

سنتر و بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات مگنتیت Fe_3O_4

سعید امیری، حبیب حمیدی نژاد* و علی اکبر آشکاران

گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۸/۰۶/۱۷، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۸/۰۸/۱۵، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۸/۰۹/۲۱

چکیده

در این پژوهش، اکسید آهن مغناطیسی (Fe_3O_4) با روش تجزیه گرمایی و با استفاده از پیش‌ماده‌های آهن استیل استونات، دیفنیل اتر، اولیلامین، اولئیک اسید و توسط دو الکل سیکلوهگزانول و اکتادکانول بطور جداگانه ساخته شدند که در نتیجه ساخت با این روش، نانوذرات اکسید آهن با ابعاد متفاوت بدست آمد. جهت مشخصه‌یابی این مواد از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) و طیف‌سنج نوری فرابنفش-مرئی (UV-Vis) استفاده گردید. فعالیت کاتالیستی این نانوذرات برای تخریب دو رنگ آلی متیل آبی و رودامین بی با غلظت 10^{-5} M و با گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده نشان دهنده حذف رنگ‌های آلی بوسیله این نانوذرات می‌باشد. تخریب این رنگ‌ها بوسیله نانوذرات ساخته شده با سیکلوهگزانول به دلیل ابعاد کوچکتر، بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات مغناطیسی، فعالیت کاتالیستی، تخریب رنگ.

۱- مقدمه

مغناطیسی خارجی و سمیت پایین در بسیاری از شاخه‌های نانو مورد استفاده قرار می‌گیرند. اکسیدهای آهن ترکیباتی متشکل از آهن و اکسیژن هستند که به اشکال متفاوتی در طبیعت وجود دارند و شناخته شده‌ترین فازهای آن مگنتیت (Fe_3O_4)، مگهمیست ($\gamma-Fe_2O_3$) و هماتیست ($\alpha-Fe_2O_3$) هستند. مگنتیت مشهورترین ماده معدنی مغناطیسی روی زمین است. مگنتیت مغناطیس دائم از خود نشان می‌دهد و در دمای اتاق فری مغناطیس است. این ماده به دلیل شکاف انرژی نسبتاً کوچک رفتار شبه فلزی از خود نشان می‌دهد [۳]. ناحیه

با پیشرفت فناوری‌های جدید خصوصاً فناوری نانو، پاک‌سازی آب از عناصر سنگین، رنگ‌های آلی، باکتری‌ها و دیگر آلودگی‌ها مورد توجه قرار گرفته است [۱]. نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن دارای خواص جالبی هستند که می‌توانند کاربردهای مختلفی از قبیل کاتالیز، آنتی باکتریال، تصفیه آب و غیره داشته باشند [۲]. این نانوذرات مغناطیسی به دلیل ارزان و به صرفه بودن سنتز، قابلیت جداسازی با میدان

* عهده‌دار مکاتبات: حبیب حمیدی نژاد

نشانی: گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر

تلفن: ۰۱۱-۳۵۳۰۲۴۸۵، دورنگار: ۰۱۱-۳۵۳۰۲۴۸۵، پست الکترونیکی: h.hamidinezhad@umz.ac.ir

نوری، هزینه انجام واکنش را کاهش می دهد. واکنش ها سریع تر و شرایط واکنش ملایم تر رخ می دهد. همچنین با استفاده از کاتالیزورهای نوری طیف وسیعی از آلودگی های زیست محیطی آلی به دی اکسید کربن و آب تبدیل می شود [۱۶].

پژوهش های انجام گرفته از ابتدا تاکنون نشان می دهند مطالعات زیادی بوسیله محققان بر روی نانوذرات اکسید آهن به منظور حذف آلاینده های درون آب انجام شده است. به عنوان نمونه لی و همکارانش در گزارشی نشان دادند نانوذرات اکسید آهن پوشانده شده با هومیک اسید (HA) که از روش همرفتی و توسط نمک های ارزان سنتز شد می تواند به سادگی در گرایان میدان مغناطیسی کم سبب حذف آنیون فلزات سنگین از آب شود [۱۷]. محققان اثر نانوذرات آهن را برای حذف یون های سرب از محلول های آبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که این نانوذرات توانایی حذف یون های سرب از محلول های آبی را دارد [۱۸]. در پژوهش دیگری نتایج بدست آمده حاکی از آن است که نانوذرات اکسید آهن پتانسیل قابل ملاحظه ای در جذب آرسنیک از آب های صنعتی دارند [۱۹]. در گزارش دیگری نانوذرات اکسید آهن برای برداشتن رنگ های کاتیونی سنتز شدند. در این گزارش فعالیت جذب Fe_3O_4 برای حذف متیلن آبی، رودامین B، سافرانین T، بنفشه ژنتیان، فوکسین پایه و متیل نارنجی از محلول های آبی مورد بررسی قرار گرفت به طوریکه Fe_3O_4 به راحتی از محیط واکنش با استفاده از یک آهنربا خارجی می تواند جدا شود. نتایج تحقیقات این پژوهشگران نشان داد که Fe_3O_4 ماده ای امیدوار کننده برای جذب رنگ های کاتیونی در محیط های آبی است [۲۰].

در پژوهش حاضر اکسید آهن مغناطیسی (Fe_3O_4) با روش تجزیه گرمایی توسط الکل های سیکلو هگزانول و اکتادکانول بطور ساخته شدند. از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) و طیف سنج نوری فرابنفش-مرئی

ممنوع انرژی شکاف نواری نامیده می شود که همان اختلاف انرژی دو نوار ظرفیت و رسانش است. ماکزیمم نوار ظرفیت و مینیمم نوار رسانش به دو صورت نسبت به هم واقع می شوند. اگر ماکزیمم نوار ظرفیت و مینیمم نوار رسانش در اندازه حرکت یکسانی قرار گیرند و اندازه حرکت الکترون، در جهش از نوار ظرفیت به نوار رسانش، تغییر نکند، این وضعیت شکاف نواری مستقیم نامیده می شود. ولی اگر ماکزیمم نوار ظرفیت و مینیمم نوار رسانش در اندازه حرکت یکسان قرار نگیرند، در برانگیختگی یک الکترون از نوار ظرفیت به نوار رسانش، نه تنها انرژی زیادی صرف می شود، بلکه، تغییری در اندازه حرکت آن نیز بوجود خواهد آورد که به این حالت شکاف نواری غیرمستقیم گفته می شود [۴]. همچنین اثرات سطحی تاثیر زیادی روی نانوذرات اکسید آهن دارند [۵]. همانطور که سطح مواد مغناطیسی آهن اکسید کاهش یافته است، پاسخ آنها به میدان مغناطیسی خارجی کاهش می یابد [۶]. روش های زیادی برای سنتز نانومواد بر پایه اکسید آهن وجود دارد. این روش ها شامل روش هیدروترمال [۸،۹]، تجزیه گرمایی [۱۰،۱۱]، هم رسوبی [۱۲،۱۳]، سل-ژل [۶] و روش کلوئیدی شیمیایی [۱۴] است. روش تجزیه حرارتی بطور موفقیت آمیز برای سنتز نانو کریستال ها نیز عمومیت یافته است. اندازه و شکل نانو کریستال ها می تواند با تغییر واکنش پذیری و غلظت پیش ماده کنترل شود. نانو کریستال های Fe_3O_4 با اندازه های قابل تنظیم می توانند با اشکال کنترل شده در رنج های مختلف نانومتری به صورت ذرات کروی ریز به روش تجزیه حرارتی سنتز شوند. اکسیدهای فلزی، کامپوزیت ها، اصلاح شیمیایی سطح برخی مواد، سولفیدهای فلزی و نانو کاتالیزورهای نوری از انواع کاتالیزورهای نوری هستند. پایداری نوری، خنثی بودن فیزیولوژیکی و شیمیایی، در دسترس و ارزان قیمت بودن، توانایی جذب سطحی واکنش گرما تحت فعال سازی فوتونی موثر، دارا بودن شکاف انرژی مناسب از مهمترین ویژگی هایی است که یک کاتالیزور نوری برای شرکت در واکنش به آن نیازمند است [۱۵]. استفاده از کاتالیزورهای

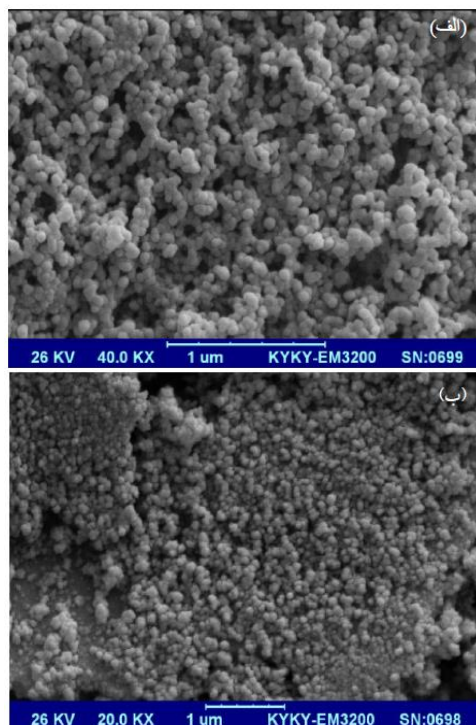
و در سانتیفریوژ با ۷۰۰۰ دور و به مدت ۵ min قرار می‌گیرند.

۲-۳- آزمایش کاتالیستی

برای انجام آزمایش فوتوکاتالیستی، ۰/۱ g از نانوذرات کلسینه شده را در ۱۰ ml اتانول حل کرده و ۵۰۰ μl از آن را به ۲۰ ml از آلاینده‌ها اضافه می‌کنیم. این محلول در معرض تابش نور فرابنفش قرار گرفته و در زمان‌های مختلف میزان جذب این ذرات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳- نتایج و بحث

بررسی دقیق مورفولوژی نانوذرات اکسید آهن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی انجام گرفت. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانونول در شکل ۱ الف و تصویر نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با اکتادکانول در شکل ۱ ب نشان داده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM نانوذرات اکسید آهن ساخته شده با الف) سیکلوهگزانونول و ب) اکتادکانول.

(UV-Vis) برای مشخصه‌یابی این مواد استفاده گردید. سپس فعالیت کاتالیستی این نانوذرات برای تخریب دو رنگ آلی متیل آبی و رودامین بی بررسی گردید.

۲- فعالیت‌های تجربی

۱-۲- مواد و تجهیزات

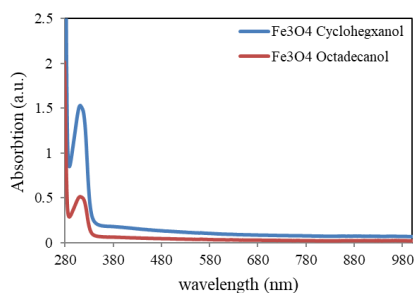
از آهن استیل استونات، اولئیک اسید، اولیامین، دیفنیل اتر، الکل سیکلوهگزانونول و الکل اکتادکانول برای سنتز نانوذرات استفاده شد. به منظور بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات اکسید آهن، از ترکیبات آلی مانند متیل آبی و رودامین بی به عنوان آلاینده استفاده شد و ترکیب این مواد با اکسید آهن تحت تابش نور بررسی شدند.

در این پژوهش از SEM مدل KYKY EM 3200 و از TEM مدل Philips, CM120 با حداکثر ولتاژ شتاب دهنده ۱۰۰ کیلو ولت برای بررسی شکل و اندازه ذرات استفاده شد. برای تعیین فاز کریستالی نانوذرات اکسید آهن از آنالیز پراش اشعه ایکس توسط دستگاه پراش اشعه ایکس بروکر مدل D8-Advance با دقت ۰/۰۴ و در محدوده زوایای $2\theta=10^\circ$ و $2\theta=80^\circ$ انجام شد. برای این پژوهش از دستگاه اسپکتروفتومتر Mecasys مدل Ptizen POP در بازه طول موج‌های ۲۰۰ nm تا ۱۱۰۰ nm و گام ۱ nm جهت آنالیز طیف‌سنجی نوری فرابنفش-مرئی نانوذرات استفاده شد.

۲-۲- روش سنتز نانوذرات اکسید آهن

در این پژوهش از روش تجزیه گرمایی در دمای بالا برای ساخت نانوذرات اکسید آهن استفاده می‌شود. ترکیبی با استفاده از ۲ mM آهن استیل استونات، ۶ mM اولئیک اسید، ۱۰ mM اولیامین و ۲۰ ml دیفنیل اتر را در دو مرحله، یک بار با الکل سیکلوهگزانونول و بار دیگر با الکل اکتادکانول ترکیب می‌کنیم. این ترکیب به مدت ۲ ساعت در دمای 265°C ریفلکس می‌شود. سپس با ۸۰ ml اتانول ترکیب شده و روی همزن مغناطیسی تا رسیدن به تعادل دمایی قرار می‌گیرد. سپس در سه مرحله نانوذرات با اتانول ترکیب شده

است. همچنین n برابر دو برای انتقال غیرمستقیم و برابر $1/2$ برای انتقال مستقیم است [۲۱]. با دانستن این نکته که شکاف نواری اکسید آهن غیرمستقیم ($n=2$) است، بنابراین طبق رابطه تاوک مقدار شکاف نواری برای طول موج 295 nm تقریباً برابر با $3/8 \text{ eV}$ خواهد بود.

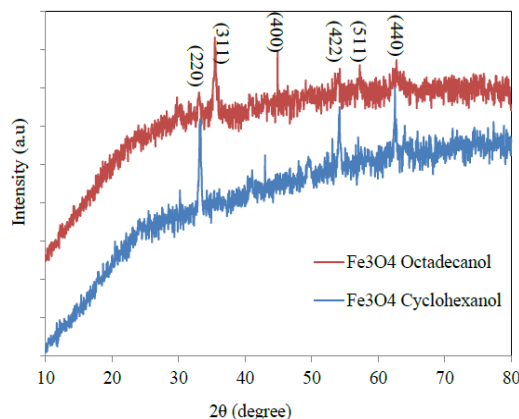


شکل ۳: طیف UV-Vis گرفته شده از نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانول و اکتادکانول.

برای بررسی دقیق اندازه نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانول و اکتادکانول از آنالیز TEM استفاده شد. شکل ۴ الف و ب به ترتیب تصاویر TEM نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانول و اکتادکانول را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل‌ها دیده می‌شود نانوذرات سنتز شده به صورت شبه کرووی هستند. علاوه بر این، تصویرهای TEM نشان می‌دهند که اندازه و توزیع ذرات با آنچه که در شکل SEM آنالیز شدند، یکسان است. همانطور که قبلاً گفته شد، در این پژوهش از رودامین بی و متیل آبی به عنوان آلاینده محلول آبی استفاده شد. لازم است برای بررسی میزان جذب آلاینده‌های آلی منحنی جذب آنان در طول موج‌های معین مورد بررسی قرار گیرد. شکل ۵ بیشینه جذب رنگ رودامین بی توسط نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانول و اکتادکانول را نشان می‌دهد. بدیهی است کاهش قله جذب این رنگ رودامین بی در زمان‌های مختلف نشان از کاهش این ماده از محلول آبی واکنش است. بیشینه جذب رودامین B در 557 nm است که با افزایش زمان تابش نور فرابنفش بیشینه جذب آن کاهش می‌یابد.

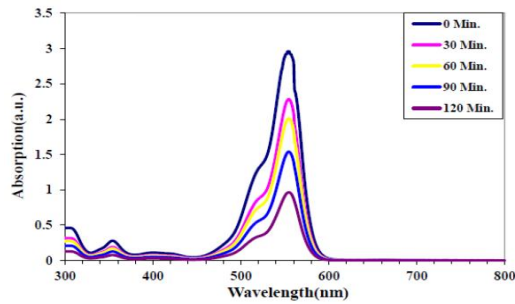
نانوذرات اکسید آهن دارای ساختار شبه کرووی بوده و توزیع سایز یکنواخت دارد. اندازه نانوذرات تولید شده با سیکلوهگزانول در محدوده 25 nm تا 60 nm و اندازه نانوذرات تولید شده با اکتادکانول در محدوده 60 nm تا 90 nm است. همچنین این تصاویر نشان می‌دهد که این نانوذرات به صورت شبکه‌ای منظم از ذرات وجود دارند.

جهت بررسی بلوری بودن و شناسایی ساختار نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شده است. قله پراش اصلی تقریباً در $2\theta = 33/2^\circ$ مربوط به صفحه (۳۱۱) می‌باشد. سایر قله‌های پراکندگی در محدوده 2θ بین زوایای 30° و 70° که شامل زاویه‌های 2θ برابر با $30/7^\circ$ ، 43° ، $54/2^\circ$ ، 57° و $62/5^\circ$ است و به ترتیب مربوط به صفحات (۲۲۰)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱) و (۵۰۰) هستند.

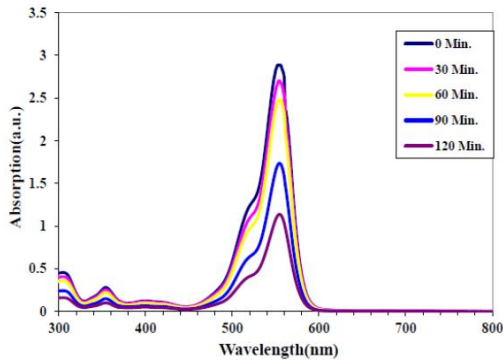


شکل ۲: طیف XRD گرفته شده از نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با الف) سیکلوهگزانول و ب) اکتادکانول.

شکل ۳ آنالیز UV-Vis نانوذرات اکسید آهن که با سیکلوهگزانول و اکتادکانول که در دمای 265°C سنتز شده‌اند را نشان می‌دهد. این طیف‌ها تنها دارای یک قله هستند که بیان کننده این است که جذب بالایی در طول موج 295 nm رخ داده است. همچنین جذب از 275 nm تا 475 nm ادامه دارد. شکاف انرژی نانوذرات را می‌توان با استفاده از رابطه تاوک بدست آورد. در این رابطه که به صورت معادله $ah\nu = K(h\nu - E_g)^{1/n}$ است، α ضریب جذب اپتیکی، K ثابت جذب است، $h\nu$ انرژی فوتون جذبی و E_g شکاف انرژی

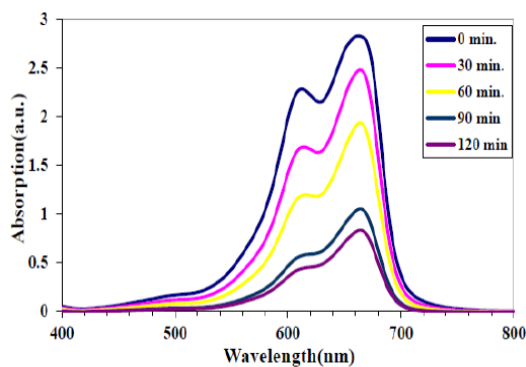


(الف)

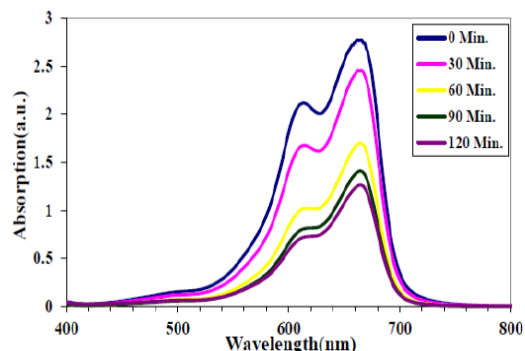


(ب)

شکل ۵: بیشینه جذب رودامین بی توسط نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با الف) سیکلوهگزانول و ب) اکتادکانول.

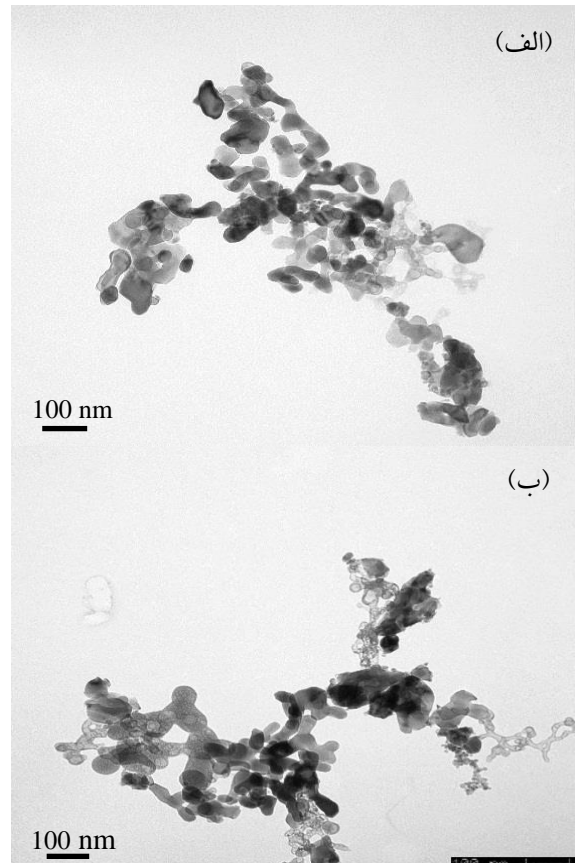


(الف)



(ب)

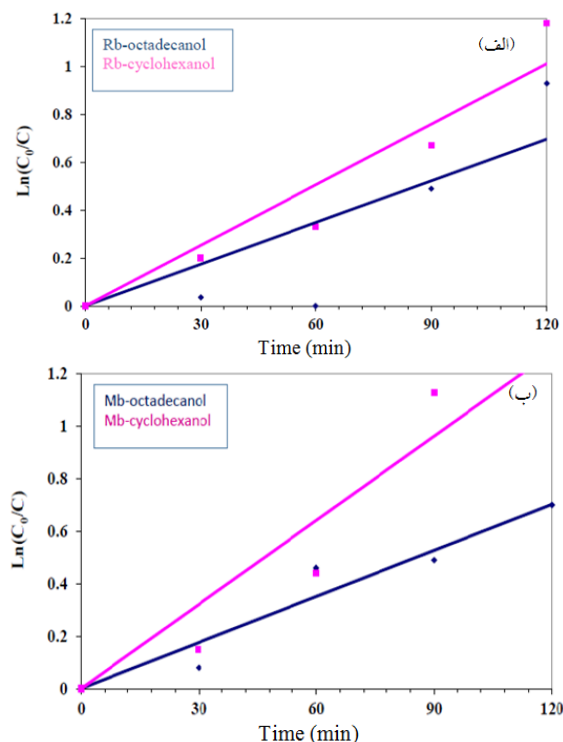
شکل ۶: بیشینه جذب متیل آبی توسط نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با الف) سیکلوهگزانول و ب) اکتادکانول.



شکل ۴: تصاویر TEM گرفته شده از نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با الف) سیکلوهگزانول و ب) اکتادکانول.

همچنین شکل ۶ بیشینه جذب متیل آبی توسط نانوذرات اکسید آهن مغناطیسی ساخته شده با سیکلوهگزانول و اکتادکانول را نشان می‌دهد. بیشینه جذب این آلاینده در ۶۶۸ nm است که با افزایش زمان تابش نور فرابنفش، بیشینه جذب آن کاهش می‌یابد. از این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که این نانوذرات برای تجزیه و حذف آلاینده متیل آبی مناسب خواهند بود.

به منظور تعیین میزان بازده، نمودارهای $\ln(C_0/C)$ بر حسب زمان رسم شده است. مطابق شکل ۷، این نمودارها نشان می‌دهند درصد جذب رودامین بی توسط نانوذرات اکسید آهن ساخته شده با اکتادکانول ۶۱٪ و توسط نانوذرات اکسید آهن ساخته شده با سیکلوهگزانول ۶۸ درصد است که می‌توان دلیل آن را اندازه کوچکتر نانوذرات ساخته شده با سیکلوهگزانول دانست.



شکل ۷: آهنگ تجزیه فتوکاتالیستی (الف) رودامین بی، و (ب) متیل آبی توسط نانوذرات اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانول و اکتادکانول.

با محیط اطراف بیشتر شده و نرخ انتقال حاملین بار افزایش می‌یابد. از آنجا که نانوذرات دارای ابعاد محدودی هستند، تعداد حالت‌های تراز هدایت آنها کاهش می‌یابد و این وضعیت تنها در مقیاس نانو اتفاق می‌افتد. بنابراین، جفت الکترون-حفره با فرض اینکه ذره دارای حالت انرژی سینتیکی بالاتری باشد، در ذره تشکیل می‌شود. هر چه ذرات به سمت ابعاد نانو بروند، شکاف انرژی آنها رشد کرده و بزرگتر می‌شود. در این ابعاد سطوح باند ظرفیت، کمی به سوی انرژی‌های پایین‌تر منتقل شده ولی سطوح باند هدایت، به شدت به سمت انرژی‌های بالاتر منتقل می‌شود. در این وضعیت، انرژی بیشتری برای برانگیختگی الکترون نیاز است، و وقتی الکترون از حالت برانگیخته به حالت پایه بازگشت می‌کند، انرژی بیشتری آزاد می‌شود. هنگامی که اشعه ماورای بنفش با Fe_3O_4 برخورد می‌کند، رادیکال‌ها و یون هیدروکسیل تشکیل می‌شود. این مواد حاصل منجر به تجزیه و از بین بردن OH ترکیبات آلی فرار و مضر نظیر فرمالدهید،

طبق نکاتی که در فصل اول ذکر شد یکی از دلایل افزایش خواص کاتالیستی نانومواد اندازه آنان است که در بیشتر موارد نانوذرات با اندازه کوچکتر خواص کاتالیستی بیشتری از خود نشان می‌دهند. همچنین بیشترین جذب رودامین بی توسط نانوذرات سنتز شده با سیکلوهگزانول در ۳۰ min اول تابش نور فرابنفش اتفاق می‌افتد در حالی که بیشترین جذب رودامین بی توسط نانوذرات ساخته شده با اکتادکانول در ۳۰ min سوم تابش نور فرابنفش اتفاق می‌افتد، در ضمن این نمودارها نشان می‌دهد که تغییرات جذبی به صورت خطی رخ می‌دهد.

در پژوهشی که توسط کیهانیان و همکاران انجام شده از نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن برای حذف رودامین بی استفاده شده است. نتیجه این آزمایش نشان می‌دهد این نانوذرات مغناطیسی به راحتی توانایی جذب رودامین بی از آب آلوده را دارند، ضمن اینکه این واکنش برگشت پذیر بوده و نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن قابل بازیافت خواهد بود و استفاده از اکسید آهن در این آزمایش زمان جذب آلاینده را کاهش می‌دهد [۲۲]. در پژوهشی که توسط نثار و همکارش انجام شد از نانوذرات اکسید آهن برای حذف متیل آبی آب آلوده استفاده کردند و دریافتند که جذب متیل آبی توسط این نانوذرات به غلظت متیل آبی، دما، pH و یک زمان مشخص وابسته است [۲۳].

در این پژوهش درصد تجزیه فتوکاتالیستی متیل آبی پس از گذشت ۱۲۰ min در حضور نانوکاتالیست‌های مختلف نشان می‌دهد بیشترین میزان تخریب نوری رنگ متیل آبی مربوط به اکسید آهن سنتز شده با سیکلوهگزانول است که این مقدار برابر ۷۱ درصد است. میزان تخریب توسط نانوذرات سنتز شده با اکتادکانول ۵۵ درصد است. اکسید آهن دارای شکاف انرژی مناسبی نسبت به سایر کاتالیست‌ها است که این ویژگی در عملکرد مناسب نانوذرات تاثیر مهمی دارد.

با کوچکتر شدن ابعاد نانوذرات، به دلیل افزایش تعداد اتم‌های موجود در سطح، نسبت سطح به حجم افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت سطح به حجم، ارتباط بین نانوذرات

مختلف سنتر شدند می‌توانند از نظر مغناطیسی نیز متفاوت باشند که در بازده این آزمایشات موثر بوده است.

آمونیاک، و مواد موجود در شوینده‌های صنعتی و خانگی و غیره که در هوا، آب و یا محیط اطراف قرار دارند، می‌شوند.

مراجع

- [1] H. Parham, B. Zargar, R. Shiralipour, *Journal of Hazardous Materials*, **205**, 2012, 94.
- [2] Y.L. Pang, S. Lim, H.C. Ong, W.T. Chong, *Ceramics International*, **42**, 2016, 9.
- [3] A.S. Teja, P.Y. Koh, *Progress In Crystal Growth And Characterization of Materials*, **55**, 2009, 22.
- [4] N. Dasgupta, A. Dasgupta, "Semiconductor Devices, Modelling and Technology", Prentic Hall of India, New Delhi, 2007.
- [5] T. Neuberger, B. Schopf, H. Hofmann, M. Hofmann, B. Von Rechenberg, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **293**, 2005, 483.
- [6] C.T. Yavuz, J.T. Mayo, W.W. Yu, A. Prakash, J.C. Falkner, S. Yean, L. Cong, H.J. Shipley, A. Kan, M. Tomson, D. Natelson, V.L. Colvin, *Science*, **314**, 2006, 964.
- [7] J. Hu, G. Chen, I.M.C. Lo, *Water Research*, **39**, 2005, 4528.
- [8] V. Sreeja, P.A. Joy, *Materials Research Bul.*, **42**, 2007, 1570.
- [9] K. Sudhakar, A.P. Kumarb, B.P. Kumar, A. Raghavender, S. Ravi, D.N. Kenie, Y.I. Lee, *Asian Journal of Nanoscience and Materials*, **4**, 2018, 172.
- [10] M. Unni, A.M. Uhl, S. Savliwala, B.H. Savitzky, R. Dhavalikar, N. Garraud, D.P. Arnold, L.F. Kourkoutis, J.S. Andrew, C. Rinaldi, *ACS Nano*, **11**, 2017, 2284.
- [11] W. Zhou, K. Tang, S. Zeng, Y. Qi, *Nanotechnology*, **19**, 2008, 065602.
- [12] W. Yu, T. Zhang, J. Zhang, X. Qiao, L. Yang, Y. Liu, *Materials Letters*, **60**, 2006, 2998.
- [13] Z. Tashrifli, S. Bahadorikhali, H. Lijan, S. Ansari, H. Hamedifard, M. Mahdavi, *New J. Chem.*, **43**, 2019, 8930.
- [14] P.D. Cozzoli, E. Snoeck, M.A. Garcia, C. Giannini, A. Guagliardi, A. Cervellino, F. Gozzo, A. Hernando, K. Achterhold, N. Ciobanu, F. G. Parak, R. Cingolani, L. Manna, *Nano Letters*, **6**, 2006, 1966.
- [15] B.J. Anthony, P.A. FernandezIbanez, P.S. Dunlop, D.M.A. Alrousan, J.W.J. Hamilton, *International Journal of Photoenergy*, **2011**, 2011, 1.
- [16] M. Stamate, G. Lazar, *Technical Sciences Academy MOCM*, **13**, 2007, 280.
- [17] J.F. Liu, Z.S. Zhao, G.B. Jiang, *Environmental science & technology*, **42**, 2008, 6949.
- [18] A. Moezzi, S. Soltanali, A. Torabian, A. Hassani, *Nanoscience and nanotechnology*, **13**, 2017, 83.
- [19] A. Khodabakhshi, M.M. Amin, M. Mozaffari, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, **8**, 2011, 189.
- [20] Y. Ji, Ch. Ma, J. Li, H. Zhao, Q. Chen, M. Li, H. Liu, *Nanomaterials*, **8**, 2018, 710.
- [21] L. Cui, F. Huang, M. Niu, L. Zeng, J. Xu, Y. Wang, *J. Mol. Catal. A-Chem.*, **326**, 2010, 1.
- [22] F. Keyhanian, S. Shariati, M. Faraji, M. Hesabi, *Arabian Journal of Chemistry*, **9**, 2016, 348.
- [23] A. Debnath, K. Deb, K.K. Chattopadhyay, B. Saha, *Desalination and Water Treatment*, **57**, 2016, 13549.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش نانوذرات اکسید آهن به روش تجزیه گرمایی به منظور بررسی فعالیت فتوکاتالیستی آن ساخته شد و مشخصه‌یابی آن مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از دلایل مهم انتخاب نانوذرات اکسید آهن، مغناطیسی بودن ذرات آن در ابعاد نانو است که هر چه ابعاد این ذرات نیز کوچکتر باشد خاصیت مغناطیسی نمود بیشتری می‌یابد. نتایج بدست آمده از آنالیز XRD نشان می‌دهد که این نانوذرات به صورت بلوری هستند. چگونگی آرایش این نانوذرات نیز توسط آنالیز SEM بررسی شد که نشان می‌دهد این نانوذرات به صورت کروی بوده و به صورت شبکه‌ای منظم از ذرات قرار دارند. اندازه متوسط نانوذرات اکسید آهن ساخته شده با سیکلوهگزانون ۴۰ min و اندازه متوسط نانوذرات ساخته شده با اکتادکانول ۷۵ min است. نتایج بدست آمده از فعالیت فتوکاتالیستی این نانوذرات نشان دهنده افزایش سرعت تجزیه این آلاینده‌ها در حضور نانوذرات اکسید آهن است. بر اساس نتایج آزمایش فتوکاتالیستی، بازده آزمایش فتوکاتالیستی نانوذرات ساخته شده با سیکلوهگزانون برای متیل آبی ۷۱٪ و برای رودامین بی ۶۸٪ است. بازده آزمایش فتوکاتالیستی نانوذرات اکسید آهن ساخته شده با اکتادکانول برای متیل آبی و رودامین بی به ترتیب ۵۵٪ و ۶۱٪ است که نشان می‌دهد فعالیت کاتالیستی نانوذرات سنتر شده با سیکلوهگزانون به دلیل ابعاد کمتر نانوذرات سنتر شده و همچنین خاصیت مغناطیسی قوی‌تر و بازده واکنش آن بیشتر است. در نتیجه این نانوذرات به این دلیل که در دو اندازه