



ساخت و بررسی ویژگی مغناطیسی و فوتوکاتالیستی نانوچندسازه فریت نیکل اصلاح شده با سولفید روی

حمید مظفری*

گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده: در این پژوهش، نانوچندسازه با ساختار هسته-پوسته متشکل از فریت نیکل و سولفید روی به روش شیمیایی سریع، با هدف بالا بردن خواص فوتوکاتالیستی ساخته شد و در ناحیه فرابنفش مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین، ابتدا نمونه‌های حاوی نانوذرات فریت نیکل (NiFe_2O_4) با روش هم رسوبی سنتز شدند، سپس، نانوچندسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-Zns}$ با قطرهایی با اندازه متوسط ۶۶ نانومتر ساخته شدند. ریخت شناسی و ریزساختار نانوکامپوزیت های تولید شده با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. آنالیزهای XRD نشان می‌دهند که نانوساختارهای ساخته شده دارای ساختاری با فاز غالب بلوری است. خصوصیات مغناطیسی نانوذرات و نانوچندسازه‌های تهیه شده در دمای اتاق با استفاده از دستگاه مغناطیس سنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه نانوچندسازه‌های تولید شده با استفاده از طیف سنج نوری فرابنفش-مرئی (UV-Vis) و اثر مقدار ماده جاذب و مدت زمان پرتو دهی روی درصد کاهش غلظت رنگ محلول‌ها مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل شده نشان می‌دهد تغییرات قله‌های جذب رنگ‌های اسید سیاه، اسید آبی و متیل نارنجی مورد آزمایش، در حضور نانوچندسازه بطور خیلی محسوسی کاهشی بوده که تاییدی بر اثر خاصیت فوتوکاتالیستی نانوچندسازه تولید شده است، بطوریکه در نهایت منجر به کاهش در غلظت رنگ‌های به کار گرفته شده است.

واژگان کلیدی: نانوچندسازه، سولفید روی، ساختار هسته-پوسته، فریت نیکل

*mozafari.h@gmail.com

فریت نیکل یکی از مهمترین فریت‌های نرم با فرمول عمومی MFe_2O_4 هستند که M یک یون دوظرفیتی یا ترکیبی از چند یون چند ظرفیتی است که به علت خاصیت اشباع مغناطش بالا و واداراندگی مغناطیسی و دمای چگالش پایین در هسته‌های ترانسفورماتورها، ژنراتورها و هدهای ضبط مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. فریت‌های اسپنلی به‌خاطر خاصیت مغناطیسی، الکتریکی و کاتالیستی از اهمیت بالایی برخوردار است [۹-۱۲]. برای تهیه نانوذرات فریت نیکل نیز روش‌های متفاوتی از جمله روش سل-ژل [۱۳]، میکروویو [۱۴]، آب‌گرمایی [۱۵]، سونوشیمی [۱۶]، واکنش حالت جامد [۱۷] و روش‌های مکانیکی

۱- مقدمه

یکی از زمینه‌های مهم در نانوفناوری، نانو مغناطیس است که با ورود فناوری نانو به علم و صنعت مغناطیس، بهبود زیادی در کیفیت مغناطیس‌ها ایجاد شده است و مغناطیس‌هایی با ابعاد کوچک و نیروی مغناطیسی بزرگ ساخته شده‌اند [۱]. از کاربردهای مهم نانومغناطیس‌ها، تشخیص کیفی و کمی آلاینده‌های گازی محیط [۲]، استفاده در محیط‌های ذخیره سازی اطلاعات [۳]، تصفیه پساب‌های صنعتی [۴-۶]، آنتی باکتریال [۷]، می‌توان نام برد.

که هریک منجر به نتایج جالب و متفاوتی می‌شود، وجود دارد که در این پژوهش برای سنتز هسته مغناطیسی نانوچندسازه یعنی نانوذرات فریت نیکل از روش هم‌رسوبی به دلیل خلوص بالاتر فراورده‌ها و تجهیزات ارزان قیمت، سرعت بالا و سازگار بودن با محیط زیست استفاده شد [۲۱-۱۸]. روش سنتز در کنار دمای کلسیناسیون و شرایط ساخت نانوذرات فریت نیکل، نقش مهمی در تغییر ویژگی مغناطیسی از جمله مغناطش اشباع، نیروی وادارندگی و مغناطش باقیمانده دارند.

سولفید روی (ZnS) از جمله نیمه رساناهای گروه II-VI است با گاف انرژی وسیع که برابر با $\frac{3}{6}$ الکترون ولت است. بنابراین این نیمه‌رسانا بعلا گاف انرژی وسیعی که دارد، منتشر کننده خوبی در ناحیه نور آبی و بنفش به‌شمار می‌آید [۲۲]. سولفید روی کاربردهای فراوانی در فوتوالکتریک، سلولهای خورشیدی، تصفیه پساب‌های صنعتی و ... دارد. این ماده می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای اکسید تیتانیم در فعالیت‌های فوتوکاتالیستی باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که نانوبلورهای سولفید روی به‌علت تشکیل سریع جفت الکترون-حفره‌ها و پتانسیل کاهنده منفی بسیار بالای الکترون‌ها در حالت برانگیخته برای کاربرد جهت فعالیت فوتوکاتالیستی بسیار مناسب هستند [۲۳]. روش‌های متفاوتی برای سنتز نانوذرات سولفید روی وجود دارد که می‌توان به روش‌های سل-ژل، سنتز شیمیایی فراصوتی آب‌گرمایی، واکنش حالت جامد و غیره نام برد [۲۷-۲۴].

نانوچندسازه‌های با ساختار هسته و پوسته دارای مزایایی هستند که در کاربرد آنها موثر است. در معرض قرار گرفتن حداکثری سطح هر دو جزء هسته و پوسته، باز ترکیب جفت الکترون حفره را در سامانه-دوتایی به شدت کاهش می‌دهد، که در نتیجه کارایی کوانتومی را افزایش می‌دهد [۳۰-۲۸]. افزون بر آن، مساحت سطح بالای این نوع نانوچندسازه‌ها باعث می‌شود که جذب سطحی واکنش دهنده‌ها و فراورده‌های متفاوت را در طول واکنش فوتوکاتالیستی افزایش دهد [۳۱]. بنابراین، حاصل نانوچندسازه دوتایی ممکن است یک فوتوکاتالیست جذاب در کاربرد محیط زیستی باشد. نانوچندسازه با ساختار هسته و پوسته دارای فعالیت فوتوکاتالیستی بالاتری برای تخریب رنگ‌های آزو تحت پرتو فرابنفش نسبت به نانوذرات خالص داشته باشد.

روش کلی برای بررسی عوامل موثر بر فعالیت مغناطیسی و فوتوکاتالیستی، تغییر یک عامل موثر بصورت مجزا و یا استفاده از مواد با ویژگی و ساختاری ویژه صورت می‌گیرد. در این پژوهش تلاش شده است تا افزون بر در نظر گرفتن ویژگی‌ها و ویژگی مذکور برای نانوذرات NiFe_2O_4 به‌عنوان هسته مغناطیسی نانوچندسازه و فعالیت فوتوکاتالیستی نانوذرات ZnS بصورت پوسته در ساخت نانوچندسازه مورد بررسی قرار گیرد تا مقادیر بهینه‌ای از فعالیت مغناطیسی و فوتوکاتالیستی این نانوچندسازه بدست آید.

بنابراین، در این پژوهش نانوذرات فریت نیکل از طریق یک روش هم‌رسوبی تهیه شدند. سپس نانوچندسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ با ساختار هسته-پوسته که در آن نانوذرات فریت‌نیکل به‌عنوان هسته مغناطیسی و نانوذرات سولفید روی به‌عنوان پوسته سنتز شدند. ویژگی ریزساختاری و آنالیز فازی و ویژگی مغناطیسی آن مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، فعالیت فوتوکاتالیستی این نانوچندسازه با استفاده از تخریب سه آلاینده اسید آبی، اسید سیاه و متیل نارنجی تحت تابش نور فرابنفش مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- فعالیت تجربی

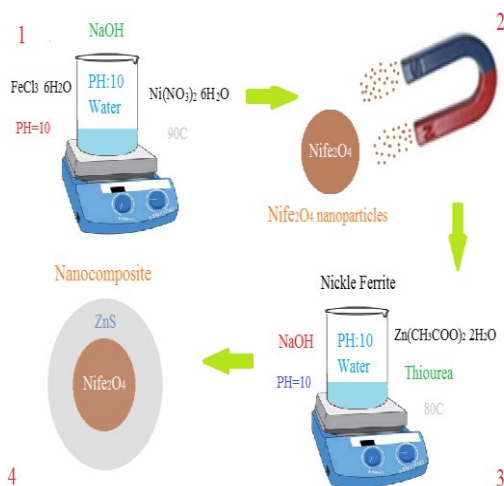
۲-۱- مواد و تجهیزات

در این پژوهش، از نیترات نیکل (II) شش آبه ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، فریک کلرید شش آبه ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، سدیم هیدروکسید (NaOH)، ژلاتین، زینک استات دی هیدرات ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)، آب دیونیزه، تیتانیم ایزوپروپوکساید (TTIP) از فراورده‌ها ساخت شرکت مرک (Merck) خریداری و استفاده شده است. دستگاه‌های استفاده شده جهت آنالیز، شامل یک منبع تغذیه فرکانس بالا چند موج (Bandelin MS 73)، مجهز به مبدل/مبدل و نوسان ساز تیتانیم، که در 20 KHz کار می‌کند و حداکثر توان خروجی آن 150 W است برای تابش اولتراسونیک استفاده شده است، دستگاه مغناطیس‌سنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) ساخته شده توسط شرکت "مغناطیس کویر کاشان" در یک میدان مغناطیسی اعمال شده مابین 0e تا ± 10000 که خصوصیات مغناطیسی نانوذرات و نانوچندسازه‌های تهیه شده در دمای اتاق را بررسی می‌کند، پراش پرتو ایکس (مدل Philips PW1730-Holland) برای تشخیص ساختار و

ترکیب افزوده شد. سپس، ۳ ml سدیم هیدروکسید یک مولار به آرامی به محلول افزوده شد و پس محلول بدست آمده شده را تا دمای 80°C بر همزن مغناطیسی به مدت ۳۰ min تا رسیدن به تعادل گرمایی قرار می‌گیرد.

۲-۴- فرایند تخریب برای بررسی فعالیت فوتوکاتالیستی

۱۰ ml از محلول رنگ (۵۰ ppm) به عنوان یک آلاینده مدل برای تعیین فعالیت فوتوکاتالیستی استفاده شد. ۰/۱ g کاتالیست برای تجزیه ۱۰ ml محلول استفاده شد. محلول توسط یک همزن آهنربایی به مدت ۲۰ min در تاریکی مخلوط شد تا میزان جذب رنگ با کاتالیست و دسترسی بهتر سطح تعیین شود. محلول با سه لامپ UV ۸ وات که در یک لوله کوارتز در وسط راکتور قرار داده شد، تابانده شد. پس از هم‌زدن محلول روشن شد و نمونه‌گیری (حدود ۱۰ ml) هر ۵ min انجام شد. نمونه‌ها فیلتر شدند، سانتریفیوژ شدند و غلظت آنها با طیف سنجی-UV Visible تعیین شد.



شکل ۱: طرح‌واره از تهیه نانوذرات فریت نیکل و ساخت نانوجندسازهای اصلاح شده با سولفید روی

۳- نتایج و بحث

شناسایی نمونه‌های تولید شده از جمله بررسی بلوری بودن، شناسایی ساختار نانوذرات و اندازه بلورک‌ها از آنالیز پراش پرتو ایکس، در مقیاس 2θ ، در محدوده ۱۰ تا 80° درجه و با تاباندن $\text{CuK}\alpha$ انجام شده است. شکل ۲، الگوی XRD نمونه شامل نانوذرات فریت نیکل را نشان می‌دهد. منحنی XRD نمونه

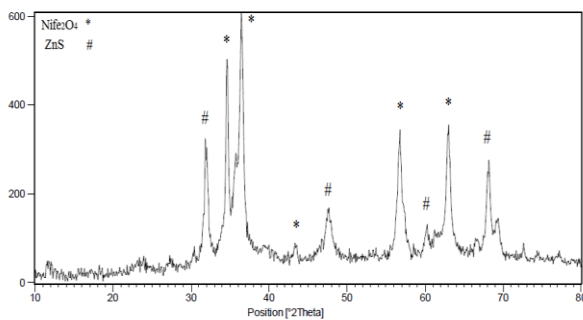
ترکیب فازی نمونه‌های تهیه شده با تابش $\text{CuK}\alpha$ و در محدوده زوایای استفاده شده، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با استفاده از دستگاه LEO مدل ۱۴۵۵ VP جهت بررسی شکل و اندازه ذرات استفاده شده است که پیش از گرفتن عکس‌ها، نمونه‌ها با یک لایه نازک پلاتین پوشانده شدند تا سطح نمونه‌ها از تجمع بار جلوگیری شود و داری کیفیت بهتری باشند. تصویربرداری TEM به وسیله میکروسکوپ الکترونی (مدل Philips, EM208) با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۰۰ الی ۲۰۰ کیلوولت انجام گرفت. آنالیز طیف‌سنجی نوری فرابنفش مرئی نانوجندساز به دست آمده در این پژوهش با بررسی طیف جذبی نمونه‌ها با دستگاه طیف سنجی 26UV/Visible در گستره ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ نانومتر و بازه ۱ نانومتر انجام گرفت.

۲-۲- روش سنتز نانوذرات فریت نیکل

در این پژوهش، از روش هم‌رسوبی برای ساخت نانوذرات فریت نیکل استفاده شده است. شکل ۱ شماتیک نحوه انجام آزمایش تهیه نانوذرات و آماده سازی نانوجندساز را که در روش هم‌رسوبی استفاده شده است را نشان می‌دهد. به منظور سنتز نانو ذرات فریت نیکل از ۰/۱ g نیترات نیکل (II) شش آب، ۰/۲۷g کلرید آهن شش آب را در ۱۰۰ ml آب دیونیزه به‌عنوان حلال محلول مخلوط کرده و با هم‌زن مغناطیسی به هم زده شد، سپس ۵ ml سدیم هیدروکسید یک مولار به آرامی به محلول اضافه شد تا به PH نزدیک ۱۰ برسد. محلول بدست آمده شده را تا دمای 90°C بر هم‌زن مغناطیسی تا رسیدن به تعادل گرمایی قرار می‌گیرد. این ترکیب ۶۰ دقیقه به هم‌زده شد. سپس، رسوب ته‌نشین شده با آب مقطر چندین مرتبه شسته شد و سپس رسوب در دمای 80°C خشک شد.

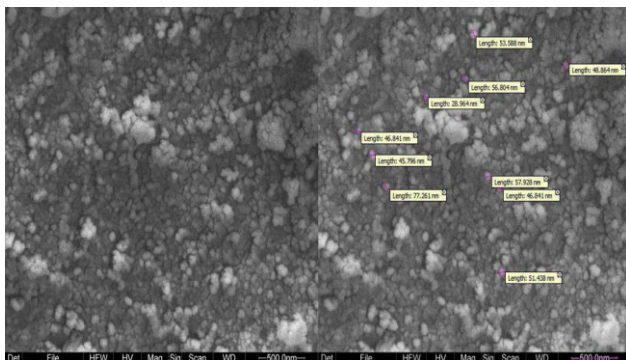
۲-۳- سنتز نانوجندساز فریت نیکل اصلاح شده با سولفید روی

برای تولید نانوجندساز، ۰/۱ g نانوذرات فریت نیکل تهیه شده را در ۵۰ ml آب دیونیز شده با امواج اولتراسونیک (۱۵۰ وات، ۶۰ دقیقه) پراکنده شد. سپس، ۰/۲ g زینک استات دی هیدرات $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ و ۵۰ ml آب دیونیز شده را به آرامی به مخلوط حاوی نانوذرات فریت نیکل افزوده شد. پس از مدت ۲۰ min هم‌زدن، ۰/۱۳ g تیوره و ۵۰ ml آب دیونیز شده به



شکل ۳: منحنی حاصل از بررسی XRD نمونه حاوی نانوپندساز NiFe₂O₄-Zns

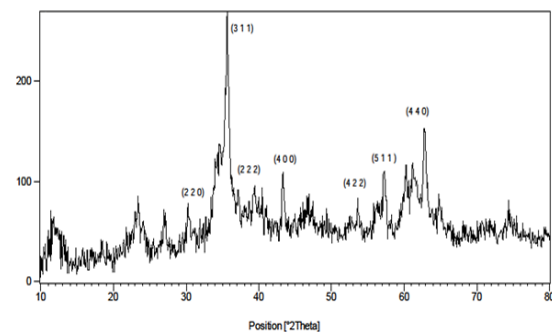
شکل ۴، تصاویر SEM نانوذرات فریت نیکل بدون ماده فعال در سطح سنتز شده را نشان می‌دهد که با رسوب در ۱۰۰ ml حلال به دست آمده‌اند. این شرایط به عنوان یک واکنش پایه در این کار انتخاب شد و اثر پارامترهای متفاوت مانند دما و غلظت بر روی واکنش خالی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تایید کرد که نانوساختارهای سنتز شده از نانوذرات با اندازه متوسط قطر کمتر از ۷۸ nm تشکیل شده‌اند. این تصاویر نشان می‌دهد که با کنترل غلظت واکنش دهنده‌ها و در نتیجه تاثیر در میزان رشد نانوساختارها با ریخت‌شناسی دلخواه تشکیل شده است، بنابراین ریخت‌شناسی به شرایط آماده سازی بستگی دارد.



شکل ۴: تصاویر حاصل از تحلیل SEM نمونه حاوی نانوذرات فریت نیکل

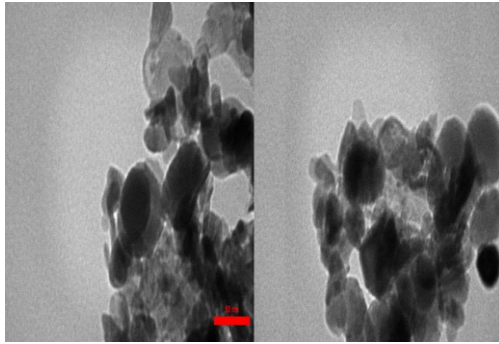
تصاویر SEM نانوذرات NiFe₂O₄ سنتز شده در حضور ماده فعال در سطح ژلاتین در شکل ۵ نشان داده شده است که تاثیر عامل فعال کننده سطحی در شکل و اندازه نانوذرات بررسی شد. اندازه متوسط ذرات حدود ۹۳ nm محاسبه شده است که نتایج تایید می‌کند که فراورده بزرگتر در مقایسه با فراورده بدون ماده فعال در سطح تهیه شده است.

حاوی نانوذرات NiFe₂O₄ الگوی پراش نشان دهنده فاز مکعبی خالص و گروه فضایی Fd-3m را نشان می‌دهد که با کارت استاندارد JCPDS No. 44-1485 مطابقت دارد. همچنین، وجود قله پراش‌های اصلی نوک تیز و باریک نشان دهنده شکل گرفتن خوب نانوذرات است.

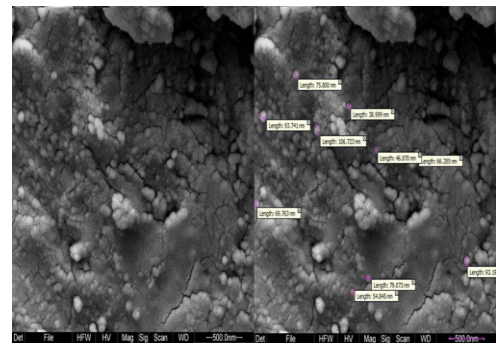


شکل ۲: منحنی حاصل از بررسی XRD نمونه حاوی نانوذرات NiFe₂O₄

ساختار نانوپندساز با دو لایه هسته و پوسته NiFe₂O₄-Zns نیز مورد بررسی قرار گرفت. وجود هر دو فاز مکعبی با کارت استاندارد JCPDS No.: 44-1485 و فاز شش ضلعی خالص با کارت استاندارد JCPDS No.: 03-1093 مورد تایید قرار گرفت و در شکل ۳ نشان داده شده است. اندازه بلورها از الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به هر کدام و مشخصات مربوط به پیک‌های اصلی با استفاده از رابطه دبی-شرر $D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$ محاسبه شد. در این رابطه، D اندازه نانو بلورک‌ها، β پهنای پیک در نصف ارتفاع بیشینه، λ طول موج پرتو ایکس با طول موج بر حسب آنگستروم $1/54.056^\circ \text{A}$ و بر حسب نانومتر 0.154 nm مقدار k مقدار ثابت برابر 0.9 و θ زاویه پراش براگ را نشان می‌دهد. میانگین اندازه نانوبلورک‌ها برای نمونه‌های نانوذرات NiFe₂O₄ و نانوپندساز NiFe₂O₄-Zns به ترتیب حدود ۱۶ nm و ۲۱ nm بدست آمد. برای برآورد ریخت‌شناسی و اندازه نانوذرات فراوردهات از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد.

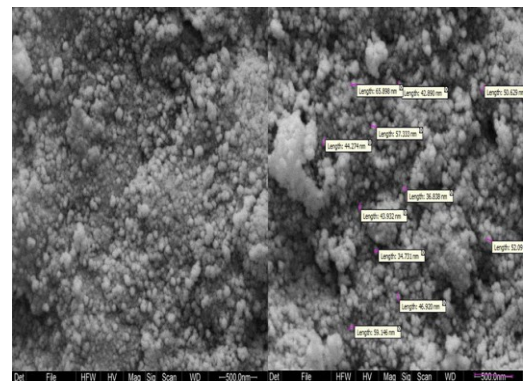


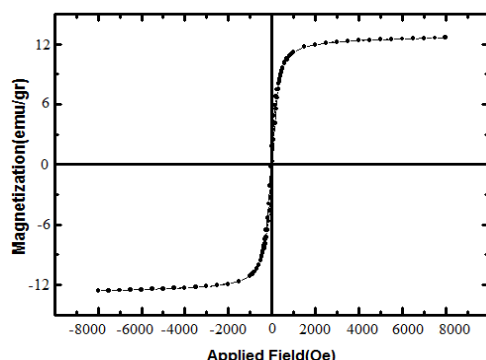
شکل ۷: تصاویر حاصل از بررسی TEM نمونه حاوی از نانوجندسازه سنتز شده فریت نیکل اصلاح شده با سولفید روی



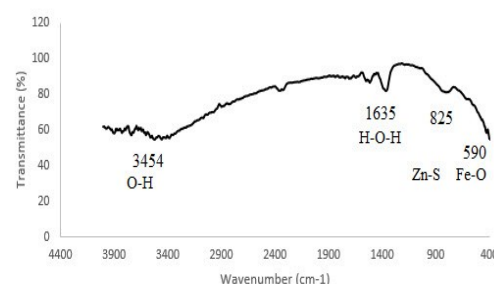
شکل ۵: تصاویر حاصل از بررسی SEM نمونه حاوی نانوذرات فریت نیکل سنتز شده با ژلاتین بدون ماده فعال در سطح

شکل ۶: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نانوجندسازه سنتز شده فریت نیکل اصلاح شده با سولفید روی را نشان می‌دهد که در دمای اتاق در ۱۰۰ ml حلال به دست آمده است. همانطور که به وضوح قابل مشاهده است، ماهیت کروی بودن آنها و توزیع یکنواخت نانوذرات را تایید می‌کند. همچنین، نتیجه تایید می‌کند که نانوجندسازه‌هایی با اندازه متوسط حدود ۶۶ نانومتر به دست آمده‌اند.



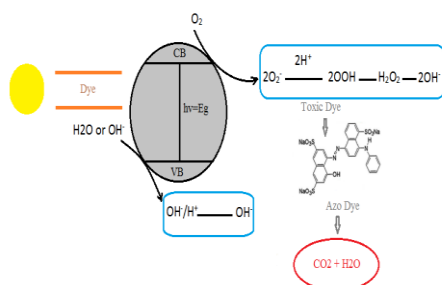


شکل ۱۱: منحنی حاصل از بررسی AGFM نشان‌دهنده مشخصه‌های مغناطیسی نمونه حاوی نانوپدسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$

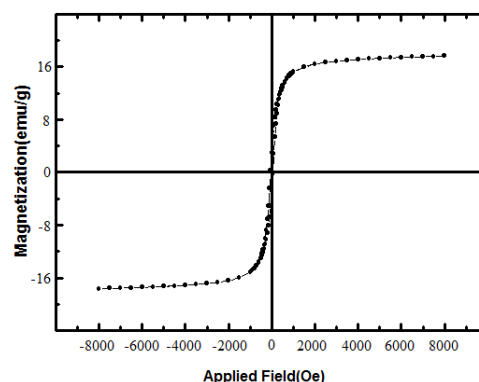


شکل ۹: طیف FT-IR نانوپدسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$

شکل ۱۰، خاصیت مغناطیسی نانوذرات NiFe_2O_4 در دمای اتاق را نشان می‌دهد که با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) مورد مطالعه قرار گرفت. میزان مغناطش اشباع در حدود 18 emu/g و نیروی وادارندگی در حدود 75 Oe به دست آمده است. شکل ۱۱، خاصیت مغناطیسی نانوپدسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ را نشان می‌دهد. میزان مغناطش اشباع در حدود 13 emu/g و نیروی وادارندگی در حدود 75 Oe به دست آمد. خاصیت مغناطیسی نانوپدسازه تهیه‌شده یکی از ویژگی‌های ضروری یک نانوپدسازه ناهمگن است زیرا مواد با این رفتار مغناطیسی تمایل کمی به تجمع بین ذرات ناشی از برهم‌کنش دوقطبی-دوقطبی در مقایسه با نانوپدسازه‌های فرومغناطیسی دارند. ویژگی مغناطیسی نانوپدسازه‌ها تحت تأثیر برهم‌کنش‌های تبادل مغناطیسی بین اجزای فاز متفاوت قرار گرفت.



شکل ۱۲: سازوکار فعالیت فوتوکاتالیست برای تخریب رنگ در زیر نور مرئی UV-Vis

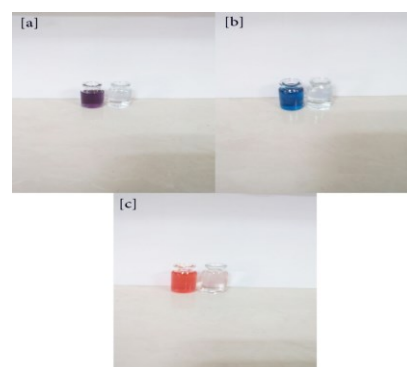


شکل ۱۰: منحنی حاصل از بررسی AGFM نشان‌دهنده مشخصه‌های مغناطیسی نمونه حاوی نانوذرات فریت نیکل بدون ماده فعال در سطح

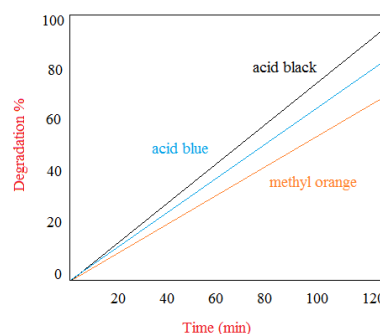
سازوکار فعالیت فوتوکاتالیستی نانوپدسازه فریت نیکل اصلاح شده با نانوذرات سولفید روی با نظارت بر تخریب سه رنگ آزو اسید سیاه، آبی اسید و متیل نارنجی در یک محلول آبی، به عنوان آلاینده‌های آلی معمولی به دلیل ثبات نسبی ساختار مولکولی خود تحت تابش نور مرئی UV ارزیابی شد. سازوکار تجزیه عکس در زیر پرتو فرابنفش قابل مشاهده در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

تجزیه سه رنگ آزو پس از قرار گرفتن در معرض 120 دقیقه با نانوپدسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ در شکل ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. سیاه اسیدی، آبی اسیدی و متیل نارنجی حدود 95.85 و 70 درصد در 120 دقیقه توسط نانوپدسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ تجزیه شدند. غلظت رنگ به سرعت با افزایش زمان تابش پرتو فرابنفش تجزیه رنگ آلی در دی اکسید کربن، آب و سایر باقیمانده‌های کمتر سمی یا غیر سمی کاهش یافت. بنابراین، همانطور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، با گذشت زمان از

غلظت رنگ‌ها کم شده و فعالیت فوتوکاتالیستی افزایش پیدا کرده است.



شکل ۱۳: تصاویر تخریب رنگ ایجادشده در محلول‌های رنگی اسیدی حاوی نانочندسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ (الف) اسید سیاه، (ب) اسید آبی، (ج) متیل نارنجی



شکل ۱۴: نمودار تخریب رنگ ایجادشده در محلول‌های رنگی اسیدی حاوی نانочندسازه

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، نانочندسازه فوتوکاتالیستی با ساختار دولایه هسته و پوسته با موفقیت تهیه شد. نانوساختار نهایی با نانوذرات فریت نیکل با روش رسوب‌دهی ساده به عنوان هسته و سولفید روی با عنوان پوسته فوتوکاتالیستی با یک روش شیمیایی سریع سنتز شدند. خصوصیات نانочندسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ و ZnS و $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ گزارش شد و همچنین، اثر رسوب بر مورفولوژی و اندازه ذرات فرآورده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. میانگین اندازه نانوبلورک‌ها برای نمونه‌های حاوی نانوذرات فریت نیکل و نانочندسازه $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ با ساختار دولایه هسته و پوسته با استفاده از رابطه دبای-شرر محاسبه شد که مقادیر آن به ترتیب حدود ۱۶ nm و ۲۱ nm بدست آمد. طیف پراش پرتو ایکس ساختار اسپینلی فریت‌های بدست آمده را تایید کرد. نتایج آزمون VSM تایید کردند که نانوساختارها دارای رفتار فوق

پارامغناطیس هستند. فعالیت فوتوکاتالیستی نانочندسازه‌های $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-ZnS}$ با سه رنگ آزو اسید سیاه، آبی اسیدی و متیل نارنجی تحت نور فرابنفش مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که نانочندسازه اصلاح شده فریت نیکل با سولفید روی فعالیت فوتوکاتالیستی خوبی داشته و به دلیل وجود هسته مغناطیسی با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی به راحتی از محلول جدا شده و قابل بازیابی است.

مراجع

- [1] T. Navaei Diva, K. Zare, F. Taleshi, M. Yousefi, "Synthesis, characterization, and application of nickel oxide/CNT nanocomposites to remove Pb^{2+} from aqueous solution," *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 7, 273. 2017.
- [2] J. Esmailzadeh, A. Jomekian, "NO₂ and CO Gas Sensing Properties of Cadmium Oxide- Based Gas Sensors", *J. Adv. Mat & Tech.*, 8, 57-65, 2019.
- [3] Y.L. Pang, S. Lim, H.C. Ong, W.T. Chong, "Research progress on iron oxide-based magnetic materials: synthesis techniques and photocatalytic applications" *Ceramics International*, 42, 9, 2016.
- [4] S. Mohamadi, S. Zare, "Synthesis of Nanozeolite and its Efficiency in Reducing the Ca^{2+} of Shiraz Oil Refinery Wastewater", *J. Water and Wastewater*, 31, 127-142, 2020.
- [5] A. Gallo-Cordova, J. Lemus, F.J. Palomares, M.P. Morales, E. Mazario, "Super paramagnetic nanosorbent for water purification: Assessment of the adsorptive removal of lead and methyl orange from aqueous solutions", *Science of the Total Environment*, 7, 134, 2020.
- [6] Z. Chen, H. Zhang, W. Luo, Z. He, L. Zhang, "Diatomite in situ loaded by MOF (ZIF-8)

- [14] V. Sankaranarayana, C. Sreekumar, "Precursor synthesis and microwave processing of nickel ferrite nanoparticles", *Current Applied Physics - Journal*, 3, 205–208, 2003.
- [15] J. Zhang, J. Shi, M. Gong, "Synthesis of magnetic nickel spinel ferrite nanospheres by a reverse emulsion-assisted hydrothermal process", *Journal of Solid State Chemistry*, 182, 2135–2140, 2008.
- [16] K. Shafi, Y. Koltypin, A. Gedanken, R. Prozorov, J. Balogh, J. Lendvai, I. Felner, "Sonochemical preparation of nanosized amorphous NiFe_2O_4 particles", *Journal of Physical Chemistry B*, 101, 6409–64, 1997.
- [17] R. Eisavi, "Preparation and characterization of $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{Cu}(\text{OH})_2$ magnetic nanocatalyst and its use in one-pot synthesis of β -chloroacetates from epoxides", *Nanomegnyas*, 8, 44-52, 2021
- [18] M. Naseri, E. Saion, S. Setayeshi, "The effects and roles of PVP on the phase composition, morphology and magnetic properties of cobalt ferrite nanoparticles prepared by thermal treatment method", *Fibers and Polymers*, 13, 831–836, 2012.
- [19] M. Naseri, H. Kamari, A. Dehzangi, A. Kamalianfar, E. Saion, "Fabrication of a novel chromium-iron oxide ($\text{Cr}_2\text{Fe}_6\text{O}_{12}$) nanoparticles by thermal-treatment method", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 389, 113–119, 2015
- [20] Naseri, E. Saion, H. Ahangar, A. Shaari, "Fabrication, Characterization and magnetic properties of copper ferrite nanoparticles prepared by a simple, thermal-treatment method", *Materials Research Bulletin*, 48, 1439–1446, 2013.
- and its application in removing methylene orange from aqueous solutions", *BioResources*, 15, 265, 2020.
- [7] P. Tartaj, M. P. Morales, S. V. Verdaguer, T. G. Carreno, C.J. Serna, "The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine", *J. Phys. D*, 36, 182–R197, 2003.
- [8] Sh. Yan, J. Yin, E. Zhou, "Study on the synthesis of Ni Zn Cu ferrite nanoparticles by PVA sol-gel method and their magnetic properties", *J. alloys and compounds*, 450, 417-420, 2008
- [9] A. Popa, M. Stefan, D. Toloman, O. Pana, A. Mesaros, C. Leostean, S. Macavei, O. Marincas, R. Suciu, L. Barbu-Tudoran, " $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$: Gd nanoparticles with enhanced photocatalytic activity and magnetic recyclability", *Powder Technology*, 325, 441, 2018.
- [10] L.S. Daniel, H. Nagai, N. Yoshida, M. Sato, "Photocatalytic activity of vis-responsive Ag-nanoparticles/ TiO_2 composite thin films fabricated by molecular precursor method (MPM)", *Catalysts* 3, 625–645, 2013.
- [11] M.J. Kale, T. Avanesian, P. Christopher, "Controlling catalytic selectivity on metal nanoparticles by direct photoexcitation of adsorbate-metal bonds", *ACS Catal.* 4, 116–128, 2014.
- [12] M. Dhiman, S. Singhal, "Enhanced catalytic properties of rare-earth substituted cobalt ferrites fabricated by sol-gel auto-combustion route", *Materials Today: Proceedings*, 14, 435, 2019.
- [13] D. Chen, X. He, "Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method", *Materials Research Bulletin*, 36, 1369–1377, 2001.

- [29] H. Mozafari, S. Azarakhsh, "Photodegradation of azo dyes: photocatalyst and magnetic investigation of $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{-Ag}$ nanocomposites", *Journal of Material Science*, 29, 5993, 2018.
- [30] H. Hamidinezhad, H. Mozafari, R. S. Naseri, "Study of Grass Shoot-Shape Silicon Nanowires Grown by Thermal Chemical Vapor Deposition", *Silicon*, 13, 111, 2020.
- [31] J.T. McCann, M. Marquez, Y. Xia, "Highly Porous Fibers by Electrospinning into a Cryogenic Liquid", *J. Am. Chem. Soc.* 128, 1436, 2006.
- [21] M. Naseri, "Optical and magnetic properties of mono phasic cadmium ferrite (CdFe_2O_4) nanostructure prepared by thermal treatment method", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 392, 107, 2015.
- [22] Hu, H., Zhang, W., "Synthesis and properties of transition metals and rare-earth metals doped ZnS nanoparticles", *Optical Materials*, Vol. 28, 536-550, 2006.
- [23] Torres-Martinez, C.L., Kho, R., Mian, O.I., Mehra, R.K., "Efficient photocatalytic degradation of environmental pollutants with mass-produced ZnS nanocrystals", *Journal of Colloid and Interface Science*, 240, 525-532, 2001.
- [24] Wang, L., Chen, L., Luo, T., Qian, Y., "A hydrothermal method to prepare the spherical ZnS and flower-like CdS microcrystallites", *Materials Letters*, 60, 3627-3630, 2006.
- [25] Zho, T.Y., Yuan, X., Hong, J.M., Xin, X.Q., "Room-Temperature solid-state reaction to nanowires of Zinc Sulfide", *Materials Letters*, 60, 168-172, 2006.
- [26] Fathy, N., Kobayashi, R., Ichimura, M., "Preparation of ZnS thin films by the pulsed electrochemical deposition", *Materials Science and Engineering B*, 107, 271-276, 2004.
- [27] E. Shahriari, A. Motamedi, "Photoluminescence and Nonlinear Optical Properties of Copper Doped Zinc Sulfide Thin Film", *Karfen*, 18, 187-200, 2021.
- [28] M.R. Hoffmann, S.T. Martin, W. Choi, D.W. Bahnemann, "Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis", *Chem. Rev.* 95, 69, 1995.



Fabrication and study of magnetic and photocatalytic properties of nickel ferrite nanocomposite modified with zinc sulfide

H. Mozafari*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract: In this study, nanocomposites with core-shell structure consisting of nickel ferrite and zinc sulfide were fabricated by rapid chemical method with the aim of enhancing the photocatalytic properties and were investigated in the ultraviolet region. Therefore, first samples containing nickel ferrite nanoparticles (NiFe_2O_4) were synthesized by co-precipitation method, then NiFe_2O_4 -Zns nanocomposite with average diameters of 66 nm was made. The morphology and microstructure of the nanocomposites produced were investigated using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM). XRD analyzes show that the constructed nanostructures have a structure with a crystalline dominant phase. The magnetic properties of nanoparticles and nanocomposites prepared at room temperature were investigated using an alternating force gradient magnetometer (AGFM). The sample of nanocomposites produced using ultraviolet-visible (UV-Vis) optical spectrometer and the effect of the amount of adsorbent and irradiation time on the percentage reduction of dye concentration of solutions were investigated. The aqueous and methyl orange acids tested in the presence of the nanocomposite were significantly reduced, which is confirmed by the photocatalytic properties of the nanocomposite, which ultimately led to a reduction in the concentration of dyes used.

Keywords: Nanocomposite, Zinc sulfide, Core-shell structure, Nickel ferrite