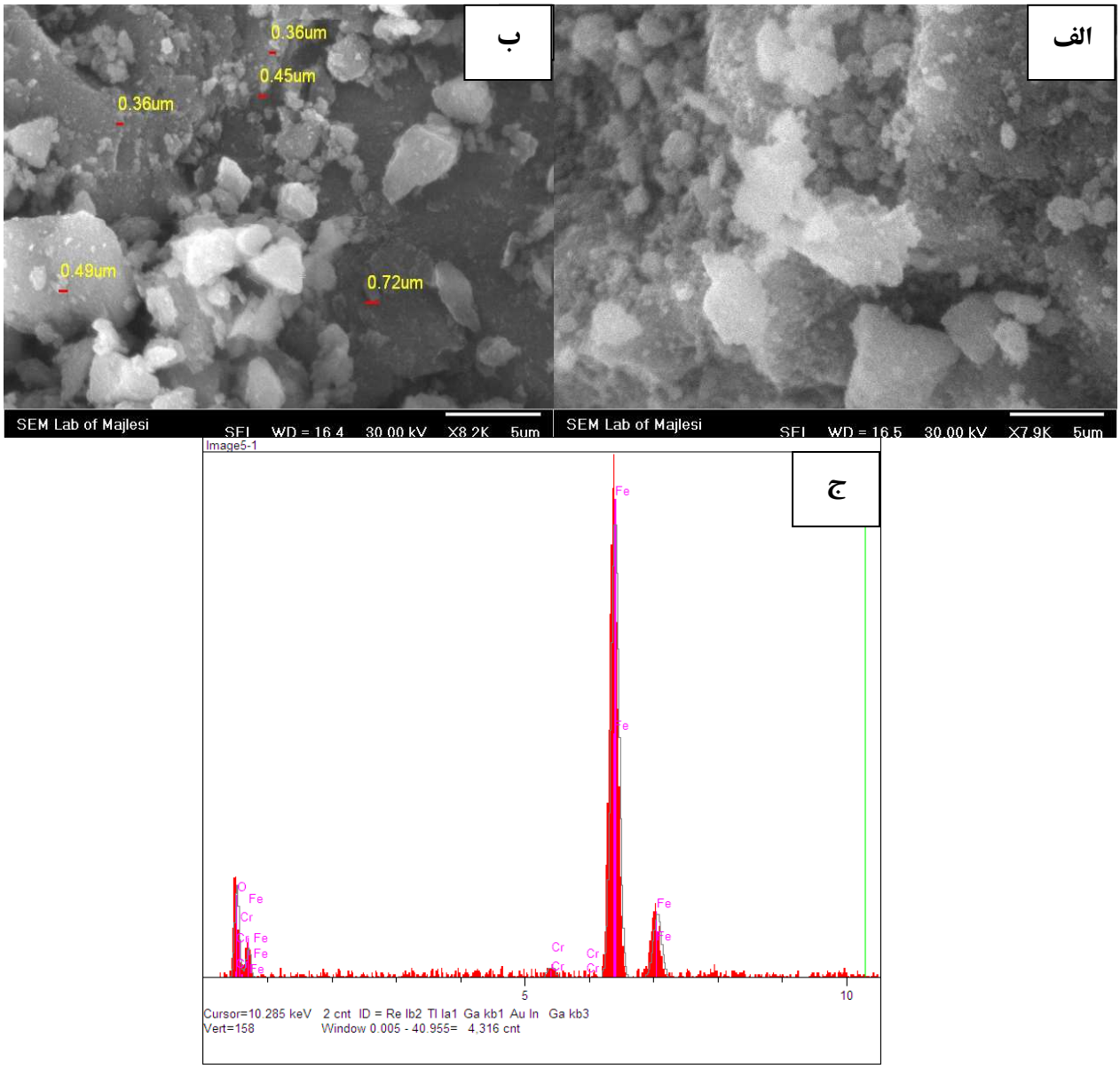
ترکیب	غلظت (درصد)
Fe_2O_3	۹۴/۷۹
CaO	۰/۲۸۱
P_2O_5	۰/۱۷۰
MnO	/۰۵۶
CuO	۰/۰۴۶
SO_3	۰/۰۴۱
ZnO	۰/۰۲۶
LOI	۴/۴۵
Total	۹۹/۸۶

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir

جدول ۳: نتایج حاصل از حذف کرم با نانو ذرات Fe_2O_3 با غلظت ۱ گرم در لیتر، pH = ۲ و سرعت همزن = ۳۰۰ دور بر دقیقه در پساب شبیه‌سازی شده صنایع آبکاری

غلظت کروم (میلی‌گرم در لیتر)	۱۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
راندمان حذف، درصد	۸۶ ± ۰/۰۷	۶۰ ± ۲	۲۴ ± ۰/۶	۱۸ ± ۰/۰۷



شکل ۲: تصاویر SEM از نانو ذرات مگهمایت تولید شده الف- قبل از جذب کروم، ب- بعد از جذب کروم و ج- اسپکتروم Edx از Fe_2O_3 بعد از جذب کروم

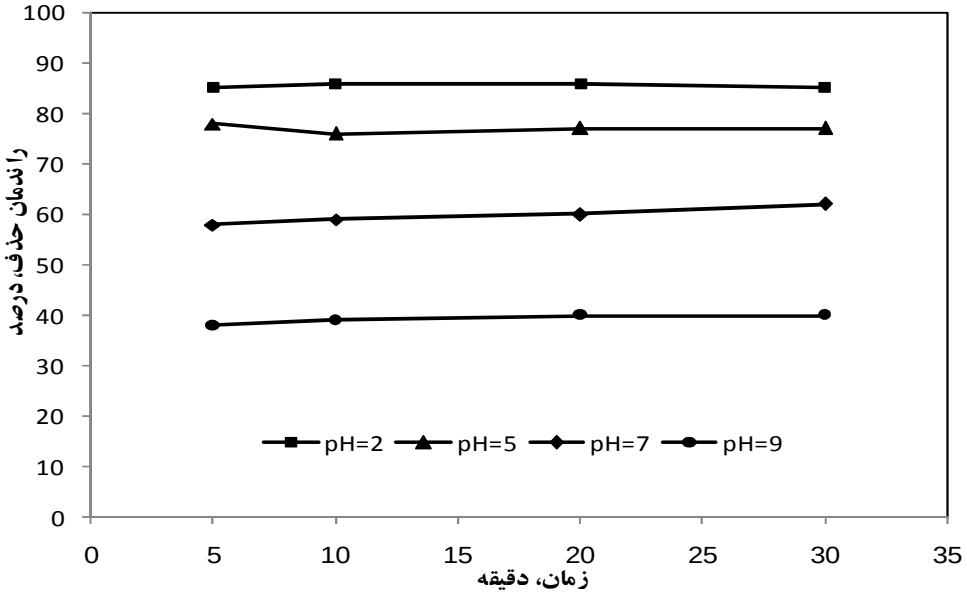
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir

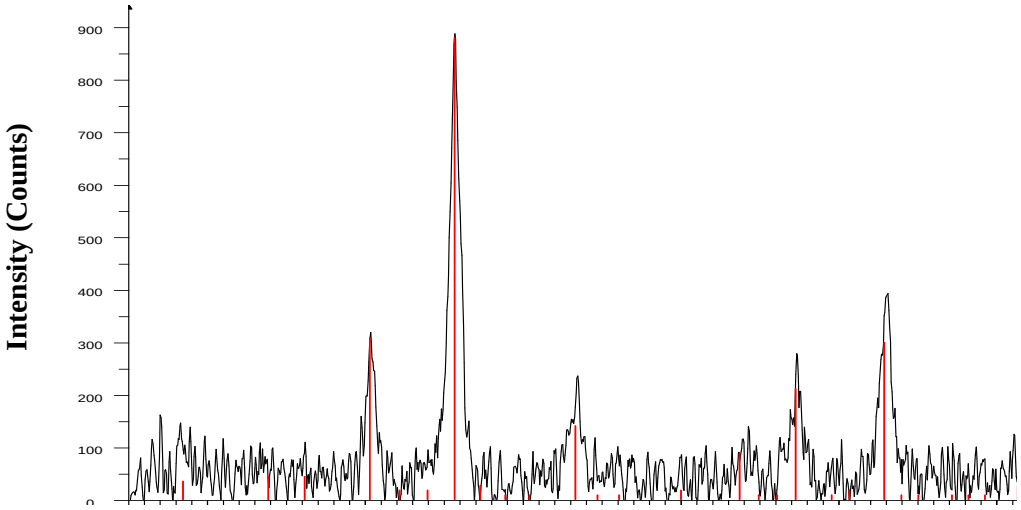
خصوصیات نانو ذرات تولید شده

شکل ۲ تصاویر نانو ذرات مگهمایت تولید شده را که توسط میکروسکوپ SEM تهیه شده است، نشان می‌دهد. قطر متوسط ذرات تولید شده، در محدوده ۱۲۰- ۴۵ نانومتر می‌باشند.

شناسایی و خلوص نانو ذرات تولیدی هم توسط دستگاه‌های XRD و XRF مشخص گردید. پتانسیل زتای نانو ذرات تولید شده ۶/۵۸- میلی‌ولت اندازه‌گیری گردید.



نمودار ۳: تأثیر تغییرات pH بر کارآیی حذف کرم شش ظرفیتی با استفاده از نانو ذرات اکسید آهن سه تولید شده Cr = ۱۰ mg/L، Fe_2O_3 ۱ g/L

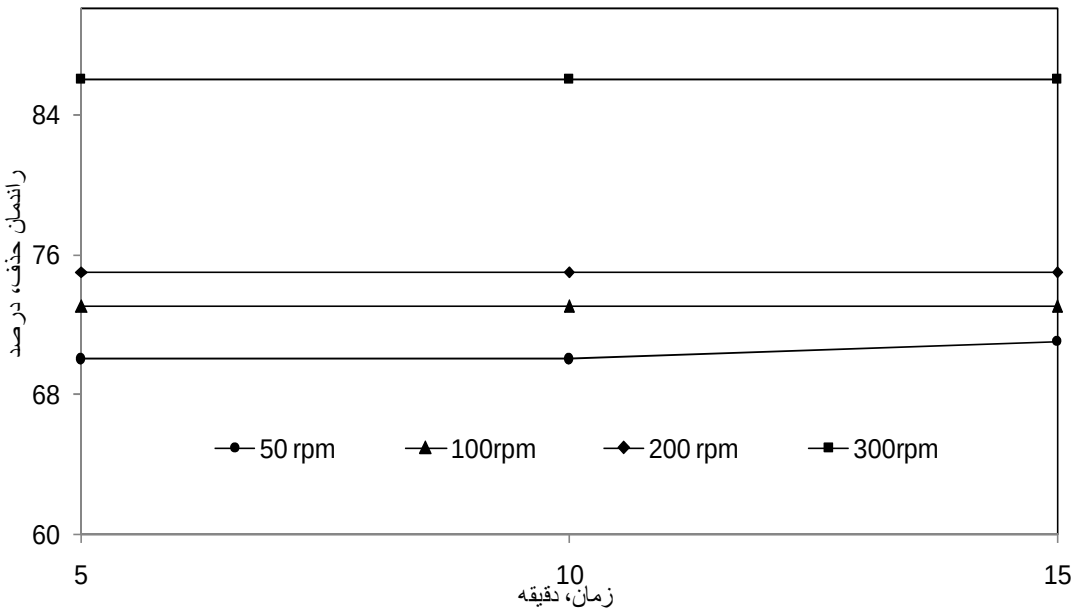


Sample Identification and Quantification

Line Color	Compound Name	Formula	PDF Number	Concentration (%W/W)
	Maghemite- ITC RG, syn	Fe_2O_3	39-1346	

نمودار ۴: میکروگراف XRD نانو ذرات Fe2O3 تولید شده

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]
www.mui.ac.ir



نمودار ۵: تأثیر تغییرات سرعت Shaking بر کارآیی حذف کرم شش ظرفیتی با استفاده از نانو ذرات اکسید آهن سه تولید شده Fe_2O_3 = ۱ g/L ،Cr = ۱۰ mg/L

تصاویر SEM (شکل ۲)، اسپکتروم نانو ذرات مگهمایت و آنالیز عنصری آن‌ها که بعد از عمل جذب کروم بر روی ذرات گرفته شده‌اند، تأییدکننده جذب کروم بر روی نانو ذرات می‌باشند.

نتایج حاصل از تغییرات غلظت کروم بر کارآیی نانو ذرات مگهمایت

اثر تغییرات غلظت اولیه کروم بر کارآیی حذف آن در pH = ۲، غلظت ۱گرم در لیتر نانو ذرات مگهمایت و سرعت همزن ۳۰۰ دور بر دقیقه در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش غلظت کروم، راندمان حذف کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت از ۱۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر راندمان حذف از ۸۶ به ۱۸ درصد کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از تغییرات pH بر کروم، بر کارآیی نانو ذرات مگهمایت در حذف کروم (نمودار ۳) نشان می‌دهند که کارآیی حذف کرم با کاهش pH افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج تحقیق مشخص گردید که کارآیی حذف کروم در pH ۲، ۵، ۷، ۹ بعد از۲۰ دقیقه زمان تماس به ترتیب حدود ۸۶، ۷۷، ۵۹، ۳۹ درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از تغییرات سرعت همزن بر کارآیی نانو ذرات مگهمایت در حذف کروم.

اثر تغییرات سرعت همزن بر کارآیی حذف کروم در نمودار ۵ نشان داده شده است. بر اساس نتایج مشخص گردید که کارآیی حذف کروم در سرعت ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ دور بر دقیقه بعد از زمان بیست دقیقه به ترتیب حدود ۷۰، ۷۳، ۷۵ و ۸۷ درصد می‌باشد.

بحث

ویژگی‌های نانو ذرات به کار برده شده در این تحقیق شامل اندازه ذره در حدود ۱۴۰–۴۰ نانومتر و پتانسیل زتای ۶/۵۸– میلی‌ولت که توسط دستگاه zeta potential & particle sizer تعیین شد، می‌باشند. ساختار کریستالی و عناصر تشکیل‌دهنده ذرات به ترتیب توسط XRD، XRF تعیین شد،که پیک‌های نشان داده شده در نمودار ۴، با استاندارد

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]
www.mui.ac.ir

Fe_2O_3 به خوبی مطابقت داشتند و فاقد هر گونه ذره کریستالی دیگری می‌باشند. بر اساس نتایج آنالیز XRF، درصد خلوص نانو ذرات تولید شده در حدود ۹۰ درصد می‌باشد (جدول ۳).

واکنش نانو ذرات اکسید آهن با کروم در زمان کوتاه و در محدوده وسیعی ازpH صورت می‌گیرد. حدود ۹۰ درصد جذب کرم در دو دقیقه اول واکنش انجام می‌گیرد و این شاید به دلیل ویژگی جذب سطحی خارجی نانو ذرات مگهمایت باشد (۵). بیشترین کارآیی حذف کروم، در pH اسیدی به دست آمد و با افزایش ph، کارآیی حذف کاهش می‌یابد. زیرا غلظت یون OH^- در محلول افزایش می‌یابد و باعث رقابت بین این یون‌ها با یون‌های $Cr_2O_7^{2-}$، در جذب بر روی مکان‌های فعال نانو ذرات اکسید آهن می‌گردد. مطالعات Jung و همکاران در رابطه با چگونگی عملکرد سطح نانو ذرات مگهمایت در جذب کروم شش ظرفیتی، نشان داد که در pH پایین، مکان‌های سطحی روی نانو ذرات مگهمایت باعث جذب سطحی کروم می‌شوند (۱۰).

مطالعات انجام شده توسط Hu وهمکاران نیز نشان دادند که با کاهش pH راندمان حذف افزایش می‌یابد (۵). همچنین مطالعات Wang و همکاران نیز نشان دادند که کارآیی حذف کروم با کاهش pH بیشتر می‌گردد (۳). نتایج مطالعات Hajeh و همکاران با عنوان "ساخت نانو ذرات مگهمایت جهت کاربردهای بیولوژیک و آب" نیز نشان دادند که راندمان حذف کروم با کاهش pH افزایش می‌یابد (۱۱). همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که کارآیی حذف کروم (VI) با غلظت اولیه آن رابطه عکس دارد. مطالعه انجام شده توسط Wan Ngah و همکاران نشان داد که کارایی حذف با افزایش غلظت اولیه کروم (VI) کاهش می‌یابد (۲). همچنین مشخص گردید که افزایش غلظت (در اینجا باید نام ماده آورده شود) باعث بهبود کارآیی حذف می‌شود. مطالعه انجام شده توسط Hen و همکاران نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات مگهمایت، راندمان حذف افزایش می‌یابد (۱۲). نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش سرعت همزن از ۲۰۰ دور در دقیقه به بالا کارایی حذف افزایش می‌یابد (نمودار ۵). مطالعات انجام شده توسط H U وهمکاران مشخص کرد که با افزایش سرعت همزن، راندمان حذف فلزات سنگین افزایش می‌یابد. افزایش سرعت اختلاط، باعث کاهش لایه مرزی می‌شود و از این جهت باعث کاهش مقاومت لایه نازک اطراف ذرات جاذب برای انتقال جرم می‌گردد (۵). همچنین می‌توان گفت که در سرعت‌های پایین، اختلاط به خوبی انجام نمی‌گیرد و در نتیجه پخش نانو ذرات به طور یکسان و مناسب در مایع اتفاق نمی‌افتد و قسمت‌هایی از سطوح ماده جاذب با کروم تماس پیدا نمی‌کنند و راندمان حذف کاهش می‌یابد.

مطالعه انجام شده توسط Yuan وهمکارن نشان داد که جذب دیاتومه‌های تقویت شده با نانو ذرات مگنتیت که ظرفیت جذب آن‌ها در حذف کروم شش ظرفیتی حدود ۱۱/۴ میلی‌گرم در هر گرم است، نسبت به جذب دیاتومه‌های تقویت نشده که در حدود ۱۰/۶ میلی‌گرم در هر گرم می‌باشد، خیلی بیشتر است (۱۳).

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهند که راندمان حذف کروم شش ظرفیتی، توسط نانو ذرات مگهمایت تولید شده با pH وابستگی زیادی دارد و بالاترین راندمان در pH ۲ و زمان ۲۰ دقیقه و سرعت اختلاط بالای ۲۰۰ دور در دقیقه به دست آمد. نانو ذرات مگهمایت را می‌توان در آینده جهت حذف کرم از فاضلاب‌های صنعتی، به عنوان یک روش مفید، ساده و سریع، دارای کارآیی بالا و جداسازی آسان نانو ذرات در صنعت آب وفاضلاب مورد استفاده قرار داد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل نتایج پایان نامه شماره ۳۸۸۱۹۴ مصوب معاونت محترم تحقیقات و فن آوری دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان است. بدین وسیله از اعطاکنندگان گرانت قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir

References

1. Barquist K, Larsen SC. Chromate adsorption on bifunctional, magnetic zeolite composites. Microporous Mesoporous Mater. 2010; 130(1-3): 197-202.
2. Wan Ngah W, Hanafiah M. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. Bioresour Technol. 2008; 99(10): 3935-48.
3. Wang P, Lo I. Synthesis of mesoporous magnetic -Fe2O3 and its application to Cr (VI) removal from contaminated water. Water Res. 2009; 43(15): 3727-34.
4. Rahmani AR, Nourouzi R, Samadi MT, Afkhami A. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by produced iron nanoparticles. Iranian Journal of Health and Environment. 2009; 1(2): 67-74. [In Persian].
5. Hu J, Chen G, Lo I. Removal and recovery of Cr (VI) from wastewater by maghemite nanoparticles. Water Res. 2005; 39(18): 4528-36.
6. Li H, Li Z, Liu T, Xiao X, Peng Z, Deng L. A novel technology for biosorption and recovery hexavalent chromium in wastewater by bio-functional magnetic beads. Bioresour Technol. 2008; 99(14): 6271-9.
7. Borai E, El-Sofany E, Morcos T. Development and optimization of magnetic technologies based processes for removal of some toxic heavy metals. Adsorption. 2007; 13(2): 95-104.
8. Yuan P, Fan M, Yang D, He H, Liu D, Yuan A, et al. Montmorillonite-supported magnetite nanoparticles for the removal of hexavalent chromium [Cr(VI)] from aqueous solutions. J Hazard Mater. 2009; 166(2-3): 821-9.
9. Hu J, Lo IM, Chen G. Removal of Cr(VI) by magnetite nanoparticle. Water Sci Technol. 2004; 50(12): 139-46.
10. Jung Y, Choi J, Lee W. Spectroscopic investigation of magnetite surface for the reduction of hexavalent chromium. Chemosphere. 2007; 68(10): 1968-75.
11. Khajeh M, Khajeh A. Synthesis of Magnetic Nanoparticles for Biological and Water Applications. International Journal of Green Nanotechnology: Physics and Chemistry. 2009; 1(1): 51- 6.
12. Shen Y, Tang J, Nie Z, Wang Y, Ren Y, Zuo L. Tailoring size and structural distortion of Fe3O4 nanoparticles for the purification of contaminated water. Bioresour Technol. 2009; 100(18): 4139-46.
13. Yuan P, Liu D, Fan M, Yang D, Zhu R, Ge F, et al. Removal of hexavalent chromium [Cr (VI)] from aqueous solutions by the diatomite-supported/unsupported magnetite nanoparticles. J Hazard Mater. 2010; 173(1-3): 614-21.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir

Removal of Cr (VI) from simulated electroplating wastewater by maghemite nanoparticles*

Abbas Khodabakhshi[1], Mohammad Mehdi Amin[2], Morteza Mozaffari[3], Bijan Bina[4]

Abstract

Background: Removal of heavy metals from industrial wastewaters by iron nanoparticles has been much noticed in the recent years. Chromium is considered as one of the important environmental pollutants. There is high concentration of chromium in the wastewater of electroplating industries. Magnetic iron nanoparticles are used to control and eliminate of heavy metals from industrial effluents through the mechanisms of adsorption, ion exchange and electro-static forces. The aim of this study was to evaluate the efficiency of magnetic nanoparticles for removal of hexavalent chromium (VI) from simulated electroplating wastewater and the parameters that influence it removal.

Methods: The maghemite nanoparticles were prepared by sol-gel method through addition of two and trivalent iron chloride in the water environment under alkaline conditions. Then the factors influencing this process, including nanoparticle concentration, initial concentration of chromium, pH, mixing rate, and retention time were studied.

Findings: The findings of this study showed that in the conditions of pH = 2, initial chromium concentration of 10 mg/L, synthesized magnetite nanoparticles with a dose of 1 g/ L, retention time of 5 minutes, and mixing rate of 250 rpm, about 86% of chromium (VI) has been removed. In addition, characteristics of nanoparticles including, particles structure, composition, size and zeta potential was determined using analytical devices such as XRD, XRF, Zeta potential and particle seizer.

Conclusion: It is concluded that magnetite nanoparticles have high performance for removal of chromium (VI) from simulated electroplating wastewater, and removal efficiency is reversely related with pH.

Key words: Adsorption, Chromium (VI), Maghemite Nanoparticles, Simulated Electroplating Wastewater.

* This article derived from PhD thesis by Isfahan University of Medical Sciences.

1- PhD Student, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences and Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran.
2- Associatet Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. (Corresponding Author)
Email: amin@hlth.mui.ac.ir
3- Assistant Professor, Physic Department, Razi University, Taghbostan, Kermanshah, Iran.
4- Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-10-27]

www.mui.ac.ir