

Fabrication and Characterization of Iron Oxide Nanoparticles and Iron Oxide / Silicon Core/Shell in the Presence of Cationic Surfactants and their Application in Improving the Degradation of Diazinon in Aqueous Solutions

Fatemeh Farahbakhsh¹, Mehdi Ahmadi^{1,*}, Seyyedeh Hoda Hekmatara¹, Ali Alizadeh²

¹Department of Physics, Faculty of Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

²Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Received: 01.07.2018 Final revised: 07.06.2019 Accepted: 26.06.2019

Doi: [10.22055/JRMBS.2019.14911](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2019.14911)

Abstract

In this paper, we used magnetic nanoparticles to improve the degradation of diazinon. For this purpose, iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) were synthesized by modified hydrothermal method. Subsequently, we used the ultrasonic method and put a shell of SiO₂ nanoparticles on it. The obtained nanoparticles were then characterized using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FT-IR), Vibrational Sampler Magnetic Meter (VSM), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscope (TEM). The x-ray diffraction pattern showed the inverse spinel structure of nanoparticles. The residual curve of the pure iron oxide sample showed 74 *emu/g* saturation magnetization. For the core-shell, the saturation magnetization was 42 *emu/g*, all confirming the paramagnetic properties of nanoparticles. These nanoparticles exhibit superparamagnetic properties. The results of the transient electron microscope indicate the formation of this shell on iron oxide nanoparticles. Finally, these nanoparticles were used to degrade diazinon in aqueous solutions with different concentrations. Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) was used as an organic cationic surfactant to improve the degradation of diazinon.

Keywords: Diazinon, Iron oxide, Cationic surfactant, Magnetic nanoparticles, Silicon

* Corresponding Author: M.Ahmadi@vru.ac.ir



ساخت و مشخصه‌یابی نانوذرات اکسید آهن و هسته-پوسته اکسید آهن/سیلیکون در حضور سورفکتانت کاتیونی و به‌کارگیری آن در بهبود تخریب آفت‌کش دیازینون در محلول‌های آبی

فاطمه فرحبخش¹، مهدی احمدی^{1*}، سیده هدی حکمت‌آرا¹، علی عزیزاده²

¹ گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

² گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

دریافت: 1397/04/10 ویرایش نهایی: 1398/03/17 پذیرش: 1398/04/05

Doi: [10.22055/JRMBS.2019.14911](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2019.14911)

چکیده

در این مقاله، روشی مؤثر در حذف آفت‌کش دیازینون از محلول‌های آبی با استفاده از نانوذرات اکسید آهن ارائه خواهد شد. به‌همین منظور، نانوذرات اکسید آهن (Fe_3O_4) به‌روش هیدروترمال اصلاح شده سنتز و بعد از آن SiO_2 به‌عنوان پوسته به‌روش اولتراسونیک بر روی آن قرار داده شد. نانوذرات به‌دست آمده با استفاده از پراش پرتو X (XRD)، تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR)، مغناطش سنج نمونه ارتعاشی (VSM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مشخصه‌یابی شد. که الگو پراش پرتو X ساختار اسپینل معکوس نانوذرات، منحنی پسماند نمونه اکسید آهن خالص مقدار مغناطش اشباع 74 emu/g و برای هسته-پوسته مقدار مغناطش اشباع 42 emu/g را نشان داد که نتایج به‌دست آمده خاصیت ابرپارامغناطیس نانوذرات را تأیید می‌کنند. همچنین نتایج حاصل از میکروسکوپ الکترونی عبوری نشان دهنده تشکیل این پوسته بر روی نانوذرات اکسید آهن می‌باشد. در نهایت از این نانوذرات برای تخریب آفت‌کش دیازینون در محیط‌های آبی با غلظت‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت و همچنین برای بهبود تخریب دیازینون از Cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) به‌عنوان سورفکتانت آلی کاتیونی استفاده شد.

کلیدواژگان: دیازینون، اکسید آهن، سورفکتانت کاتیونی، نانوذرات مغناطیسی، سیلیکون

مقدمه

به‌روش سنتز و ساختار شیمیایی آن بستگی دارد که در بیشتر موارد اندازه نانو ذرات بین 1 تا 100 نانومتر می‌باشد و ممکن است ویژگی سوپر پارامغناطیس از خود نشان دهند [2]. نانوذرات مغناطیسی دارای ویژگی‌هایی هستند که می‌توان از آنها به‌عنوان کاتالیزورهای بر پایه نانو مواد، هدف گذاری ویژه در بافت‌های بدن، بلورهای فوتونی

نانو ذرات مغناطیسی به‌دلیل رفتار عجیب خود علاقه بسیاری را به‌خود جلب کرده‌اند. نانو ذرات مغناطیسی نوعی از نانو ذرات هستند که می‌توان با اعمال یک میدان مغناطیسی خواص آنها را تغییر داد [1]. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانو ذرات مغناطیسی تا حد زیادی

*نویسنده مسئول: M.Ahmadi@vru.ac.ir

باز نشر این مقاله با ذکر منبع آزاد است.

این مقاله تحت مجوز کپی‌رایت کامنز تخصصی 4.0 بین‌المللی می‌باشد.



این سم به طور گسترده‌ای برای کنترل حشرات در غلات، میوه، حبوبات، انگور، سبزیجات، برنج و سایر محصولات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از این سم تا حد زیادی برای از بین بردن مگس و کنه استفاده می‌شود و باقی مانده آنها را می‌توان در آب‌های زیر زمینی و رودخانه‌ها یافت. به علاوه دیازینون به آسانی از طریق پوست جذب می‌شود و دارای ویژگی‌های مشترک با سایر سموم می‌باشد. به علاوه این سم برای پرندگان، ماهی‌ها سایر بی‌مهرگان آبی و زنبور عسل بیش از حد سمی است [6].

کارهای آزمایشگاهی

در این بخش به بررسی مواد و روش‌های به کار برده شده برای سنتز نانو ذرات اکسید آهن به روش هیدوترمال اصلاح شده، بررسی روش سنتز نانو ذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ و در نهایت به بررسی جذب سطحی نانوذرات سنتز شده برای تخریب آفت‌کش دیازینون در حضور سورفکتانت آلی خواهیم پرداخت. مواد مورد استفاده در این پژوهش در جدول 1 آمده است.

جدول 1. مواد مورد استفاده.

ماده مورد استفاده	نام آیوپاک	فرمول شیمیایی	جرم مولکولی (g/mol)
آب دیونیزه	Deionized water	H_2O	18
کلرید آهن (III)	Iron(III) chloride	FeCl_3	270,295
کلرید آهن (II)	Iron(II) chloride	FeCl_2	198,810
آمونیاک	Ammonia	NH_3	17,031
TEOS	Tetraethoxysilane	$\text{SiC}_8\text{H}_{20}\text{O}_4$	208,33
CTAB	Cetyltrimethylamm onium bromide	$\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{Br N}$	364,45

مغناطیسی قابل تنظیم، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی، ذخیره‌سازی اطلاعات، بازسازی محیط زیست، نانوسیال‌ها، جداکننده‌های نور، حسگرهای تشخیصی و حسگرهای کاتیونی و... استفاده کرد [3].

نانوذرات مغناطیسی به دلیل جداسازی آسان آنها از محلول‌های آبی در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی برتری زیادی نسبت به نانوذرات غیرمغناطیسی برای کاربرد در فرآیندهای جداسازی، دارند. با استفاده از این روش علاوه بر جداسازی آسان از محیط‌های آبی، می‌توان این نانوذرات را دوباره بازیافت و پس از فراوری مجدداً مورد استفاده قرار داد [4]. پژوهش‌های جدید نشان داده است که نانوساختارهای آهن و اکسیدهای آهن بیشترین بازده در جداسازی فلزات سنگین با جذب سطحی را دارند. با این وجود مسائل اصلی پیشرو در کاربرد نانوساختارهای مغناطیسی عبارتند از اکسیداسیون شیمیایی سریع و حل شدن نانوذرات آهن خالص به ویژه در محیط‌های اسیدی، بازیافت دوباره این نانوذرات با اندازه‌های بسیار کوچک در محیط‌های سیال پیوسته و در نهایت جذب سطحی ضعیف نانوذرات مغناطیسی غیرآلی برای حل این مشکلات و محافظت از نانوذرات مغناطیسی و همچنین رها نشدن این نانوذرات در محیط‌های زیستی و افزایش توانایی جذب سطحی، نانوذرات را در محیط‌های پلیمری و یا کربنی قرار می‌دهند [5].

آلودگی بزرگترین مشکل دنیای مدرن امروز است که روز به روز افزایش می‌یابد و محیط زیست ما را به طور گسترده تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از این آلودگی‌ها، آلودگی آب است که از آلاینده‌های مختلف نشأت گرفته از مصارف انسانی است. به عنوان مثال استفاده بیش از حد از آفت‌کش‌ها منجر به آلودگی آب‌های سطحی و زیر زمینی شده است. دیازینون یک حشره‌کش ارگانوفسفره (نامی عمومی برای استرهای اسید فسفریک می‌باشد.) و آفت‌کشی فرار است.

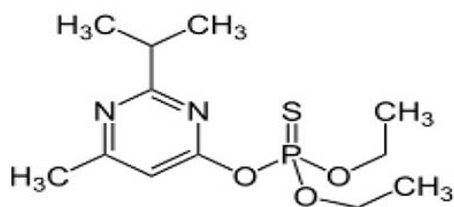
اتاق رسید، به وسیله سانتریفیوژ رسوب به دست آمده شست‌وشو داده و در دمای اتاق خشک شد.



شکل ۲. نانوذرات سنتز شده هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$.

آفت کش دیازینون

سم اورگانوفسفره انتخابی مورد بررسی، سم دیازینون با فرمول شیمیایی $\text{C}_{12}\text{H}_{21}\text{N}_2\text{O}_3\text{PS}$ و وزن مولکولی $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$ 304/35 می‌باشد که بر طبق دسته‌بندی سازمان بهداشت جهانی، در گروه آفت‌کش‌های با سمیت متوسط قرار می‌گیرد. میزان حلالیت این سم در آب 145 میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. شکل 3 ساختار مولکولی این آفت‌کش را نشان می‌دهد [7].



شکل 3. ساختار مولکولی آفت‌کش دیازینون.

سنتز نانوذرات Fe_3O_4 به روش هیدروترمال اصلاح شده

برای سنتز Fe_3O_4 کلرید آهن (II) و کلرید آهن (III) را به نسبت یک به دو در آب دیونیزه حل کرده سپس 25 میلی‌لیتر محلول آمونیاک (NH_3) را به آن اضافه کرده و در دمای 80 درجه سانتیگراد و تحت گاز نیتروژون (N_2) به مدت 40 دقیقه بر روی همزن مغناطیسی هم زده شد. بعد از اینکه دمای محلول به دست آمده به دمای اتاق رسید، رسوب به دست آمده به وسیله سانتریفیوژ با آب و اتانول شست و شو داده شد و در دمای 40 درجه آون خشک شد.



شکل 1. نانوذرات اکسید آهن به روش هیدروترمال اصلاح شده.

سنتز نانو ذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$

تهیه نانوذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ در دو مرحله انجام گرفت. ابتدا 0/5 گرم از Fe_3O_4 سنتز شده در 50 میلی‌لیتر اتانول به وسیله دستگاه اولتراسونیک به مدت 10 دقیقه در دمای 80 درجه سانتی‌گراد پراکنده شد. بعد از آن، 15 میلی‌لیتر آمونیاک به سوسپانسیون اکسید آهن و اتانول اضافه و به مدت 10 دقیقه در اولتراسونیک قرار داده شد. بعد از آن به طور جداگانه 0/35 میلی‌لیتر TEOS را در 35 میلی‌لیتر اتانول به خوبی حل و به صورت قطره قطره به محلول قبل اضافه شد و به مدت 15 دقیقه در اولتراسونیک قرار گرفت. هنگامی که دمای محلول به دمای

آماده سازی محلول دیازینون

برای آماده سازی محلول مادر با غلظت 1000ppm، ابتدا $60 \frac{mg}{l}$ از دیازینون با خلوص 98% در متانول به حجم 250 میلی لیتر رسانده و به خوبی هم زده شد. سپس غلظت های 10-20-30-40-50-60-70-80-90-100 ppm از محلول مادر، در 10 میلی لیتر آب مقطر (به صورت جداگانه) رقیق شد. بعد از آن منحنی استاندارد غلظت توسط طیف سنجی UV-Visible رسم شد.



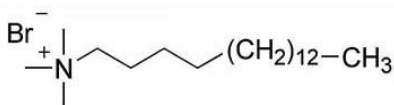
شکل 4. محلول مادر دیازینون با غلظت 1000ppm.

سنجی UV مورد بررسی قرار گرفت و منحنی استاندارد آن رسم شد.

تخریب آفت کش دیازینون توسط نانوذرات

 $Fe_3O_4@SiO_2$ در حضور سورفکتانت آلی

در این مرحله، به محلول های حاوی نانوذرات $Fe_3O_4@SiO_2$ برای عملکرد بهتر تخریب CTAB به عنوان سورفکتانت کاتیونی (شکل 5 ساختار مولکولی این سورفکتانت را نشان می دهد)، اضافه شد. به این منظور مقدار 0/1 میلی گرم از CTAB به محلول ها با غلظت های ذکر شده، اضافه شد. سپس به مدت 10 دقیقه تحت هم زدن شدید قرار گرفت. بعد از آن به مدت 50 دقیقه تحت تابش نور UV قرار گرفت و میزان تخریب سم دیازینون مورد بررسی قرار گرفت.



شکل 5. ساختار مولکولی CTAB.

نتایج و بحث

بررسی آنالیز VSM نانوذرات Fe_3O_4 و هسته -

 $Fe_3O_4@SiO_2$ پوسته

در شکل 6 ویژگی مغناطیسی نانوذرات Fe_3O_4 سنتز شده به روش هیدروترمال اصلاح شده قبل و بعد پوشش داده شدن توسط آنالیز VSM در دمای $300k^\circ$ مورد بررسی قرار گرفت. حلقه پسماند مربوط به Fe_3O_4 خالص مقدار مغناطش اشباع (M_s) 74 emu/g برای این نانو ذرات را نشان می دهد. که در مقایسه با سنتز مشابه علی اکبری و همکاران [8]، جعفری و همکاران [9] و آکین و همکاران [10] به میزان قابل ملاحظه ای موفقیت آمیز بوده است.

روش تخریب سم دیازینون توسط نانوذرات

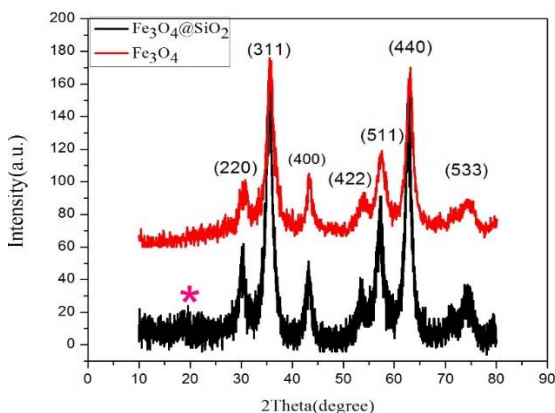
 $Fe_3O_4@SiO_2$ و Fe_3O_4

برای تخریب سم دیازینون از محلول های آبی، 15 میلی گرم از نانوذرات $Fe_3O_4@SiO_2$ و Fe_3O_4 به طور جداگانه در محلول با غلظت های ذکر شده (10-100ppm)، تحت امواج مافوق صوت به مدت 10 دقیقه پراکنده شد. سپس به مدت بین 0 تا 50 دقیقه زیر لامپ UV قرار داده شد. این نکته حائز اهمیت است که، در تمامی مراحل pH محلول ثابت بوده است. بعد از گذشت این مدت زمان، نانوذرات توسط آهن ربا جمع آوری و میزان تخریب سم دیازینون توسط طیف

نانوذرات Fe_3O_4 است. قله نمایش داده شده (*) در زاویه $2\theta=18^\circ$ مربوط به ساختار آمورف SiO_2 می‌باشد. با استفاده از رابطه دبی-شرر سایز نانو ذرات تخمین زده شد.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad 1$$

که در این رابطه $\lambda=0,154$ طول موج پرتو X ، $k=0,9$ ضریب شکل بلور (که در بلورهای کروی با تقارن مکعبی این مقدار می‌باشد)، β پهنای قله در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM)، D اندازه ذره و θ زاویه پراش برحسب درجه می‌باشد. که میانگین اندازه بلورک نانو ذرات خالص با استفاده از این فرمول در حدود 10 نانومتر و نانو ذرات پوشیده شده با SiO_2 در حدود 15 نانومتر تخمین زده شده است که این افزایش اندازه نشان‌دهنده تشکیل موفقیت‌آمیز پوسته SiO_2 بر روی نانو ذرات اکسید آهن می‌باشد.



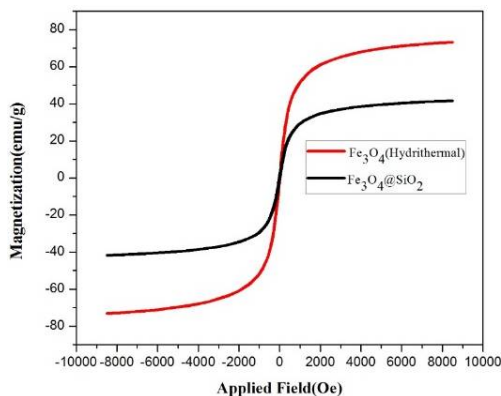
شکل 7. الگوی XRD نانو ذرات Fe_3O_4 و نانو ذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$

بررسی طیف FT-IR نانو ذرات Fe_3O_4 و

نانوذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$

در شکل 8 طیف FT-IR نانو ذرات Fe_3O_4 و نانو ذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ نشان داده شده است. با توجه به شکل 8، برای نانو ذرات Fe_3O_4 قله مشخصه در 590cm^{-1} به پیوند Fe-O نسبت داده شده

برای نانو ذرات هسته-پوسته مقدار مغناطش اشباع به دلیل وجود پوسته SiO_2 نسبت به نانو ذرات خالص کاهش یافته و به مقدار $42 \frac{\text{emu}}{\text{g}}$ رسیده است. علاوه بر این هیچ حلقه پسماندی در دو نمونه دیده نمی‌شود که نشان دهنده رفتار سوپرپارامغناطیس نانو ذرات می‌باشد. انتظار می‌رود که پوسته SiO_2 باعث کاهش مغناطش اشباع نانو ذرات Fe_3O_4 می‌شود اما $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ دارای مغناطش کافی برای جمع‌آوری با یک آهنربای ساده می‌باشد.

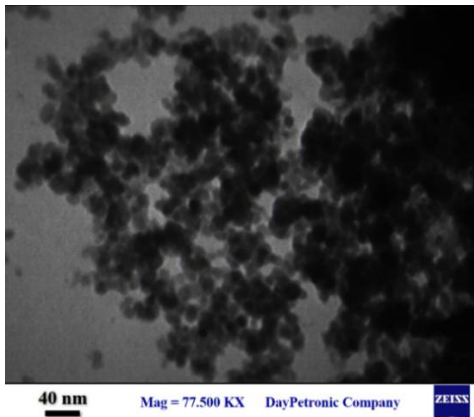


شکل 6. آنالیز VSM نانو ذرات Fe_3O_4 و هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$.

بررسی طیف XRD نانو ذرات Fe_3O_4 و نانو

ذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$

الگوی XRD نانو ذرات Fe_3O_4 و نانو ذرات هسته-پوسته $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ در شکل 7 نشان داده شده است. در این الگو تمامی قله‌های مربوط به صفحات (220)، (311)، (400)، (422)، (440)، (511)، (533) مربوط به ساختار مکعبی مرکز سطحی نانو ذرات Fe_3O_4 می‌باشد (JCPDS-19-0629). همان‌طور که مشاهده می‌شود قله‌ای مبنی بر ناخالصی دیده نمی‌شود و $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ به خوبی تشکیل شده‌اند [11]. در الگوی مربوط به $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ ، کاهش پهنای بلندترین قله و افزایش ارتفاع آن نیز به دلیل افزایش اندازه ذرات می‌باشد که خود نشان‌دهنده تشکیل پوسته SiO_2 بر روی

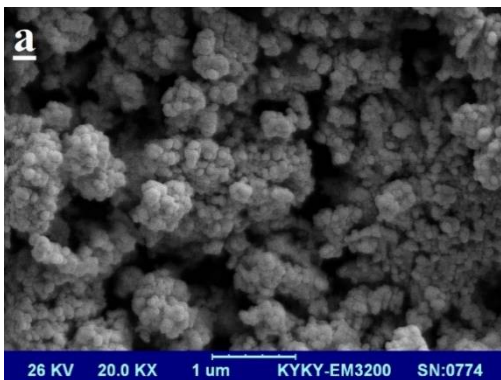


شکل 9. تصویر TEM نانوذرات $Fe_3O_4@SiO_2$.

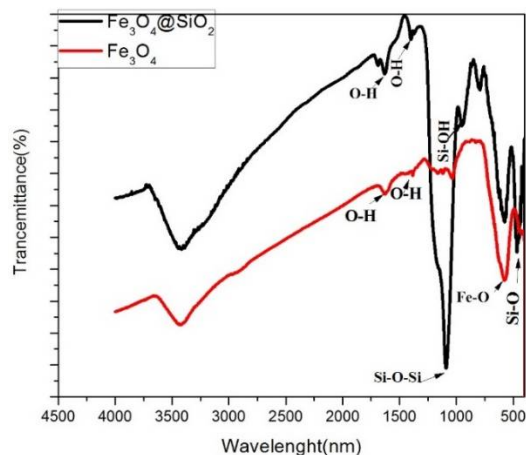
بررسی شکل نانو ذرات Fe_3O_4 و هسته-پوسته

$Fe_3O_4@SiO_2$

شکل 10 جغرافیای سطحی، توزیع اندازه و تجمع نانوذرات خالص و پوشیده شده با SiO_2 توسط (SEM) در شکل 10 نشان داده شده است. در شکل a-4-4 نمونه خالص نانوذرات Fe_3O_4 با شکل کروی و توزیع اندازه نزدیک به هم نشان داده شده است. همچنین سطح نانوذرات $Fe_3O_4@SiO_2$ در شکل (b) قابل مشاهده است. این نمونه، به دلیل غیر مغناطیسی بودن پوسته سیلیکون، دارای تجمع کمتر و اندازه بزرگتر از ذرات خالص می باشد.



است که بر حضور نانوذرات Fe_3O_4 در نمونه تأکید دارد. همچنین، پیوندهای در حدود $3431/1\text{ cm}^{-1}$ و $1635/3\text{ cm}^{-1}$ به ترتیب به کشش، خمیدگی و تغییر ارتعاشات O-H نسبت داده شده است. در طیف مربوط به نانو ذرات $Fe_3O_4@SiO_2$ ، قله جدید در $472/7\text{ cm}^{-1}$ و $956/4\text{ cm}^{-1}$ به ترتیب ارتعاشات خمیدگی پیوند Si-O و ارتعاشات کششی Si-OH را نشان می دهد. قله مربوط به پیوند Si-O-Si در $1088,8\text{ cm}^{-1}$ نشان دهنده تشکیل موفقیت آمیز پوسته SiO_2 بر روی نانوذرات Fe_3O_4 می باشد [12].

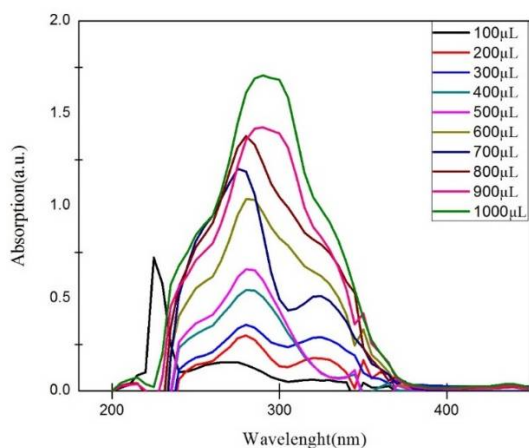


شکل 8. طیف FT-IR نانو ذرات Fe_3O_4 و نانوذرات هسته-پوسته $Fe_3O_4@SiO_2$.

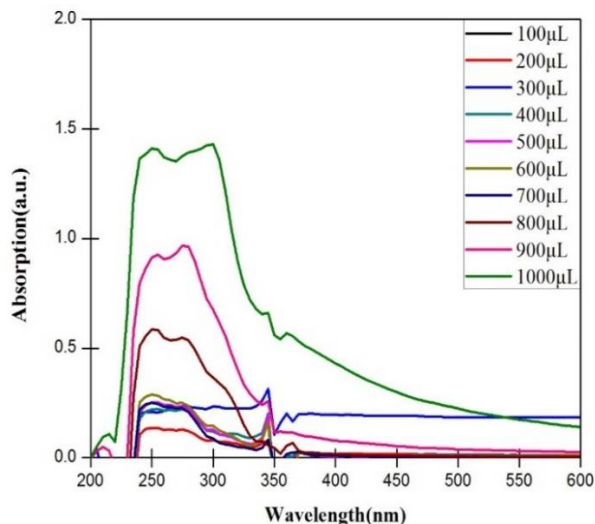
بررسی هسته-پوسته $Fe_3O_4@SiO_2$

در شکل 9 تصویر TEM نانوذرات $Fe_3O_4@SiO_2$ قابل مشاهده است. دیده می شود که میانگین اندازه نانوذرات نیمه-کروی هسته بین 8-12 نانومتر است. واضح است که، پوسته کامل و همگن سیلیکون سطح تمامی ذرات را به خوبی پوشانده است. با توجه به شکل، ضخامت پوسته سیلیکون $2/5$ نانومتر تخمین زده می شود. توزیع اندازه و ضخامت نانوذرات برای تمامی نمونه های مورد مطالعه محدود است.

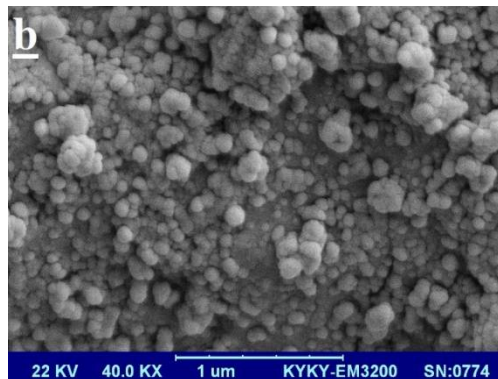
C_0 و C به ترتیب غلظت اولیه محلول و غلظت نهایی بعد از تابش UV را نشان می‌دهند. شکل 14 منحنی مربوط به تأثیر نانوذرات Fe_3O_4 بر تخریب آفت‌کش دیازینون را نشان می‌دهد که به جز در نقطه مربوط به غلظت $100\mu l$ در بقیه موارد شیب ملایمی را دارا است. [13]



شکل 11. طیف جذب غلظت‌های متفاوت آفت‌کش دیازینون.



شکل 12. طیف جذب دیازینون در حضور نانوذرات Fe_3O_4 .

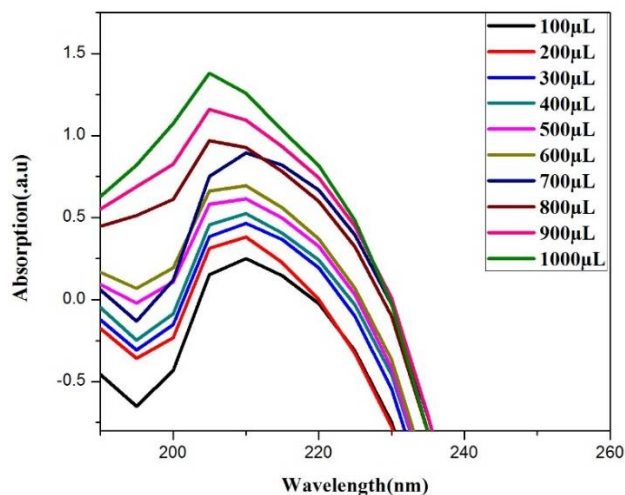


شکل 10. (a) نانوذرات Fe_3O_4 و (b) هسته-پوسته $Fe_3O_4@SiO_2$

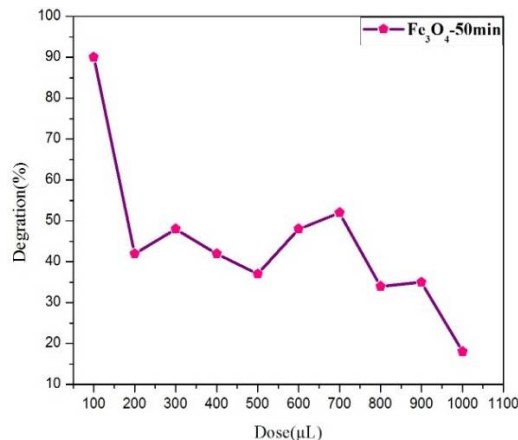
بررسی تخریب آفت‌کش دیازینون

در این بخش، 10 غلظت متفاوت از محلول مادر را تهیه کرده و با استفاده از طیف سنجی UV-Visible منحنی استاندارد آن رسم شد. طیف جذب محلول‌ها با غلظت‌های متفاوت در شکل 11 آمده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، طول موج مربوط به آفت‌کش دیازینون در بین 250 تا 300 نانومتر می‌باشد. شکل 12 طیف جذب آفت‌کش دیازینون در حضور نانوذرات Fe_3O_4 نشان می‌دهد که قله جذب آن در 250 می‌باشد. با توجه به شکل 13، تخریب آفت‌کش بعد از گذشت 50 دقیقه برای هر یک از غلظت‌های بین 100 تا 1000، به ترتیب، $48(\pm 11/2)$ - $42(\pm 14/9\%)$ - $90(\pm 0/9)$ - $52(\pm 3/4)$ - $48(\pm 1/7)$ - $37(\pm 0/2)$ - $42(\pm 10/1)$ درصد می‌باشد. در اینجا بیشترین درصد تخریب مربوط به غلظت 800 ppm می‌باشد. بازده تخریب دیازینون نانوذرات Fe_3O_4 به صورت زیر محاسبه می‌شود:

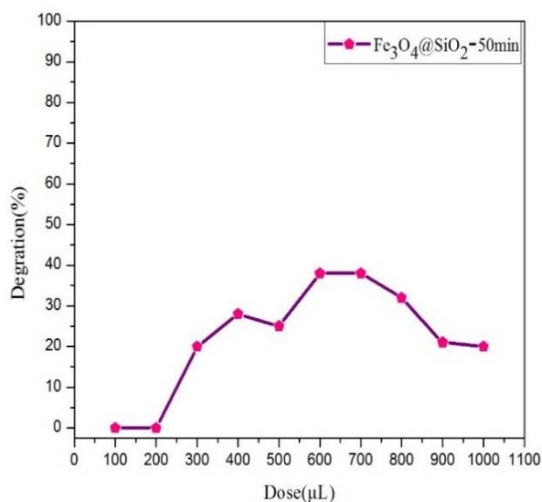
$$\text{درصد تخریب} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100$$



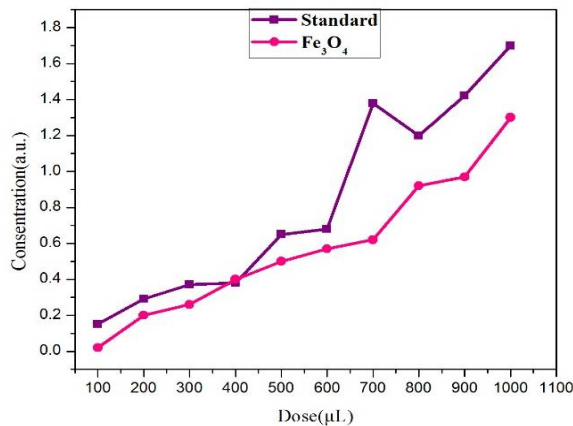
شکل 15. طیف جذب دیازینون در حضور $Fe_3O_4@SiO_2$.



شکل 13. درصد تخریب دیازینون در حضور نانوذرات Fe_3O_4 .



شکل 16. درصد تخریب دیازینون در حضور $Fe_3O_4@SiO_2$.



شکل 14. منحنی استاندارد دیازینون در مقایسه با Fe_3O_4 .

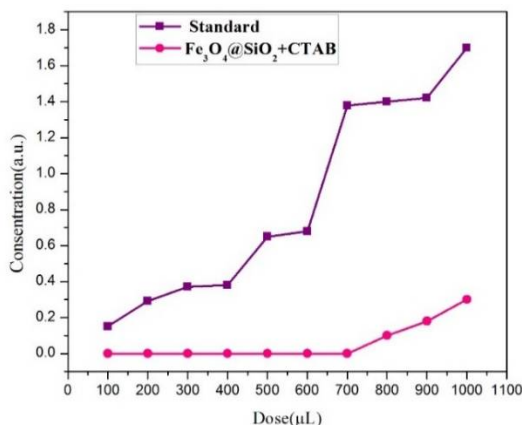
شکل 17، منحنی استاندارد تخریب دیازینون در حضور $Fe_3O_4@SiO_2$ را نشان می دهد. درصد کمی از دیازینون توسط این هسته-پوسته تخریب شده است و منحنی استاندارد نیز به خوبی بیانگر این مسئله می باشد.

شکل 15، طیف جذب دیازینون را در حضور نانوذرات $Fe_3O_4@SiO_2$ نشان می دهد. با توجه به شکل، قله های جذب در 220 نانومتر ظاهر شدند. دلیل جابه جایی طول موج، پوسته SiO_2 می باشد. شکل 16، نشان دهنده درصد تخریب آفت کش دیازینون در حضور هسته-پوسته $Fe_3O_4@SiO_2$ است. با توجه به شکل، بیشترین میزان تخریب (38 ± 0.1) درصد و مربوط به غلظت 600 و 700 می باشد.

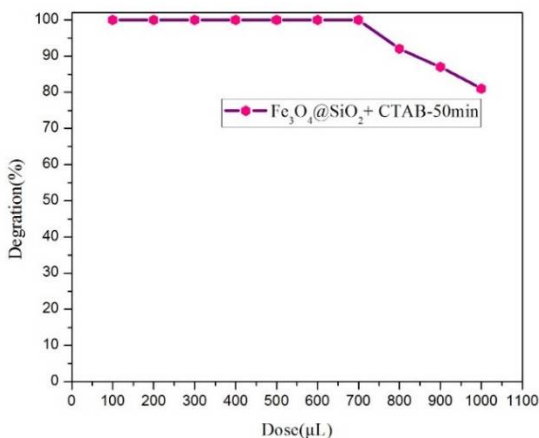
استاندارد نشان داده شده در شکل 20، شیب کمی را نسبت به منحنی استاندارد غلظت دیازینون دارد که این نشان دهنده بالا بودن درصد تخریب در حضور این سورفکتانت کاتیونی می‌باشد.

در سال 2017، نعیمی و همکاران با استفاده از نانوذرات اکسید آهن آمین‌دار شده موفق شدند پس از گذشت 30 دقیقه 85 درصد از آفت کش دیازینون را از محلول‌های آبی حذف کنند [14].

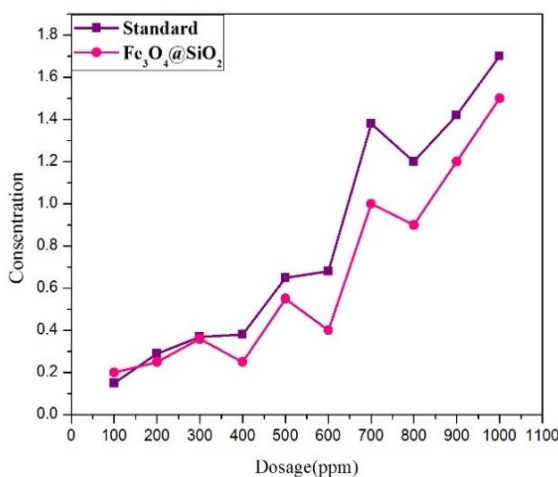
در سال 2018، پونگ و همکاران به بررسی حذف آفت‌کش دیازینون توسط نانوذرات اکسید آهن پوشش داده شده با استفاده از لامپ فرابنفش پرداختند [15].



شکل 18. درصد تخریب دیازینون در حضور $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ و CTAB.

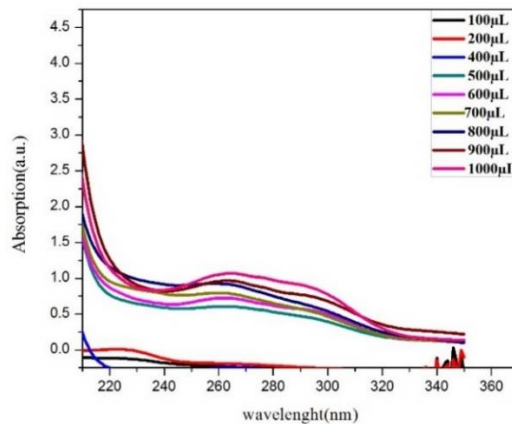


شکل 20. منحنی استاندارد دیازینون در حضور $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ و CTAB.



شکل 17. منحنی استاندارد دیازینون در مقایسه با $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$.

برای بهبود درصد تخریب توسط $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ از CTAB به عنوان سورفکتانت کاتیونی استفاده شد. شکل 18، طیف جذب $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ نشان را در حضور سورفکتانت نشان می‌دهد. قله‌ها در 220 نانومتر ظاهر شدند.



شکل 18. طیف جذب دیازینون در حضور $\text{Fe}_3\text{O}_4@SiO_2$ و CTAB.

شکل 19 درصد تخریب دیازینون را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، درصد تخریب برای غلظت‌های 100، 200 و 300 به بیشترین حد خود یعنی $100(\pm 0.09)\%$ در زمان 50 دقیقه رسیده است. به طور کلی CTAB اثر مثبتی بر روی میزان تخریب دیازینون گذاشته است. منحنی

- [2] ا. کاظمی نژاد، ث. احمدی زاده، بررسی اثر pH در حذف یون مس از محیطهای آبی با استفاده از نانوذرات آهن اکسید و نانوکامپوزیت‌های آهن اکسید/هیدروکسی آپاتیت، نشریه پژوهش‌های بس ذره‌ای، 5 (1392) 41-42.
- [3] O. Salata, Applications of nanoparticles in biology and medicine, *journal of Nanobiotechnology* **288** (2004) 21-27.
- [4] K. Talaška, A. Ferreira, An Approach to Identifying Phenomena Accompanying Micro and Nanoparticles in Contact with Irregular Vessel Walls, *IEEE Transactions on NanoBioscience* **33** (2016) 1241-1252.
- [5] A.P. Chernyshev, The Ultra-Small Nanoparticles Physical Properties as a Reserve for New Technological Approaches, *New Technological Materials* **180** (2016) 39-42.
- [6] M. Abhilash, Potential applications of Nanoparticles, *international Pharma BioScience* **1** (2010) 437-448.
- [7] A.S. Teja, P.Y. Koh, Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles, *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials* **55** (2009) 22-45.
- [8] P. Majewski, B. Thierry, Functionalized Magnetite Nanoparticles—Synthesis, Properties, and Bio-Applications, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences* **72** (2007) 203-215.
- [9] S. Klotz, G.S. Neumann, Th. Strässle, J. Philippe, Th. Hansen, M.J. Wenzel, Magnetism and the Verwey transition in Fe₃O₄ under pressure, *Physics Revivie B* **77** (2008) 670-674.
- [10] M. Sarno, C. Cirillo, P. Ciambelli, Fluorescent and Magnetic Monodisperse Fe₃O₄ Nanoparticles, *Chemical Engineering Transactions* **43** (2015) 691-696.
- [11] G.R. Chaudhary, P. Saharan, A. Kumar, S.K. Mehta, S. Mor. A. Umar, Adsorption Studies of Cationic, Anionic and Azo-Dyes via Monodispersed Fe₃O₄ Nanoparticles,

اثر CTAB به عنوان سورفکتانت

CTAB یک ترکیب آلی کاتیونی می‌باشد که یکی از اهداف مهم در استفاده از این ترکیب زیست‌سازگار، وارد کردن بار مثبت و واسطه قرار دادن آن برای تخریب بهتر آفت‌کش دیازینون می‌باشد. با وارد کردن CTAB، بارهای مثبت آن با بارهای منفی سطح Fe₃O₄@SiO₂ جاذبه ایجاد کرده و CTAB از سر دیگر وارد واکنش با آفت‌کش دیازینون شده و باعث تخریب بهتر آن شد.

نتیجه گیری

در این پژوهش نانوذرات اکسید آهن و هسته-پوسته اکسید آهن/سیلیکون سنتز شد. شکل کروی این نانوذرات در تصویر SEM به خوبی قابل مشاهده است که با تشکیل پوسته سیلیکون ذرات به صورت یکنواخت در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. پیوندهای مربوط به تشکیل نانوذرات توسط FT-IR به خوبی قابل مشاهده می‌باشد. پس از آن، نانوذرات برای تخریب آفت‌کش دیازینون در محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گرفتند که بیشترین میزان تخریب مربوط به مرحله‌ای می‌باشد که از CTAB به عنوان اصلاح کننده سطح و عامل ایجاد بار مثبت برای برقراری ارتباط بین بارهای منفی سطح نانوذرات و در پی آن جذب بیشتر استفاده شد که نشان‌دهنده موفقیت در استفاده از این ترکیب به شمار می‌رود.

مرجع‌ها

- [1] A. Jafari, S. Farjami Shayesteh, M. Salouti, K. Boustani, Dependence of structural phase transition and lattice strain of Fe₃O₄ nanoparticles on calcination temperature, *Indian Journal of Physics*. **77** (2014) 258-300.

congo red adsorptive removal from aqueous solutions, *Material science* **51** (2016) 4481-4494.

[14] A.R. Rahmani, M. Zarrabi, M.R. Samarghandi, A. Afkhami, H.R. Ghaffari, Degradation of Azo Dye Reactive Black 5 and Acid Orange 7 by Fenton-Like Mechanism, *Iranian Journal of Chemical Engineering* **7** (2010) 87-94.

Nanoscience and Nanotechnology **13** (2013) 3240-3245.

[12] F. Keyhanian, S. Shariati, M. Faraji, M. Hesabi, Magnetite nanoparticles with surface modification for removal of methyl violet from aqueous solutions, *Arabian Journal of Chemistry* **9** (2015) 348-354.

[13] J. Gao, W. Wei, M. J. Shi, H. Han, J. Lu, J. Xie, A controlled solvothermal approach to synthesize nanocrystalline iron oxide for