Efficacy of photocatalytic removal of Chromium in the presence of organic matter from aqueous medium by useing TiO2 nanoparticles synthesized by sol gel

Zandsalimi Y., BS[1], Sadeghi Sh., MSc[2], Reshadmanesh N., MSc[2] ,Ghahramani, E., MSc[3]
1.MSc student of Environmental Health Engineering, Environmental Health Research Center, Student Research Committee, Kurdistan University of Medical Science, Sanandaj, Iran.
2. Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran.
3. Environmental Health Research Center, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran (Corresponding Author), Tel:+98-87-33664645, ghahramani64@gmail.com

ABSTRACT

Background and Aim: Widespread use of Chromium and their compounds in many industries, including plating, steel production, and wood protection and tanning leather, can result in the discharge of large amounts of pollutants to receiving waters, leading to toxic effects on human health and the environment. The aim of this study was to determine the efficiency of the photocatalytic process to remove Chromium in the presence of organic matter from the aqueous medium by using nanoparticles of TiO2 synthesized by sol gel.

Materials and Methods: This was an experimental study. After nanoparticle synthesis, we used FTIR, SEM, XRD for analysis of nanoparticles. The photocatalytic process for Chromium removal was performed using a discrete stream reactor and Uv light bulb with 30 watts intensity. Then, the effects of independent variables, including pH, concentration of nanoparticles, contact time and the presence of interfering organic matters such as phenol, EDTA, CCl4, methanol and humic acid on the efficiency of the removal of Chromium in an aqueous medium were evaluated.

Results: The results showed efficiency of Chromium removal increased after decreasing pH. Also, increasing the concentration of nanoparticles and contact time led to increased removal efficiency. We found reduced removal efficiency after increasing concentrations of the pollutants. Removal efficiency of Chromium increased in the presence of EDTA, but methanol, phenol, humic acid, and carbon tetrachloride reduced its removal efficiency.

Conclusion: Photocatalytic oxidation with titanium oxide nanoparticles synthesized by sol-gel method can be an effective way for removal of Chromium from aqueous medium.

Keywords: Chromium, Photocatalyst, Experimental design, Sol-gel.

Received: May 13, 2017 **Accepted:** Oct 16, 2017

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان / دوره بیست و دوم / بهمن و اسفند ۹۵/۱۳۹۶-۸۴

بررسی کارایی فرآیند فتوکاتالیستی حذف کروم در حضور مواد آلی از محیط آبی با استفاده از نانو ذرات TiO_2 سنتز شده به روش سل ژل

یحیی زند سلیمی[۱]، شهرام صادقی[۲]، ناصر رشادمنش[۲]، اسمعیل قهرمانی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، کارشناس مرکز تحقیقات بهداشت محیط، عضو کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

۲. کارشناسی ارشد بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران.

۳. مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران (مولف مسوول)، تلفن ثابت : ۳۳۶۶۴۶۴۵-۰۸۷ داخلی۸۵۱۵

ghahramani64@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: استفاده گسترده از کروم و ترکیبات آن در بسیاری از صنایع ازجمله آبکاری، تولید فولاد، حفاظت چوب و چرم دباغی باعث منجر به تخلیه مقدار زیادی آلاینده به آب های پذیرنده شده، بنابراین باعث سمیت برای انسان و محیطزیست است. لذا هدف از این تحقیق تعیین کارایی فرآیند فتوکاتالیستی حذف کروم در حضور مواد آلی از محیط آبی با استفاده از نانو ذرات TiO_2 سنتز شده به روش سل ژل می‌باشد.

روش بررسی: مطالعه از نوع تجربی- آزمایشگاهی بود. پس از سنتز نانوذره آنالیزهای FTIR, SEM, XRD بر روی نانو ذرات انجام گردید. فرایند فتوکاتالیستی حذف کروم با استفاده از راکتوری با جریان ناپیوسته و لامپ فرابنفش با شدت ۳۰ وات انجام گردید. در ادامه متغیرهای مستقل شامل pH، غلظت نانوذره، غلظت آلاینده، زمان تماس و حضور مواد آلی مداخله‌گر مانند فنل، EDTA، CCl_4، متانول و اسید هیومیک بر راندمان حذف کروم در محیط آبی مورد آزمایش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد کاهش pH موجب افزایش راندمان حذف کروم می‌گردد. همچنین افزایش غلظت نانوذره و زمان تماس باعث افزایش کارایی و افزایش غلظت آلاینده موجب کاهش راندمان می‌شود. حضور مواد آلی EDTA موجب افزایش راندمان حذف کروم و متانول، فنل، اسید هیومیک و تترا کلرید کربن موجب کاهش راندمان حذف کروم می‌شوند.

نتیجه‌گیری: اکسیداسیون فتوکاتالیستی با نانوذره اکسید تیتانیم سنتز شده به روش سل- ژل می‌تواند روشی کارآمد برای حذف کروم از محیط‌های آبی باشد.

واژگان کلیدی: کروم، فتوکاتالیست، طراحی آزمایش، سل- ژل

وصول مقاله:۹۶/۲/۲۳ اصلاحیه نهایی:۹۶/۵/۲ پذیرش:۹۶/۷/۲۴

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

مقدمه

در سال‌های اخیر نگرانی‌های فزاینده‌ای در رابطه با حفاظت از محیط‌زیست به وجود آمده است(۱). ترکیبات سمی درجه اول ترکیباتی هستند که دارای خطرات زیست‌محیطی بوده و برای سلامتی انسان مضرند. فلزات سنگین در این گروه جای دارند و از عمده‌ترین آلاینده‌های موجود در پساب‌های صنعتی بشمار می‌روند(۲). فلزات سنگین به‌شدت سمی بوده و دارای قابلیت تجمع زیستی در بدن موجودات می‌باشند. کروم فلز سنگینی است که به دو شکل سه و شش ظرفیتی درمحلول های آبی وجود دارد پایداری کروم سه‌ظرفیتی نسبت به کروم شش ظرفیتی، بیش‌تر و سمیت آن کمتر است(۵-۳). به‌گونه‌ای که سمیت کروم شش ظرفیتی را ۵۰۰ برابر سه‌ظرفیتی اعلام کرده‌اند که طبق راهنمای آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان[1] یک عامل سرطان‌زا برای انسان است. استفاده گسترده از کروم و ترکیبات آن در بسیاری از صنایع ازجمله آبکاری، تولید فولاد، حفاظت چوب و چرم دباغی باعث شده است تا به‌عنوان یک آلاینده تهدیدکننده محیط‌زیست موردتوجه قرار گیرد(۸-۶). تاکنون روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین ازجمله فرآیند اسمز معکوس، الکترو دیالیز، تبادل یون و ... موردبررسی قرارگرفته‌اند اما هرکدام از این فرآیندها به دلیل هزینه بالا و عدم حذف کامل کروم دارای محدودیت‌های خاص خود هستند(۱۲-۹). فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (Advanced Oxidation Processes) به دلیل کارایی بسیار بالا و همچنین عدم ایجاد آلودگی ثانویه موردتوجه است(۱۵-۱۳). اساس این فرآیندها بر تولید رادیکال هیدروکسید (OH) در محیط‌های آبی با استفاده از UV/H_2O_2، H_2O_2، UV/ZnO، UV/TiO_2می‌باشد(۱۶). از میان این روش‌ها فرآیند احیای فتوکاتالیستی به‌عنوان یک تکنولوژی مؤثر در اکسیداسیون آلاینده‌های زیست‌محیطی موردتوجه قرارگرفته‌اند. در این فرآیند از اشعه UV به‌عنوان یک کاتالیزور برای از بین بردن آلاینده ا استفاده می‌شود(۱۷). تجزیه فتوکاتالیستی فرآیندی بر پایه جذب انرژی نور توسط ماده جامد نیمه‌رسانا می‌باشد. در این فرآیند، نانو ذرات در نقش کاتالیست، فتون‌های پرانرژی طیف UV را جذب نموده و متعاقب آن رادیکال هیدروکسیل که اکسیدکننده‌ای قوی است شکل می‌گیرد(۱۸). در فرآیندهای متداول فتوکاتالیستی معمولاً از TiO_2 به‌عنوان کاتالیزور استفاده می‌شود. این ذرات با قطر مؤثر ۰/۲ میکرون به مایع تحت تابش UV اضافه می‌شوند(۱۷). استفاده از فرآیند احیای فتوکاتالیستی با استفاده از فرآیند UV/TiO_2 می‌تواند به‌طور همزمان ترکیبات آلی و فلزات سنگین زا احیا و ترکیبات غیرقابل تجزیه بیولوژیکی را به ترکیبات قابل‌تجزیه بیولوژیکی تبدیل کند TiO_2 به علت جذب فرابنفش و پایداری زیاد به‌طور وسیع برای تجزیه فتوکاتالیستی ترکیبات شیمیایی در محیط‌های آبی استفاده می‌شود(۲۰و ۱۹). ازاین‌رو استفاده از روش فتوکاتالیستی توسط اشعه UV همراه با نانو ذرات TiO_2 یکی از روش‌های مؤثر در سم‌زدایی ترکیبات خطرناک در فاز آبی می‌باشد(۲۱و ۱۸).

اخیراً محققین به دلیل ظرفیت جذب پایین و خاصیت انتخابی کم و ناپایداری در شرایط اسیدی به استفاده از ترکیبات آلی در فرایندهای جذب و تجزیه

[1] International Agency for Research on Cancer

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

فتوکاتالیستی روی آورده‌اند که این امر موجب افزایش ظرفیت جذب، قابلیت انتخابی و پایداری آن را توسط برخی ترکیبات مثل صمغ، کیتوزان، اسید هیومیک و دی اتیلن تری آمین ارتقاء دهند(۲۳و۲۲). در مطالعه‌ای که توسط Marios و همکاران با عنوان مطالعه سیستماتیک از حلالیت کروم در حضور مواد آلی و پیامد آن برای تصفیه فاضلاب حاوی کروم انجام دادند نشان داد که حضور مواد آلی در محیط موجب می‌شود رفتار حلالیت کروم تغییریافته و حذف آن از فاز محلول را راحت‌تر صورت پذیرد(۲۴). لذا هدف از این تحقیق تعیین کارایی فرآیند فتوکاتالیستی حذف کروم در حضور مواد آلی از محیط آبی با استفاده از نانو ذرات TiO_2 سنتزشده به روش سل ژل می‌باشد.

روش بررسی

روش انجام آزمایش‌ها:

این تحقیق یک مطالعه نیمه تجربی – کاربردی است که در مقیاس آزمایشگاهی انجام گردیده است. دستگاه اسپکتروفتومتر (Spectrometer UV/VIS, DR-5000, HACH) برای سنجش غلظت کروم استفاده گردید. تعیین غلظت کروم طبق روش ۳۵۰۰ استاندارد متد با روش فتومتر ۱–۵ دی فنیل کاربازید در طول موج ۵۴۰ نانومتر تعیین گردید (۲۱). محلول استوک کروم(VI) با استفاده از حل کردن کرومات پتاسیم($K_2Cr_2O_7$) در آب مقطر تهیه گردید. جهت تنظیم pH از اسید کلریدریک و سود یک نرمال استفاده گردید. غلظت مجهول کروم در مراحل بعدی آزمایش با استفاده از فرمول به دست آمد و برای محاسبه میزان درصد حذف رنگ از رابطه(۱) استفاده گردید:

$$R\%=[C_0 - C_0]\times 100$$

$R\%$ = درصد حذف کروم

C_0 = غلظت کروم در زمان صفر(mg/l)

Ct = غلظت کروم در زمان t(mg/l)

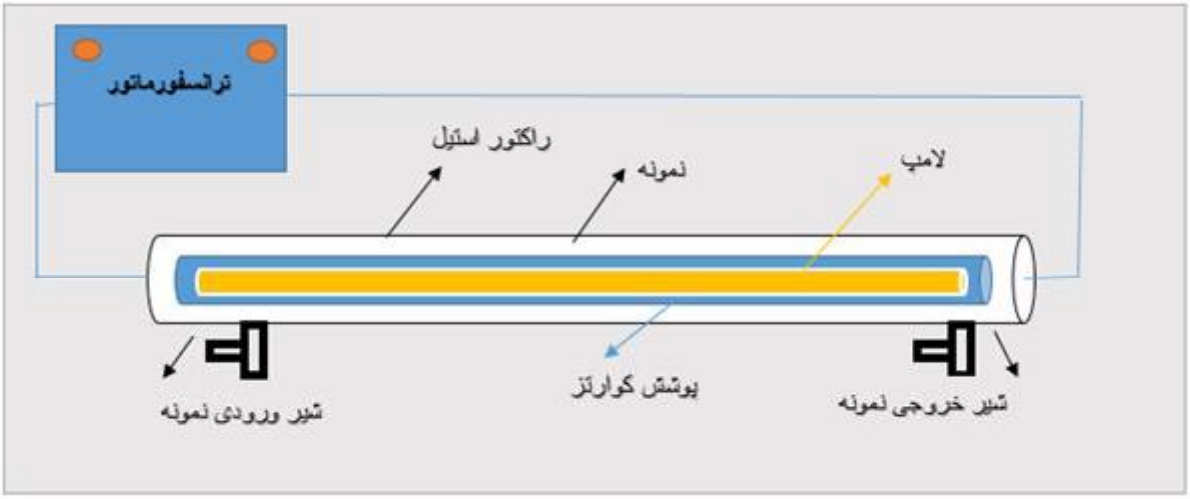
متغیرهای موردبررسی در این مطالعه شامل pH در چهار سطح ۲، ۴، ۶ و ۸، غلظت نانوذره در پنج سطح ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ گرم در لیتر، غلظت اولیه کروم در پنج سطح ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان تماس در شش سطح ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه می‌باشد. به‌منظور بررسی تأثیر مداخله‌گرها از فنل، CCl_4، EDTA، متانول و اسید هیومیک با غلظت ۰/۱ مول بر لیتر استفاده گردید.

مشخصات راکتور و منبع تابش اشعه UV:

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده‌شده است. در این تحقیق از راکتور با جریان منقطع با حجم ۲/۸ لیتر از جنس استیل ساخت شرکت نیک آب می‌باشد. درون آن پوشش کوارتز و لامپ کم‌فشار ۳۰ وات ۹۰ سانتیمتری ساخت شرکت Philips هلند استفاده‌شده است.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]



شکل ۱. شماتیک راکتور مورداستفاده

روش سنتز نانوذره:

به‌منظور سنتز نانو ذرات ۵۰ میلی‌لیتر اتانول را در یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و قطره‌قطره $TiCl_4$ را به آن اضافه تا رنگ محلول زرد و حالت ژله‌ای پیدا کند، در این حالت چون بخارات اسید HCl از محلول خارج می‌شود سنتز در زیر هود شیمیایی انجام می‌گیرد. سپس محلول ژله‌ای را به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده تا خشک و به پودر سفیدرنگی تبدیل گردد، در ادامه نانوذره حاصله را در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد کوره کلسینه می‌گردد(۲۲).

مشخصات نانو ذرات:

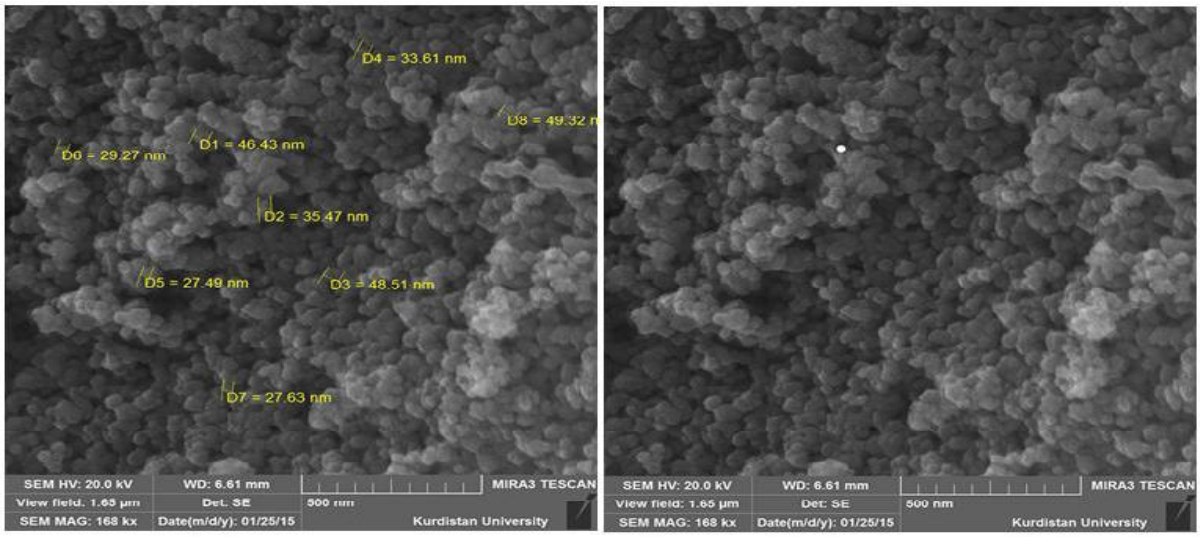
از میکروسکوپ الکترونی روبشی Tscan مدل MIRA3 ساخت کشور چک برای توصیف شکل و اندازه ذرات اکسید روی استفاده‌شده است. طیف‌سنجی اشعه ایکس(XRD) به‌منظور بررسی ساختار کریستالی و نظم شبکه بلوری نانوذره استفاده می‌گردد، با دستگاه Inel مدل EQUINOX 3000 ساخت کشور فرانسه انجام شد. طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه FTIR با دستگاه Bruker مدل Tensor 27 ساخت کشور آلمان انجام گردید.

یافته‌ها

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذره TiO_2 سنتز شده با روش سل ژل با بزرگ‌نمایی ۵۰۰ نانومتر در شکل ۲ نشان داده‌شده است.

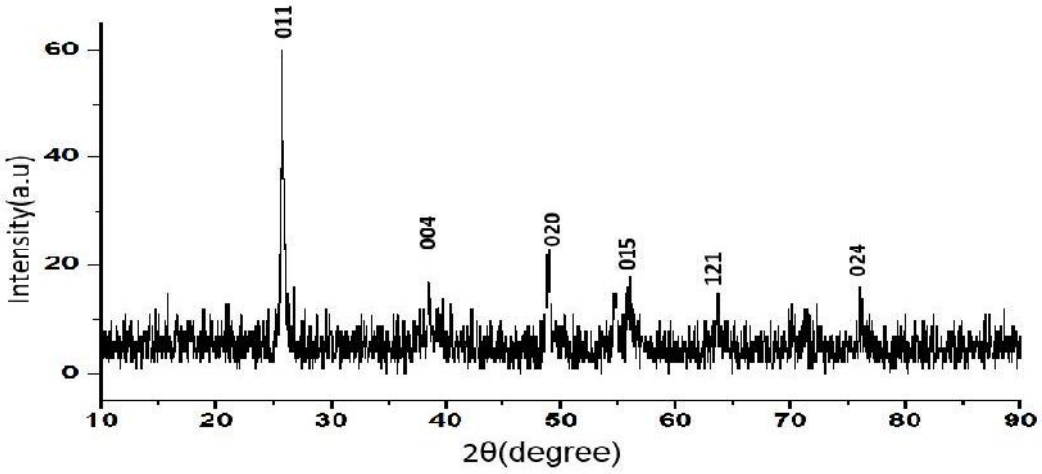
[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانوذرهTiO_2

طیف پراش اشعه ایکس برای تائید ساختار کریستالی و خلوص نانو ذرات دی‌اکسید تیتانیم استفاده‌شده است. طیف پراش اشعه ایکس نانوذره TiO_2 سنتز شده با روش سل ژل در شکل ۳ نشان داده‌شده است.

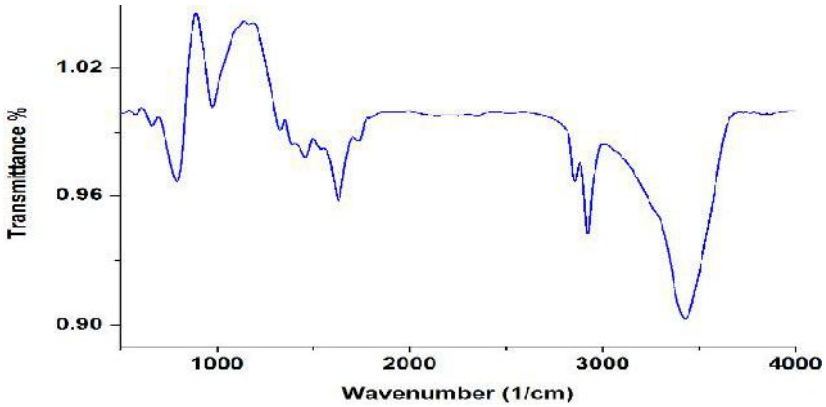


شکل ۳. طیف پراش اشعه ایکس نانوذرهTiO_2

طیف‌سنجی مادون‌قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌ها و یون‌های چنداتمی صورت می‌گیرد. این روش به‌عنوان روشی پرقدرت و توسعه‌یافته برای تعیین ساختار و اندازه‌گیری گونه‌های شیمیائی به کار می‌رود. همچنین این روش عمدتاً برای شناسایی ترکیبات آلی به کار می‌رود، زیرا طیف‌های این ترکیبات معمولاً پیچیده هستند و تعداد زیادی پیک‌های ماکسیمم و مینیمم دارند که می‌توانند برای اهداف مقایسه‌ای به کار گرفته شوند. طیف مادون‌قرمز تبدیل فوریه نانوذره TiO_2 سنتز شده با روش سل ژل در شکل ۴ نشان داده‌شده است.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

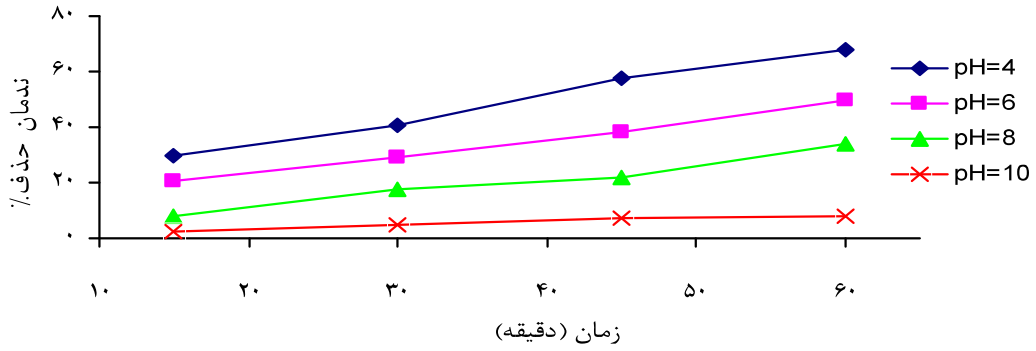
[DOI: 10.22102/22.6.84]



شکل ۴. طیف مادون‌قرمز تبدیل فوریه نانوذره TiO_2

اثر pH بر کارایی حذف کروم:

در بررسی تأثیر pH بر کارایی حذف کروم در حضور نور فرابنفش، نمونه‌ای با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از کروم، غلظت نانوذره ۱/۵ گرم در لیتر، pH ۴، ۶، ۸ و ۱۰ در معرض نور قرارگرفته و در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام گردیده و پس از سانتریفیوژ ۴۰۰۰ rpm مطابق روش استاندارد در طول‌موج ۵۴۰ نانومتر جذب آن قرائت و درصد حذف با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید. نتایج در شکل ۵ نشان داده‌شده است.



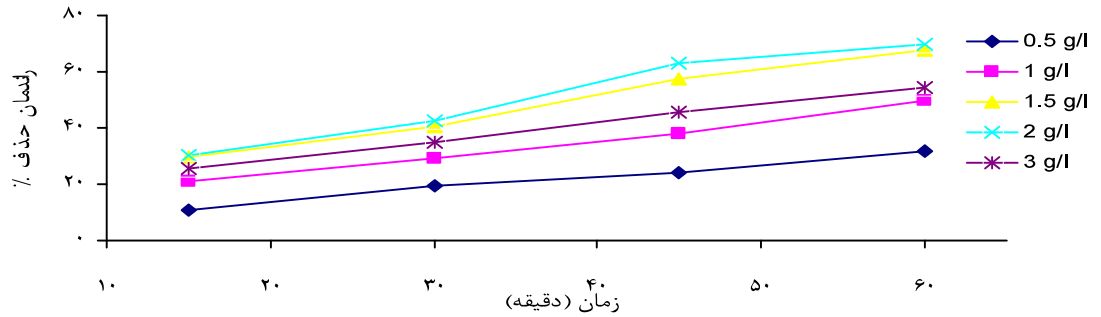
شکل ۵. تأثیر pH بر کارایی حذف کروم

اثر غلظت نانوذره بر کارایی حذف کروم:

در بررسی تأثیر غلظت نانوذره بر کارایی حذف کروم در حضور نور فرابنفش، نمونه‌ای با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از کروم، pH بهینه‌شده از مرحله اول برابر ۴، غلظت نانوذره ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ گرم در لیتر، در معرض نور قرارگرفته و در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام گردید، پس از سانتریفیوژ در طول‌موج ۵۴۰ نانومتر جذب آن قرائت و درصد حذف محاسبه گردید. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

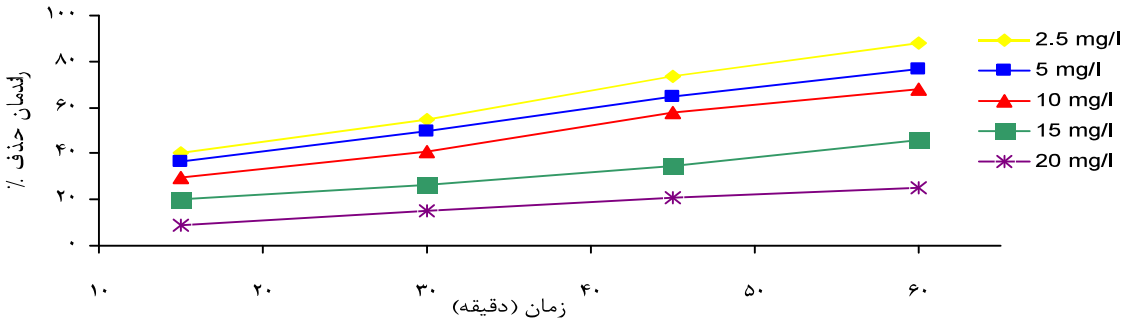
[DOI: 10.22102/22.6.84]



شکل ۶. تأثیر غلظت نانوذره بر کارایی حذف کروم

اثر غلظت اولیه کروم بر کارایی حذف:

در بررسی تأثیر غلظت اولیه کروم بر کارایی حذف کروم در حضور نور فرابنفش، نمونه‌ای با pH=۷ ، غلظت نانوذره ۲ گرم در لیتر و غلظت ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر از کروم در معرض نور قرارگرفته و در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام گردید، پس از سانتریفیوژ در طول‌موج ۵۴۰ نانومتر جذب آن قرائت و درصد حذف محاسبه گردید. نتایج در شکل ۷ نشان داده شده است



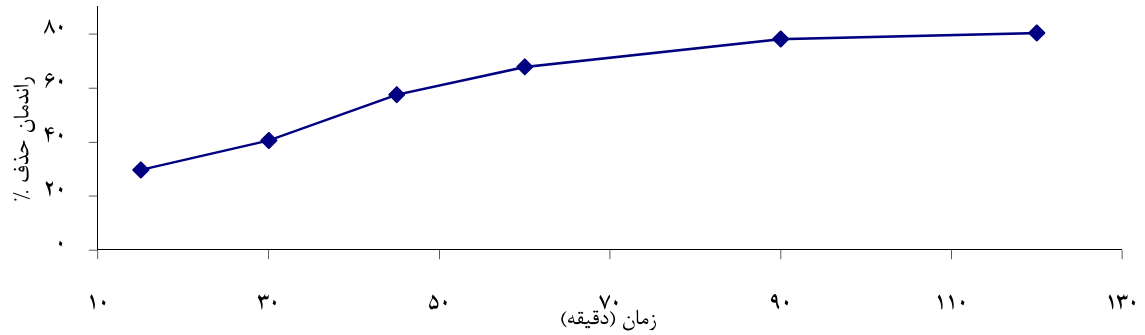
شکل ۷. تأثیر غلظت اولیه کروم بر کارایی حذف کروم

اثر زمان تماس بر کارایی حذف کروم:

در بررسی تأثیر زمان تماس بر کارایی حذف کروم در حضور نور فرابنفش، نمونه‌ای باpH بهینه ۴، غلظت نانوذره بهینه ۲ گرم در لیتر و غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر از کروم در معرض نور قرارگرفته و در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام گردید. پس از سانتریفیوژ در طول‌موج ۵۴۰ نانومتر جذب آن قرائت و درصد حذف محاسبه گردید. نتایج در شکل ۸ نشان داده‌شده است.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

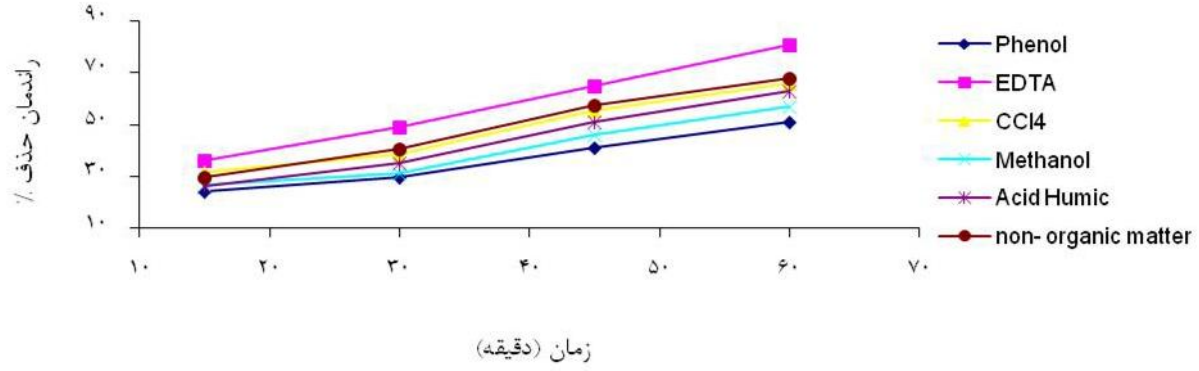
[DOI: 10.22102/22.6.84]



شکل ۸. تأثیر غلظت نانوذره بر کارایی حذف کروم

اثر حضور مواد آلی بر کارایی حذف کروم:

در بررسی تأثیر حذف کروم در حضور مواد آلی، نمونه‌ای باpH بهینه، غلظت نانوذره بهینه ۲ گرم در لیتر، غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر کروم و ۰/۱ مول از مواد آلی فنل، EDTA، تترا کلرید کربن، متانول و اسید هیومیک در معرض نور لامپ قرارگرفته و در زمان‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه نمونه‌برداری انجام و پس از سانتریفیوژ در طول‌موج ۵۴۰ نانومتر جذب آن قرائت و درصد حذف محاسبه گردید. نتایج در شکل ۹ نشان داده‌شده است.



شکل ۹. تأثیر حضور مواد آلی بر کارایی حذف کروم

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

بحث

اسکن میکروسکوپ الکترونی به منظور بررسی مرفولوژی سطح نانو ذره انجام شد.تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانوذره در شکل ۲ نشان می‌دهد، نانوذره دی‌اکسید تیتانیم کاملاً شکل کریستالی، به صورت یکنواخت کروی بوده، هیچگونه کلوخه شدن، تجمع ذرات و تشکیل توده در نانو ذرات دیده نمی‌شود بررسی سایز ذرات میانگینی برابر ۳۷/۲۱ نانومتر را نشان می‌دهد. که کاملا با نتایج XRD همخوانی دارد. بررسی طیف XRD اطلاعاتی در مورد تعیین فازها و ساختار مواد کریستالی ارائه می‌دهد. بررسی‌های طیف XRD نانوذره دی‌اکسید تیتانیم نشان می‌دهد a= 3.7850Å و c= 9.5196Å می‌باشد. سه قله اصلی این طیف‌ها به ترتیب (۰۱۱)، (۰۰۴) و (۰۲۰) منطبق بر ساختار بلوری دی‌اکسید تیتانیم در شاخص میلر (JCPDS no.36-1451) می‌باشند، پیک‌های تیز نشان‌دهنده تبلور خوب نانوذره دی‌اکسید تیتانیم می‌باشد(۲۵, ۲۶). شدت ماکزیمم طیف‌ها در صفحه (۰۱۱) در زاویه ۲θ= ۲۵/۷۵ نمایان شده است. طیف FTIR دی‌اکسید تیتانیم که در شکل ۴ نشان داده‌شده است که بسیاری از نوارهای جذب متعلق به گروه‌های آلی مانند آلکان و هیدروکسیل ظاهرشده است. در نانو ذرات سنتز شده طیفی در ناحیه cm^{-1} ۳۸۰۰–۳۰۰۰ مربوط به پیوند کششی O-H به نمایندگی از آب به‌عنوان رطوبت است. طیف cm^{-1} ۲۹۲۲ مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-H می باشد. طیف cm^{-1} ۱۵۸۹ مربوط به ارتعاش خمیدگی آب است. همچنین طیف cm^{-1} ۸۰۰–۴۵۰ مربوط به پیوند کششی باند اختصاصی Ti-O می‌باشد(۲۹–۲۷).

در شکل ۵ نشان داده‌شده است که با افزایش pH کارایی حذف کروم کاهش می‌یابد. دلیل کاهش کارایی آن است که در pH های پایین گونه غالب یون Cr_2O_7 می‌باشد. با تشکیل این یون از غلظت کروم کاسته شده و بنابراین کارایی افزایش می‌یابد. همچنین در pH های بالا کروم به‌صورت هیدورکسید روی سطح کاتالیست رسوب‌کرده و از تابیدن نور به نانوذره جلوگیری و تولید رادیکال‌های هیدروکسیل را کاهش داده و موجب کاهش راندمان می‌گردد(۳۰). در مطالعه‌ای که Kusvuran و همکاران بر روی حذف فتوکاتالیستی کروم از فاضلاب صنایع آبکاری انجام دادند مشخص شد که بیش‌ترین حذف کروم در pH اسیدی حدود ۴–۳ صورت می‌گیرد(۳۱).

در شکل ۶ نتایج اثر غلظت نانوکاتالیست بر کارایی حذف فتوکاتالیستی کروم نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نانوذره از ۰/۵ تا ۲ g/l راندمان افزایش و از این مقدار بیشتر ۳g/l راندمان کاهش پیدا می‌کند. در فرایند فتوکاتالیستی به دلیل افزایش میزان نانو ذرات سطح‌فعال کاتالیت افزایش‌یافته و موجب می‌شود کارایی نانوذره افزایش یابد. همچنین با افزایش نانوذره در مقابل نور فرابنفش رادیکال‌های هیدروکسیل بیشتری آزاد می‌شود. نفیسی و همکارانش (۲۰۱۶) به این نتیجه رسیدند که غلظت نانو کاتالیزور تا اندازه خاصی باعث افزایش راندمان می‌شود و بعدازآن به دلیل ایجاد کدورت در محلول و کاهش نفوذ نور باعث کاهش راندمان تجزیه آلاینده می‌گردد(۳۲).

تأثیر غلظت اولیه کروم در حذف آن‌که در شکل ۷ نشان داده‌شده است مشخص کرد با افزایش غلظت اولیه آلاینده کارایی حذف کاهش می‌یابد. دلیل آن این است که با افزایش غلظت اولیه کروم مولکول‌های کروم بیشتری روی سطح نانو کاتالیست احیا می‌شود. مقدار زیاد احیا کروم موجب ایجاد حفره‌های فوتونی روی نانوذره شده و واکنش مستقیم بین رادیکال‌های هیدروکسیل و آلاینده کروم اتفاق نمی‌افتد بنابراین کارایی فرایند کاهش می‌یابد(۳۴و ۳۳).

در شکل ۸ زمان تماس موردبررسی قرار گرفت نتایج نشان داد در زمان‌های ۱۵ تا ۹۰ دقیقه راندمان افزایش قابل‌توجهی پیداکرده است. همچنین با افزایش زمان از ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه افزایش راندمان چشمگیر نمی‌باشد. واضح است با افزایش زمان تماس کارایی حذف کروم افزایش می‌یابد زیرا تولید

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

رادیکال‌های هیدروکسیل آزاد در باند رسانا با افزایش زمان تماس افزایش می‌یابد(۳۶و۳۵).

برای بررسی تأثیر مداخله‌گرها بر کارایی حذف کروم که در شکل ۹ نشان داده‌شده است، مشخص کرد که این مداخله‌گرها می‌توانند تأثیر مثبت یا منفی بر راندمان حذف داشته باشند. EDTA در فرایندهای فوتوکاتالیستی به‌عنوان الکترون دهنده و اسکاونجر حفره باند ظرفیت عمل می‌کنند و با به تعویق انداختن ترکیب مجدد الکترون حفره در سطح ذرات و ایجاد زمان کافی برای فرایندهای فوتوکاتالیستی شرایط را برای ایجاد تعداد بیشتری از رادیکال‌ها فراهم می‌کنند. نتایج مطالعات عسگری و آیتی نشان داد که سرعت سینتیک فرایند فوتوکاتالیستی در حضور EDTA، بیشتر از سرعت واکنش در غیاب EDTA در حذف ماده‌ی رنگ‌زا بود که با نتایج مطالعات حاضر مطابقت دارد(۳۷).

CCl_4، متانول، فنل و اسید هیومیک نسبت به حالت عدم استفاده از آن‌ها با درصد حذف در شرایط یکسان، بر کارایی سیستم تأثیر منفی داشته‌اند؛ که علت آن ترکیب یون‌های آزادشده مانند Cl^- با رادیکال‌های هیدروکسیل آزاد و درنتیجه کاهش مقدار رادیکال‌های هیدروکسیل آزاد و کاهش راندمان حذف می‌باشد. نتایج مطالعات دانشور و همکاران در بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی در تصفیه Rhodamine B نشان داد که تجزیه و تخریب RB در حضور آنیون‌هایی چون Cl^-، HCO_3^-،CO_3^- به علت اسکاونج کردن تعداد زیادی از رادیکال‌های هیدروکسیل کاهش می‌یابد(۳۸).

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی pH محلول، غلظت نانوذره و غلظت اولیه کروم نقش مهمی را در راندمان فرایند موردمطالعه ایفا می‌کنند. با افزایش مقدار نانو ذرات به دلیل امکان دسترسی بیشتر مولکول‌های آلاینده به سطح آن، مقدار حذف کروم افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت اولیه کروم کارایی کاهش می‌یابد، زیرا نقاط در دسترس کمتر می‌شود. با توجه به نتایج مطلوب فرایند تجزیه فتوکاتالیستی حذف کروم با نانو ذرات سنتزشده اکسید تیتانیم به روش سل ژل پیشنهاد می‌گردد که کارایی فرایند موردنظر در حذف سایر آلاینده‌ها نیز موردبررسی قرار گیرد تا با تعیین دامنه عملکرد این فرایند قابلیت استفاده از آن برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی آلاینده‌های مختلف تعیین گردد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کردستان حمایت مالی شده است. لذا نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

Reference

1. Gode F, Pehlivan E. Removal of chromium (III) from aqueous solutions using Lewatit S 100: the effect of pH, time, metal concentration and temperature. J Hazard Mater 2006;136:330-7.
2. Yadanaparthi SKR, Graybill D, Von Wandruszka R. Adsorbents for the removal of arsenic, cadmium, and lead from contaminated waters. J Hazard Mater 2009;171:1-15.
3. Muthukumaran K, Beulah S. Removal of chromium (VI) from wastewater using chemically activated Syzygium jambolanum nut carbon by batch studies. Procedia Environ Sci 2011;4:266-80.
4. Mor S, Ravindra K, Bishnoi N. Adsorption of chromium from aqueous solution by activated alumina and activated charcoal. Bioresour Technol 2007;98:954-7.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

5. Muthukumaran K, Beulah S. Removal of Chromium (VI) from wastewater using chemically activated Syzygium jambolanum nut carbon by batch studies. Procedia Environ Sci 2011;4: 266–80.
6. Demir A, Arisoy M. Biological and chemical removal of Cr (VI) from waste water: cost and benefit analysis. J Hazard Mater 2007;147:275-80.
7. Volesky B. Advances in biosorption of metals: selection of biomass types. FEMS Microbiol Rev 1994;14:291-302.
8. Kumar PA, Ray M, Chakraborty S. Hexavalent chromium removal from wastewater using aniline formaldehyde condensate coated silica gel. J Hazard Mater 2007;143:24-32.
9. Hafez A, El-Manharawy M, Khedr M. RO membrane removal of unreacted chromium from spent tanning effluent. A pilot-scale study, Part 2. Desalination 2002;144:237-42.
10. Ribeiro AB, Mateus EP, Ottosen LM, Bech-Nielsen G. Electrodialytic removal of Cu, Cr, and As from chromated copper arsenate-treated timber waste. Environ Sci Technol 2000;3:784-8.
11. Dabrowski A, Hubicki Z, Podkościelny P, Robens E. Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. Chemosphere 2004;56:91-106.
12. Selvi K, Pattabhi S, Kadirvelu K. Removal of Cr (VI) from aqueous solution by adsorption onto activated carbon. Bioresour Technol 2001;80:87-9.
13. Hossini H, Darvishi Cheshmeh Soltani R, Safari M, Maleki A, Rezaee R, Ghanbari R. The application of a natural chitosan/bone char composite in adsorbing textile dyes from water. Chem Eng Commun 2017;204:1082-93.
14. Jafari A, Mahvi AH, Nasseri S, Rashidi A, Nabizadeh R, Rezaee R. Ultrafiltration of natural organic matter from water by vertically aligned carbon nanotube membrane. J Environ Health Sci Eng 2015;13:51.
15. Jafari A, Rezaee R, Nasseri S, Mahvi AH, Maleki A, Safari M, et al. Application of micellar enhanced ultrafiltration (MEUF) for arsenic (v) removal from aqueous solutions and process optimization. J Dispers Sci Technol 2017;38:1588-93.
16. Emami-Karvani Z, Chehrazi P. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on gram-positive and gram-negative bacteria. Afr J Microbiol Res 2011;5:1368-73.
17. Chang HT, Wu N-M, Zhu F. A kinetic model for photocatalytic degradation of organic contaminants in a thin-film TiO 2 catalyst. Water Res 2000;34:407-16.
18. Lopez T, Alvarez M, Tzompantzi F, Picquart M. Photocatalytic degradation of 2, 4-dichlorophenoxiacetic acid and 2, 4, 6-trichlorophenol with ZrO 2 and Mn/ZrO 2 sol-gel materials. J Sol-Gel Sci Technol 2006;37:207-11.
19. Mo J, Zhang Y, Xu Q, Lamson JJ, Zhao R. Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: a literature review. Atmos Environ 2009;43:2229-46.
20. Shivaraju H, Midhun G, Anil Kumar K, Pallavi S, Pallavi N, Behzad S. Degradation of selected industrial dyes using Mg-doped TiO2 polyscales under natural sun light as an alternative driving energy. Appl Water Sci 2017;7:3937–48.
21. Shivaraju H, Muzakkira N, Shahmoradi B. Photocatalytic treatment of oil and grease spills in wastewater using coated N-doped TiO2 polyscales under sunlight as an alternative driving energy. Int J Environ Sci Technol 2016;9:2293-302.
22. Liu Y, Chen M, Yongmei H. Study on the adsorption of Cu (II) by EDTA functionalized Fe 3 O 4 magnetic nano-particles. Chem Eng J 2013;218:46-54.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]

23. Pirsaheb M, Shahmoradi B, Khosravi T, Karimi K, Zandsalimi Y. Solar degradation of malachite green using nickel-doped TiO2 nanocatalysts. Desalination Water Treat 2016;57:9881-8.
24. Remoundaki E, Hatzikioseyian A, Tsezos M. A systematic study of chromium solubility in the presence of organic matter: consequences for the treatment of chromium-containing wastewater. J Chem Technol Biotechnol 2007;82:802-8.
25. Fosso-Kankeu E, Waanders F, Geldenhuys M. Photocatalytic Degradation of Dyes using TiO2 Nanoparticles of Different Shapes. 7th International Conference on Latest Trends in Engineering and Technology (ICLTET'2015), 2015.
26. Salehi K, Shahmoradi B, Bahmani A, Pirsaheb M, Shivaraju H. Optimization of reactive black 5 degradation using hydrothermally synthesized NiO/TiO2 nanocomposite under natural sunlight irradiation. Desalination Water Treat 2016;57:25256-66.
27. Ba-Abbad MM, Kadhum AAH, Mohamad AB, Takriff MS, Sopian K. Synthesis and catalytic activity of TiO2 nanoparticles for photochemical oxidation of concentrated chlorophenols under direct solar radiation. Int J Electrochem Sci 2012;7:4871-88.
28. Shrivastava V. Photocatalytic degradation of methylene blue dye and chromium metal from wastewater using nanocrystalline TiO2 semiconductor. Arch Appl Sci Res 2012;4:1244-54.
29. Shahmoradi B, Maleki A, Byrappa K. Removal of Disperse Orange 25 using in situ surface-modified iron-doped TiO2 nanoparticles. Desalination Water Treat 2015;53:3615-22.
30. Liu S, Qu Z, Han X, Sun C. A mechanism for enhanced photocatalytic activity of silver-loaded titanium dioxide. Catalysis Today 2004;93:877-84.
31. Kusvuran E, Samil A, Atanur OM, Erbatur O. Photocatalytic degradation kinetics of di- and tri-substituted phenolic compounds in aqueous solution by TiO 2/UV. Appl Catal B 2005;58:211-16.
32. Ghaneian M, Salmani M, Ehrampoush M, Dehghani A, NafisI M. Application of the Photocatalytic Process of Ag-ZnO / UV-C for the Degradation of 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid In Aqueous Aolutions. Tolooebehdasht 2016;14:227-35. [In Persian]
33. Shirzad Siboni M, Samadi M-T, Yang J-K, Lee S-M. Photocatalytic removal of Cr (VI) and Ni (II) by UV/TiO2: kinetic study. Desalination Water Treat 2012;40:77-83.
34. Liu Z, Wang G, Zhao X. Removal of Cr (VI) from aqueous solution using ultrafine coal fly ash. J *Wuhan Univ* Technol, *Mater Sci Ed* 2010;25:323-7.
35. Shahmoradi B, Ibrahim I, Namratha K, Sakamoto N, Ananda S, Somashekar R, et al. Surface modification of indium doped ZnO hybrid nanoparticles with n-butylamine. Inte J Chem Eng Res 2010;2:107-17.
36. Mehrizi EA, Sadan M, Karimaei M, Ghahramani E, Ghadiri K, Taghizadeh MS. Isotherms and kinetics of lead and cadmium uptake from the waste leachate by natural absorbent. World Appl Sci J 2011;15:1678-86.
37. Asgari R, Ayati B. Using the EDTA Hole Scavenger to Accelerate Decolorization in the Immobilized Photocatalytic Process. J Water Wastewater 2015;26:19-27.
38. Daneshvar N, Behnajady M, Mohammadi MKA, Dorraji MS. UV/H2O2 treatment of Rhodamine B in aqueous solution: Influence of operational parameters and kinetic modeling. Desalination 2008;230:16-26.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-05]

[DOI: 10.22102/22.6.84]