

بررسی خواص مغناطیسی و ساختاری نانوذرات فریت کبالت روی $Co_x Zn_{1-x} Fe_2 O_4$ سنتز شده به روش عملیات گرمایی

محمود ناصری^{۱*}، مهشید چیره^۲، مصطفی عسکری^۳

۱ استادیار، گروه فیزیک دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲ دانشجوی دکتری، گروه فیزیک دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

تاریخ دریافت:

۹۵/۶/۲۲

تاریخ پذیرش:

۹۵/۱۰/۱۸

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از روش عملیات گرمایی، به نانوذرات فریت روی درصدهای مولی مختلف کبالت، از ۱ تا ۱۰ (۱/۰۶/۰۴، ۲/۰، ۰/۰۲، ۰/۰۰) اضافه گردید $Co_x Zn_{1-x} Fe_2 O_4$. مشخصات ساختاری و مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از TEM (میکروسکوپ الکترونی عبوری)، XRD (پراش پرتو ایکس) و FT-IR (طیف سنجی تبدیل فوریه فرسرخ) و VSM (مغناطیس سنج نمونه لرزان) بررسی شدند. نتایج حاصل از XRD و FT-IR تشکیل ساختار اسپینلی مکعبی با گروه فضایی Fd-3m برای نانوذرات را تایید نمودند. تصاویر مشاهده شده از TEM شکل تقریباً «کروی» و با توزیع یکنواخت را برای نانوذرات نشان داد و متوسط اندازه نانوذرات را در حدود ۴۰ نانومتر نشان داد. نتایج حاصل از آنالیز FT-IR حضور مد های ارتعاشی Zn-O Co-O و Fe-O را اثبات کردند. نانوذرات ساخته شده بوسیله عملیات گرمایی، رفتارهای مغناطیسی متفاوتی را نشان دادند به طوری که با افزایش کبالت، رفتار مغناطیسی نمونه‌ها از پارامغناطیس به فرومغناطیس تغییر یافت که بوسیله مغناطیس سنج نمونه لرزان اثبات گردید (VSM).

عملیات گرمایی، نانوذرات فریت کبالت روی، FT-IR، VSM، XRD

واژگان کلیدی

۱) مقدمه

در حال حاضر نانوذرات مغناطیسی به دلیل کاربردهای فراوانی مانند رسانش داروها به نقاط مورد نظر در بدن، تشخیص بیماری ها، تصفیه آب، حافظه های رایانه ها و سنسورها، که دارند، برای انجام کارهای پژوهشی بیشتر مورد توجه هستند [۱ و ۲]. در میان آنها نانوذرات فریت اسپینلی به دلیل خواص مغناطیسی و الکتریکی عالی و مناسبی که دارند به طور وسیعی مورد مطالعه قرار می گیرند [۳]. برخی از فریت ها ساختار اسپینلی دارند که شکل آنها به صورت AB_2O_4 هستند به طوری که به ترتیب A و B نشان دهنده کاتیون های تتراهدرال (چهار وجهی) و اکتاهدرال (هشت وجهی) و O نمایش دهنده آنیون ها می باشد. نانوذرات فریت اسپینلی فلزی رابطه عمومی MFe_2O_4 را دارند که M می تواند فلزاتی مانند Zn، Fe، Mg، Co، Ni، Mn باشد [۱ و ۴]. در میان این فریت ها، نانوذرات فریت کبالت که یک ماده مغناطیسی سخت بوده [۵] دارای خواص کاتالیزوری و کاربردی مانند استفاده در تصویر برداری مولکولی در زمینه پزشکی است [۶]. این کاربردهای نانوذرات فریت کبالت به دلیل توانایی توزیع کاتیونی آن در بین زیر شبکه های موجود در محل های تتراهدرال و اکتاهدرال می باشد [۷]. نانوذرات فریت کبالت به دلیل خواص جالبی نظیر، ناهمسانگردی مغناطی-کریستالی، وادارندگی بالا، مغناطش اشباع متوسط، پایستگی شیمیایی بالا، مقاومت در برابر سایش و عایق الکتریکی بودن دارند به طور وسیعی مورد توجه هستند [۵ و ۷ و ۸]. مشخصات مغناطیسی مواد بستگی به اندازه، شکل و خلوص نانوذرات دارد [۹]. در میان فریت های مختلف فریت روی $ZnFe_2O_4$ و فریت کبالت $CoFe_2O_4$ بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته اند به دلیل آنکه آنها به ترتیب فریت هایی معمولاً با اسپینل نرمال و اسپینل معکوس می باشند [۱۰ و ۱۱]. فریت روی با ساختار غیرنانو در دمای زیر دمای نیل $T_N=10K$ خاصیت آنتی فرومغناطیسی دارد و زمانی که اندازه ذرات آن به نانو کاهش می یابد خاصیت فرومغناطیسی و یا ابرپارامغناطیس پیدا می کند، در فریت روی یون های روی جایگاه های تتراهدرال را اشغال می کنند و همه یون های Fe^{3+} در جایگاه های اکتاهدرال قرار می گیرند، برعکس فریت کبالت خاصیت فرومغناطیسی از خود نشان می دهد به طوری که یون های کبالت در جایگاه های اکتاهدرال و یون های Fe^{3+} به طور مساوی در جایگاه های اکتاهدرال و تتراهدرال قرار می گیرند. بنابراین فریت های ترکیبی روی-کبالت Co-Fe به دلیل خواص جالب و کاملاً متفاوتی که فریت روی $ZnFe_2O_4$ و فریت

کبالت $CoFe_2O_4$ دارند برای انجام کارهای پژوهشی بسیار جالب و مورد توجه هستند [۱۲]. مشخصات مغناطیسی ساختار اسپینلی فریت کبالت می تواند با تعویض و جایگزینی کاتیونی تغییر کند و به یک ساختار ترکیبی تبدیل شود [۱۳ و ۱۴]. براساس مطالعات جدید جایگزینی Zn^{2+} با Co^{2+} در نانوذرات کبالت $Co_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ نشان داده است که مشخصاتی نظیر پایستگی شیمیایی، مقاومت خوردگی بالا، ناهمسانگردی مگنتو-کریستالی، مگنتو-اپتیکی بهبود یافته است [۳]. نانوذرات فریت را به روش های گوناگون نیاز جمله سل ژل [۶]، آسیاب ساچمه ای [۱۴]، هم رسوبی [۱۵]، روش گرمایش سرمایی [۱۶]، روش میسل معکوس [۱۷]، روش هیدروترمال [۱۸ و ۱۹]، فرآیند پلیمری [۲۰]، روش میکرو امولسیون [۲۱]، نمونه برداری لیزری [۲۲]، روش پلی ال [۲۳]، روش سونوشیمیایی [۲۴]، روش اورسل [۲۵] و روش آلیاژسازی مکانیکی [۲۶] می توان ساخت. روش های ذکر شده در بالا هر کدام دارای معایبی هم چون وقت گیر بودن، هزینه زیاد، نیاز به سیال فوق بحرانی با دما و فشار بسیار بالا، پیچیدگی روش، دخالت متغیرهای فراوان در کنترل اندازه ذرات، تولید مواد سمی هستند. تاکنون روش عملیات گرمایی که عیب های فوق را ندارد در سنتز فریت های متنوعی به کار گرفته شده است [۲۹-۲۷]. در این کار پژوهشی ما به سنتز نانوذرات فریت کبالت روی $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ برای (۱/۸ و ۱/۶ و ۱/۴ و ۱/۲ و ۰) $x=$ با استفاده از روش عملیات گرمایی پرداخته ایم و اثرات جایگزینی Co^{2+} با Zn^{2+} را برای این نانوذرات بررسی کرده ایم.

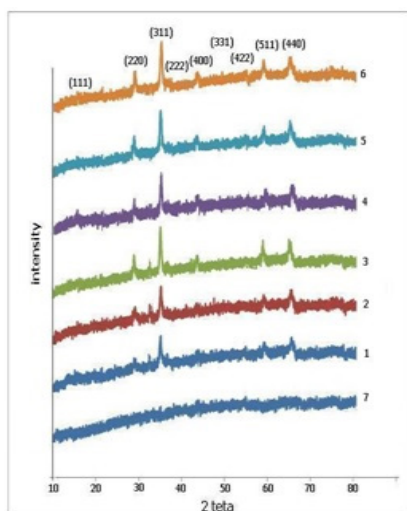
۲) مواد و روش تحقیق

برای تهیه نانوذرات فریت کبالت روی $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ، مواد اولیه مورد نیاز، نیترات آهن ۳، $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ، نیترات روی، $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ، استات کبالت $(CH_3COO)_2Co \cdot 4H_2O$ که همگی مربوط به شرکت مرک آلمان (MERCK) بودند با خلوص ۹۹ درصد خریداری شد. آب مقطر، پلیمر پلی وینیل پیرولیدون (PVP) با وزن مولکولی ۲۹۰۰۰، به منظور جلوگیری از کپه ای شدن مواد و به عنوان عاملی محدود کننده اندازه ذرها استفاده شد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود نانوذرات فریت کبالت روی را در شغلظت مختلف از کبالت تهیه نمودیم. برای تهیه نمونه ها ابتدا ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر ۸۵ درجه سانتی گراد را تهیه نموده و پلیمر پلی وینیل پیرولیدون را به آن افزوده

جدول ۱) مواد اولیه مورد نیاز و نمونه های تهیه شده

| نمونه | فرمول شیمیایی | استات کبالت (میلی مول) | نیترات روی (میلی مول) | نیترات آهن (میلی مول) | پلیمر (گرم) |
|-------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| ۱ | $ZnFe_2O_4$ | ۰ | ۱ | ۲ | ۴ |
| ۲ | $Co_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ | ۰/۲ | ۰/۸ | ۲ | ۴ |
| ۳ | $Co_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۲ | ۴ |
| ۴ | $Co_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ | ۰/۶ | ۰/۴ | ۲ | ۴ |
| ۵ | $Co_{0.8}Zn_{0.2}Fe_2O_4$ | ۰/۸ | ۰/۲ | ۲ | ۴ |
| ۶ | $CoFe_2O_4$ | ۱ | ۰ | ۲ | ۴ |

صفحات براگ (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۳۱۱)، (۲۲۲)، (۴۰۰)، (۳۳۱)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) دیده می-شود که این صفحات تشکیل ساختار اسپینل مکعبی برای همه نمونه های نانوذرات فریت کبالت روی را تایید می کند. این نقش ها، الگوی استاندارد (ICDD PDF: ۱۰۱۲-۲۲) و (ICDD PDF: ۱۰۸۶-۲۲) را نتیجه می دهند. اثر آلییدگی کبالت بر مشخصات ساختاری و مغناطیسی نانوذرات $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ در جدول ۲ آمده است.



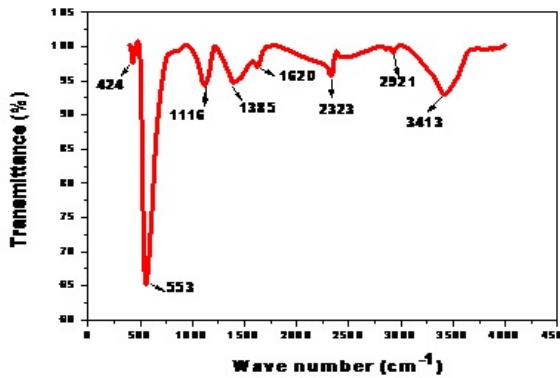
شکل ۱) الگوی XRD نانوذرات $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ با $(x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1)$ و کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد. نمونه ۷ کلسینه نشده

تصویر TEM برای نانوذرات انتخابی کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد در شکل ۲ آمده است که اندازه، شکل و توزیع این نمونه را به خوبی نشان می دهد. نتایج حاصل از TEM نشان می دهد که این نانوذرات دارای ابعاد تقریبی ۴۰ نانومتر می باشند. نتایج حاصل از TEM همچنین شکل مجزا و یکنواخت و تقریباً کروی را برای نانوذرات نشان داد. در این تصویر اکثریت نانوذرات دارای شکل کروی به نظر می رسند اما بعضی ذرات که کشیده شده اند نیز در تصویر TEM دیده می شوند این ذرات در بعضی مناطق به طور خیلی جزئی کپه ای شده اند و این کپه ای شدن برای دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد

و توسط همزن مغناطیسی محلول حاصل را همزده تا پلیمر کاملاً در آب مقطر حل شود، سپس هریک از پیش ماده ها را به تنهایی به محلول افزوده و صبر می کنیم که بطور کامل حل شود. در طول این مدت دمای محلول می بایست همان ۸۵ درجه سانتی گراد باقی بماند. آنگاه محلول حاصل را در پتری دیش (Petri dish) ریخته و در فر الکتریکی در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده تا به طور کامل خشک شود. پس از این ماده خشک شده را در هاون ریخته و حدود ۳۰ دقیقه آسیاب می کنیم. پودر حاصل را در کوره الکتریکی قرار داده و در یک فرآیند سه مرحله ای تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داده تا کلسینه شود. لازم به ذکر است این کار برای هر ۶ نمونه انجام شد. به منظور بررسی ساختار نمونه ها از پراش پرتو ایکس مدل 6000Shimadzu با به کارگیری پرتو ایکس (۰/۱۵۴ nm) $Cu K\alpha$ استفاده شد. الگوهای پراش برای نمونه ها در دمای اتاق و در بازه 2θ در محدوده ۱۰ تا ۸۰ درجه بدست آمد. اندازه ذرات توسط میکروسکوپ الکترون عبوری (TEM) مدل JEOL 2010F UHR در ولتاژ ۲۰۰ کیلو ولت معین شد. خواص مغناطیسی نمونه ها توسط مغناطیس سنج نمونه لرزان (VSM) ساخته شده توسط شرکت کریر کاشان بدست آمد. جهت دستیابی به تحلیل باندهای مولکولی و گروه های عاملی از طیف سنج تحلیل فوریه فرسرخ مدل Bruker Tensor ۲۷ استفاده شد.

۳) نتایج و بحث

الگوی XRD برای نمونه های مختلف نانوذرات $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد در شکل ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است در این شکل الگوی XRD یک نمونه را قبل از کلسینه شدن آورده ایم که نشان می دهد قبل از کلسینه شدن ماده مذکور آمورف یا بی شکل است. ولی در الگوی XRD نمونه های کلسینه شده



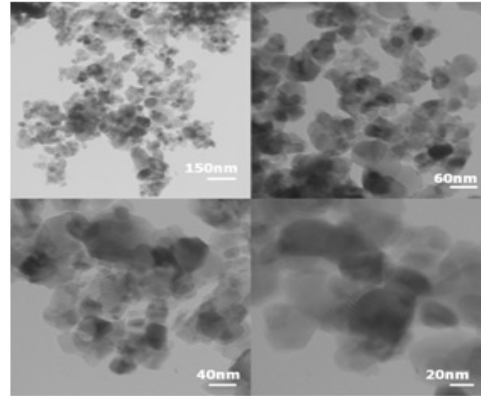
شکل ۳) طیف FT-IR نانوذرات $Co_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد

نتایج مربوط به مغناطیدگی نمونه ها (VSM) برای هر شش نمونه از نانوذرات کبالت روی در دمای اتاق و در محدوده ۱۵ kOe تا ۱۵۰ kOe در شکل های ۴ و ۵ و در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از VSM در شکل ۴ به وضوح نشان می دهد که نانوذرات $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد خواص مغناطیسی متفاوتی را از خود نشان می دهند به طوری که با افزایش مقدار آلییدیگی کبالت رفتار مغناطیسی نمونه ها از پارامغناطیس به ابرپارامغناطیس و سپس به فرومغناطیس تغییر می یابد [۱۰ و ۳۴]. همچنین با افزایش آلییدیگی کبالت حلقه هیستریزس به خوبی تشکیل شده و خاصیت فرومغناطیسی را در نمونه ها تایید می کند به طوری که برای نمونه های ۴ و ۵ و ۶ که آلییدیگی کبالت بیشتری دارند با افزایش آلییدیگی کبالت خاصیت فرومغناطیسی افزایش می یابد [۲۷]. میدان وادارندگی HC با افزایش آلییدیگی کبالت برای نمونه های ۴ و ۵ و ۶ از $H_c \sim 296$ Oe به $H_c \sim 391$ Oe افزایش یافت. نتایج VSM برای این نمونه ها در شکل ۵ به وضوح نشان می دهد که مغناطش اشباع نمونه های کلسینه شده با افزایش آلییدیگی کبالت افزایش یافته است، به طوری که با افزایش آلییدیگی کبالت مغناطش اشباع نمونه ها از $2/63$ emu/g برای نمونه ۱ به $34/41$ emu/g برای نمونه ۶ افزایش یافت (مطابق جدول ۲) که این امر می تواند به خاطر برهم کنش های فوق تبادلی و تغییر جایگاه، کاتیون های روی و کبالت از محل های چهار وجهی و هشت وجهی، در فریت های با ساختار اسپینلی باشد [۳۵].

۴) نتیجه گیری

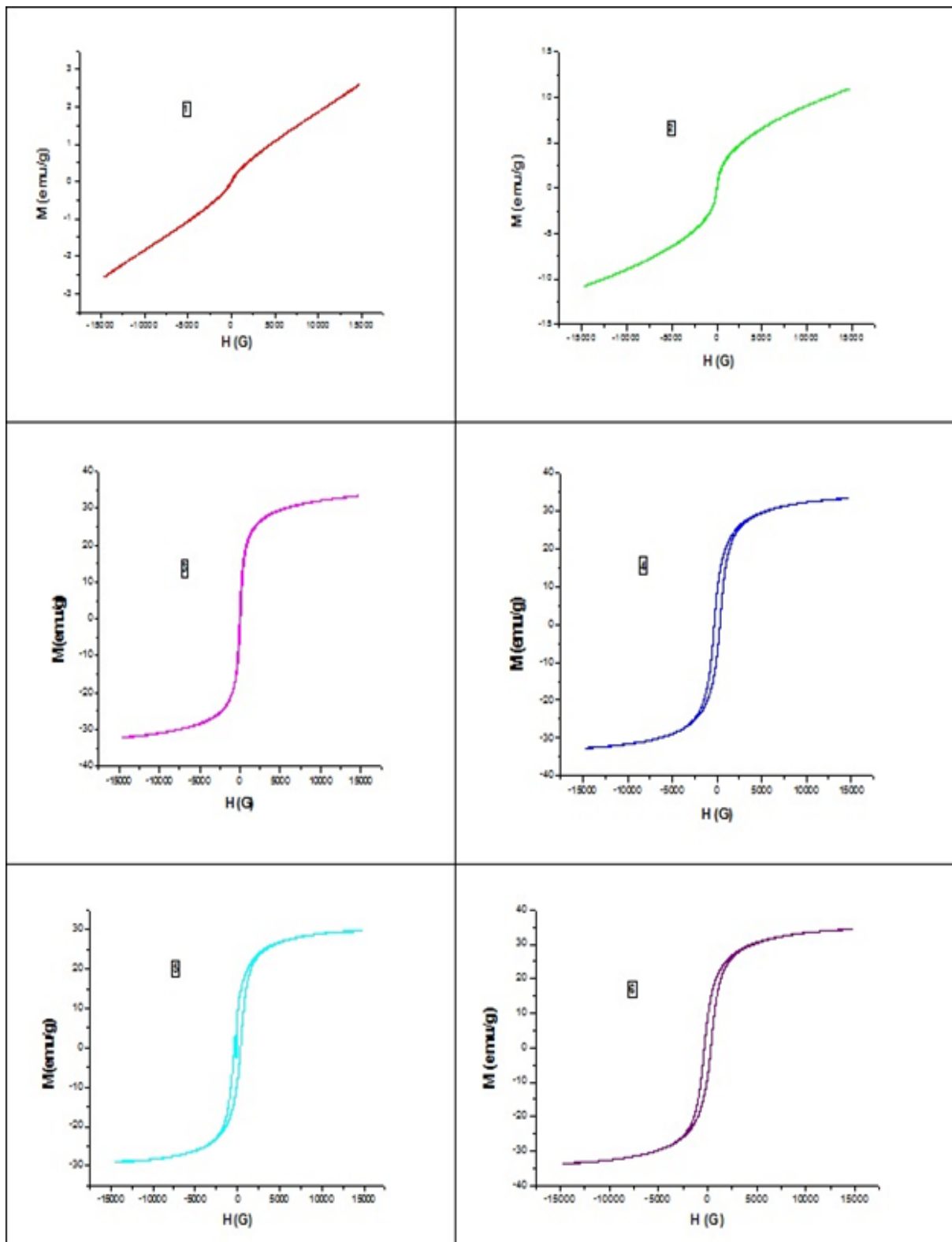
حضور صفحات براگ در نتایج حاصل از XRD تشکیل فاز اسپینلی مکعبی با گروه فضایی Fd-3m را برای همه نمونه های نانوذرات فریت روی آلییده شده با کبالت $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ تایید نمود. نتایج حاصل از TEM برای نمونه انتخابی ۲ یا متوسط اندازه نانوذرات را در حدود ۴۰ نانومتر نشان داد.

اجتناب ناپذیر است همان طور که ArifMumtaz و همکارانش مشاهده کردند [۹] این کپه ای شدن می تواند به این دلیل باشد که سطح بعضی از ذرات در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد ذوب می شود و چند ذره همسایه با هم آمیخته می شوند [۲۷ و ۳۰].



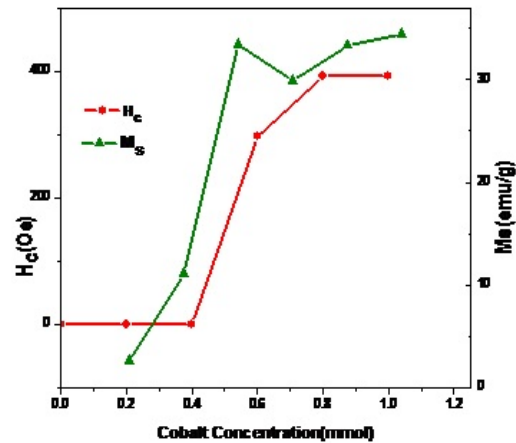
شکل ۲) تصویر TEM برای نانوذرات $Co_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد

طیف FT-IR نانوذرات انتخابی، در محدوده $400 - 4000$ cm^{-1} در شکل ۳ نشان داده شده است. این طیف اطلاعاتی درباره تغییرات ساختار مولکولی و شیمیایی در فریت های سنتز شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می دهد. در این طیف یک پهنای باند جذب قوی در محدوده $400 - 600$ cm^{-1} که مربوط به اکسیدهای فلزی است مشاهده می شود که Duran و همکارانش [۳۱] نیز آن را در محدوده $500 - 600$ cm^{-1} مشاهده نمودند. همان طور که در شکل آمده است باند جذب کششی مشاهده شده در 424 cm^{-1} مربوط به اکسیدهای فلزی روی یا کبالت Co-O, Zn-O می باشد. باند جذب کششی لغزشی مشاهده شده در 553 cm^{-1} به اکسید فلزی آهن Fe-O نسبت داده می شود [۱۰ و ۲۷] که Israf و همکارانش نیز آن را در 556 cm^{-1} مشاهده کردند [۳۲]. باند جذب کششی موجود در 1116 cm^{-1} مربوط به گروه C-O می باشد. باندهای جذب کششی مشاهده شده در 1385 و 1620 cm^{-1} به ترتیب مربوط به مدهای کششی پاد متقارن و متقارن C=O می باشند که JebeliMoeen و همکارانش [۴] این مدهای جذب را در 1380 cm^{-1} و 1600 cm^{-1} مشاهده نمودند. باند جذبی که در 2323 cm^{-1} مشاهده می شود مربوط به C=H می باشد. باند جذبی که در 2921 cm^{-1} مشاهده می شود مربوط به گروه C-H می باشد که JebeliMoeen و همکارانش آن را در 2930 cm^{-1} مشاهده کردند [۴]. طیف جذب موجود در 3413 cm^{-1} مربوط به باند لغزشی O-H می باشد که Jalay و همکارانش آن را در 3450 cm^{-1} مشاهده نمودند [۳۳].



شکل ۴) منحنی های VSM نانوذرات $\text{Co}_x \text{Zn}_{1-x} \text{Fe}_2\text{O}_4$ کلسینه شده در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد

همچنین با افزایش آلائیگی کبالت مغناطش اشباع M_s برای نمونه های تهیه شده از $2/63 \text{ emu/g}$ به $34/41 \text{ emu/g}$ افزایش یافت.



شکل ۵) تغییر مغناطش اشباع M_s و میدان وادارندگی H_c با تغییر غلظت کبالت برای نانوذرات $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$

جدول ۲) اثر آلائیگی کبالت بر مشخصات ساختاری و مغناطیسی نانوذرات $Co_xZn_{1-x}Fe_2O_4$

| نمونه | ساختار XRD & FT-IR | مغناطش اشباع M_s (emu/g) VSM | مغناطش پسماند M_r (emu/g) VSM | میدان وادارندگی H_c (Oe) VSM | ($R=M_r/M_s$) VSM |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| $ZnFe_2O_4$ | اسپینل مکعبی | ۲/۶۳ | -/۱۵۰ | ۰ | ۰/۵۷ |
| $Co_{0.8}Zn_{0.2}Fe_2O_4$ | اسپینل مکعبی | ۱۱/۰۸ | -/۱۵۱ | ۰ | ۰/۰۱ |
| $Co_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ | اسپینل مکعبی | ۳۳/۴۷ | ۳/۵۸۸ | ۰ | ۰/۱۰ |
| $Co_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ | اسپینل مکعبی | ۲۹/۸۸ | ۹/۱۳۵ | ۲۹۶/۳۶۲ | ۰/۳۰ |
| $Co_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ | اسپینل مکعبی | ۳۳/۳۴ | ۸/۶۴۲ | ۳۹۱/۴۰۰ | ۰/۲۵۹ |
| $CoFe_2O_4$ | اسپینل مکعبی | ۳۴/۴۱ | ۸/۸۸۲ | ۳۹۱/۴۹۰ | ۰/۲۵۸ |

۴) مراجع

- [1] M. Goodarznasari, E. B. Saion, H. Abbastabar, A. Angar, Abdul Halim, Synthesis and Characterization of zinc Ferrite Nanoparticles by a Thermal Treatment Method, Solid State Communications 151, (2011), 1031-1035
- [2] M. Maria Angelin, Sinthiya, K. Ramamurthi, S. Mathuri, T. Manimozhi, N. Kumaresan, Mudaliar Mahesh Margoni, P. C. Karthika, Synthesis of Zinc Ferrite ($ZnFe_2O_4$) Nanoparticles with Different Capping Agents, CODEN (USA): IJCRGG, Vol.7, No.5, pp. 2144-2149, ISSN: 0974-4290, 2014-2015
- [3] Emad Girgis, Mohamed MS Wahsh, Atef GM Othman, Lokeshwar Bandhu and KV Rao, Synthesis, magnetic and optical properties of core/shell Co_1-

همچنین تصاویر حاصل از TEM ذرات مجزا هم، با توزیع یکنواخت و تقریباً کروی را برای نانوذرات نشان داد. نتایج حاصل از آنالیز FT-IR حضور اکسیدهای فلزی $Zn-O, Co-O, Fe-O$ در نانوذرات انتخابی $Co_{0.2}Zn_{0.8}Fe_2O_4$ کلسینه شده در دمای $600^\circ C$ سانتیگراد را به خوبی تایید کرد و همچنین تشکیل ساختار اسپینل مکعبی برای همه نمونه های نانوذرات فریت روی آلائیده شده با کبالت را نیز نشان داد که تاییدی بر نتایج حاصل از XRD می باشد. نتایج حاصل از VSM رفتارهای مغناطیسی متفاوتی را برای نمونه ها نشان داد به طوری که با افزایش مقدار آلائیگی کبالت رفتار مغناطیسی نمونه ها از پارامغناطیس به ابرپارامغناطیس و سپس به فرومغناطیس تغییر یافت و نمونه هایی که آلائیگی کبالت بیشتری داشتند با تشکیل حلقه هیستریزس از خود خاصیت فرومغناطیسی بیشتری را نشان دادند. میدان وادارندگی H_c با افزایش آلائیگی کبالت برای نمونه های 405 و 604 که آلائیگی کبالت بیشتری داشتند از 2960 به 3910 افزایش یافت.

- [11] T.M. Meaz, S.M. Attia and A.M. Abo El Ata. Effect of tetravalent titanium ions substitution on the dielectric properties of Co-Zn ferrites, *J. Magn. Mater.* 210 (2000) 189.
- [12] Anshu Sharma, Kusum Parmar, R.K. Kotnala, and N.S. Negi, MAGNETIC AND DIELECTRIC PROPERTIES OF COXZN1-XFE2O4 SYNTHESIZED BY METALLO-ORGANIC DECOMPOSITION TECHNIQUE, *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, Nov. 2012.
- [13] Mahmoud Goodarz Naseri, Mohammad Hossein Majles Ara, Elias B. Saion, Abdul Halim Shaari, Superparamagnetic magnesium ferrite nanoparticles fabricated by a simple, thermal-treatment method, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 50 (2014) 141–147.
- [14] M. Goodarz Naseri, E. Bin Saion, H. Abastabar Ahangar, M. Hashim, A.H. Shaari, Synthesis and characterization of manganese ferrite nanoparticles by thermal treatment method, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 323 (2011) 1745–1749.
- [15] Vaidyanthana, G. Sendhilnathan, Characterization nanoparticles synthesized by co-precipitation method, *Physica B: Condensed Matter*, 403, (2008), 2157–2167.
- [16] M.H. Khedr, A.A. Omar, and S.A. AbdelMoaty, Magnetic nanocomposites: preparation and characterization of Co-ferrite nanoparticles, *Colloids and Surfaces A*, vol. 281, no. 1–3, pp. 8–14, 2006.
- [17] V. L. Calero-DdelC and C. Rinaldi, Synthesis and magnetic characterization of cobalt-substituted ferrite (Co_xFe_{3-x}O₄) nanoparticles, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 314, no. 1, pp. 60–67, 2007.
- x Zn_xFe₂O₄/SiO₂ nanoparticles, *Girgiset al. Nanoscale Research Letters* 2011, 6:460.
- [4] Sh. Jebeli Moeen, M.R. Vaez, A.A. Yousefi, Chemical Synthesis of Nano-Crystalline Nickel-Zinc Ferrite as a Magnetic Pigment, *Prog. Color Colorants Coat.* 3 (2010), 9–17.
- [5] Partha.P. Goswami, Hanif. A. Choudhury, Sankar Chakma and Vijayanand. S.M. Moholkar, Sonochemical Synthesis of Cobalt Ferrite Nanoparticles, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Chemical Engineering Volume* 2013, Article ID 934234, 6 pages.
- [6] Vaidyanthana, G. Sendhilnathan, Characterization nanoparticles synthesized by co-precipitation method, *Physica B: Condensed Matter*, 403, (2008), 2157–2167.
- [7] Nalla. Somaiah, T. Anjore V. Jayaraman, P. A. Joy, Dibakar Das, Magnetic and magnetoelastic properties of Zn doped cobalt-ferrites — CoFe_{2-x}Zn_xO₄ (x = 0, 0.1, 0.2, and 0.3), *Mechanical & Materials Engineering Faculty Publications*, 7-1-2012.
- [8] Sonal Singh, Tsering Namgyal, Sandeep Bansal, Kailash Chandra, Effect of Zn Substitution on the Magnetic Properties of Cobalt Ferrite Nano Particles Prepared Via Sol-Gel Route, *J. Electromagnetic Analysis & Applications*, 2010, 2, 376–381.
- [9] K. Maaz, Arif Mumtaz, S.K. Hasanain, Abdullah Ceylan, Synthesis and Magnetic Properties of Cobalt Ferrite (CoFe₂O₄) Nanoparticles Prepared by Wet Chemical Route, *PACS: 75.50Gg; 75.50Tt; 75.70Rf*.
- [10] J.H. Shim, S. Lee, J.H. Park, S.J. Hau, Y.H. Jeon, and Y.W. Cho, Coexistence of ferromagnetic and antiferromagnetic ordering in Fe-inverted zinc ferrite investigated by NMR, *Phys. Rev. B* 73, 064404 (2006).

- [25] S. Singhal, J. Singh, S. K. Barthwal, and K. Chandra, Preparation and characterization of nano-size nickel-substituted cobalt ferrites ($Co_{1-x}Ni_xFe_2O_4$), *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 178, no. 10, pp. 3183–3189, 2005.
- [۲۶] هدی گلپایگانی، علی بیت الهی، محمد نیایی فر، بررسی مقایسه ای تحولات فازی و خواص مغناطیسی نانوذرات $Co/\alpha-Fe_2O_3$ ، سنتز شده به روش آلیاژسازی، سیستم مکانیکی با نسبت های مولی متفاوت، فصلنامه علمی تخصصی مهندسی مواد مجلسی/سال دوم/شماره ششم/پاییز ۱۳۸۷.
- [27] M. Goodarz Naseri, E. B. Saion, H. Abbastabar Ahangar, A. H. Sharri, M. Hashim Simple Synthesis and Characterization of Cobalt Ferrite Nanoparticles by a Thermal Treatment Method, *Journal of Nanomaterials*, Volume 2010 (2010), Article ID 907686, 8 pages.
- [28] Mahmoud Goodarz Naseri, Elias B. Saion, Hossein Abbastabar Ahangar, Mansor Hashim, Abdul Halim Shaari, Simple preparation and characterization of nickel ferrite nanocrystals by a thermal treatment method, *Powder Technology* 212 (2011) 80–88.
- [29] Mahmoud Goodarz Naseri, M. K. Halimah, Arash Dehjangi, Ahmad Kamalianfar, Elias B. Saion, Burhanuddin Y. Majlis, A comprehensive overview on the structure and comparison of magnetic properties of nanocrystalline synthesized by a thermal treatment method, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 75 (2014) 315–327.
- [30] Y. Qu, H. Yang, N. Yang, Y. Fan, H. Zhu, and G. Zou, The effect of reaction temperature on the particle size, structure and magnetic properties of coprecipitated $CoFe_2O_4$ nanoparticles, *Materials Letters*, vol. 60, no. 29-30, pp. 3548–3552, 2006.
- [31] P. Durán, J. Tartaj, F. Rubio, C. Moure, O. Peña, Synthesis and sintering behavior of spinel-type $Co_xNiMn_{2-x}O_4$ ($0.2 < x < 1.2$) prepared by the ethylene glycol-metal nitrate polymerized complex process, *Ceram. Int.*, 31(2005), 599-610.
- [18] D. Zhao, X. Wu, H. Guan, and E. Han, Study on supercritical hydrothermal synthesis of $CoFe_2O_4$ nanoparticles, *Journal of Supercritical Fluids*, vol. 42, no. 2, pp. 226–233, 2007.
- [19] L. Chen, Y. Shen, and J. Bai, Large-scale synthesis of uniform spinel ferrite nanoparticles from hydrothermal decomposition of trinuclear heterometallic oxo-centered acetate clusters, *Materials Letters*, vol. 63, no. 12, pp. 1099–1101, 2009.
- [20] M. Gharagozlou, Synthesis, characterization and influence of calcination temperature on magnetic properties of nanocrystalline spinel Co-ferrite prepared by polymeric precursor method, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 486, no. 1-2, pp. 660–665, 2009.
- [21] V. Pillai and D. O. Shah, Synthesis of high-coercivity cobalt ferrite particles using water-in-oil microemulsions, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 163, no. 1-2, pp. 243–248, 1996.
- [22] J. Zhang and C. Q. Lan, Laser-generated Ni and Co nanoparticles in organic media, *Materials Letters*, vol. 62, no. 10-11, pp. 1521–1524, 2008.
- [23] G. Baldi, D. Bonacchi, C. Innocenti, G. Lorenzi, and C. Sangregorio, Cobalt ferrite nanoparticles: the control of the particle size and surface state and their effects on magnetic properties, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 311, no. 1, pp. 10–16, 2007.
- [24] K. V. P. M. Shafi, A. Gedanken, R. Prozorov, and J. Balogh, Sonochemical preparation and size-dependent properties of nanostructured $CoFe_2O_4$ particles, *Chemistry of Materials*, vol. 10, no. 11, pp. 3445–3450, 1998.

- [32] Israf Ud Din, S. Tasleem, A. Naeem, Maizatul S. Shaharun, Ghassan M.J. Al Kaisy, Zinc Ferrite Nanoparticle Synthesis and Characterization; Effects of Annealing Temperature on the Size of nanoparticles, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(4): 154-162, 2013.
- [33] Jalaly, M., M.H. Enayati, F. Karimzadeh, and P. Kameli, Mechano-synthesis of nanostructured magnetic Ni-Zn ferrite, Powder Technology, 193: 150-153, (2009).
- [34] Mahmoud Naseri, Optical and magnetic properties of monophasic cadmium ferrite ($CdFe_2O_4$) nanostructure prepared by thermal treatment method, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 392 (2015) 107–113.
- [35] Mahmoud Goodarz Naseri, Elias B. Saion, Hossein Abasstabar Ahangar, Abdul Halim Shaari. Fabrication, characterization and magnetic properties of copper ferrite nanoparticles prepared by a simple, thermal-treatment method, Materials Research Bulletin 48 (2013) 1439–144.