

مقایسه خواص ساختاری و مغناطیسی نانوذرات فریت نیکل و کبالت و نانوکامپوزیت نیکل کبالت

محمود ناصری*، زکیه آنجفی، مسعود رضوانی جلال

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ملایر، ملایر، همدان

► mahmoud.naseri55@gmail.com

چکیده:

در این تحقیق خواص فیزیکی نانوذرات فریت نیکل و کبالت و نانوکامپوزیت نیکل کبالت که با روش عملیات گرمایی تهیه شده بودند مورد مقایسه قرار گرفته است. خواص ساختاری و مغناطیسی نانو فریت ها به ترتیب بوسیله پراش پرتو ایکس (XRD) و مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی (VSM) مشخصه یابی شدند. نتایج XRD تشکیل فازهای بلوری مکعبی را برای هر سه نانوفریت تأیید نمودند. تصاویر TEM تهیه شده از نانوذرات نشان دادند که اندازه نانوذرات فریت نیکل بین ۷ تا ۴۱ نانومتر، نانوذرات فریت کبالت ۱۴ تا ۳۴ نانومتر و نانوذرات فریت نیکل کبالت ۱۹ تا ۱۴۰ نانومتری باشند. نتایج VSM نشان داد که نانو ذرات هر سه فریت دارای رفتار فرومغناطیسی می باشند.

واژگان کلیدی: روش عملیات گرمایی، فریت، کبالت، نانوذرات مغناطیسی، نیکل.

۱ مقدمه

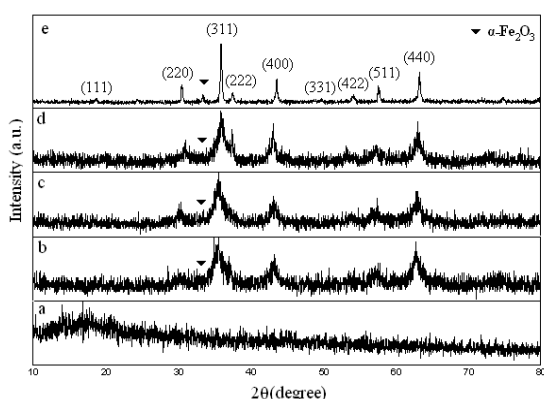
در سال های اخیر نانوذرات اکسید فلزی به دلیل تفاوت در خواص الکتریکی، مغناطیسی و اپتیکی نسبت به حالت توده ای بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. اسپینل ها با فرمول عمومی $A^{2+} B_2^{3+} O_4$ جزء این دسته از نانوذرات می باشند که در مکان A (تتراهدرال) یک فلز دو ظرفیتی و در مکان B (اکتاهدرال) یک فلز سه ظرفیتی قرار می گیرد. در ساختار اسپینل آنیونهای اکسیژن بر اساس آرایش فشرده مکعبی و کاتیونها در حفرات چهاروجهی و هشت وجهی قرار می گیرند [۱]. فریت های اسپینلی با فرمول MFe_2O_4 (M=Co, Ni) مغناطیسی اسپینلی می باشند که دارای خواص بسیار زیادی از جمله مقاومت الکتریکی بسیار بالا، تلفات پسماند ناچیز و تراوایی بالا می باشند که این خواص، آنها را برای کاربردهای گسترده ای نظیر وسایل فرکانس بالا، قطعات میکروویو، قطعات ذخیره و بازیابی

اطلاعات، حسگرها و سیال های مغناطیسی مناسب می سازد [۲]. در سلول واحد شبکه ی اسپینلی ۸ مولکول وجود دارد که با در نظر گرفتن آنکه یک مولکول از ۴ اکسیژن، ۲ آهن سه ظرفیتی و ۱ فلز دو ظرفیتی تشکیل شده است، سلول واحد دارای ۳۲ اکسیژن و ۲۴ یون فلزی می باشد. ساختار اسپینل به دو صورت اسپینل نرمال و اسپینل معکوس می باشد. از میان فریت های اسپینل، فریت نیکل ($NiFe_2O_4$) و فریت کبالت ($CoFe_2O_4$) دارای ساختار اسپینل معکوس می باشند. در این گونه اسپینل ها یون های فلز دو ظرفیتی در مکان های B و یون های فلز سه ظرفیتی به صورت مساوی در مکان های A و B قرار می گیرند. فریت نیکل یک ماده مغناطیسی نرم با نیروی وادارنده مغناطیسی پایین و مغناطش اشباع پایین است که در زمینه زیست دارویی و فروسیال ها و سنسورهای گازی کاربرد دارد. فریت کبالت نیز که یک ماده مغناطیسی سخت با نیروی وادارنده مغناطیسی بالا و مغناطش اشباع متوسط می

پیرولیدون به عنوان ماده ای که از کلوخه شدن ذرات جلوگیری می کند استفاده گردیده است. ابتدا یک محلول آبی شامل ۳ گرم پلی وینیل پیرولیدون در ۱۰۰ میلی لیتر آب دی یونیزه تهیه گردید. پس از گذشت زمان اندک و هم خوردن محلول در دمای محیط، مقدار ۲/ میلی مول نیترات آهن و ۱/ میلی مول از نیترات نیکل یا کبالت (برای تهیه نانوکامپوزیت نیکل کبالت) ۱/ میلی مول از نیترات نیکل و کبالت) اضافه گردید. پس از آن، محلول به مدت ۲ ساعت تحت عملیات گرمایی و چرخشی قرار گرفت. سپس محلول نهایی در دمای ۳۶۳ کلوین به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از آن پودر بدست آمده تحت عمل ساییدن قرار گرفت تا ذرات به هم چسبیده شده جدا شده و در نهایت یک پودر کاملاً یکدست بدست آید. در نهایت پودر حاصل به مدت ۳ ساعت در داخل کوره در دماهای ۸۷۳، ۸۲۳، ۷۷۳، ۷۲۳ کلوین برای کبالت، ۸۲۳، ۷۲۳، ۶۷۳، ۶۲۳ کلوین برای نیکل و ۷۲۳، ۸۲۳، ۹۲۳ کلوین برای نیکل کبالت قرار داده شد.

۳ نتایج و بحث

در شکل ۱ الگوهای پراش پرتو ایکس نانو ذرات فریت نیکل نشان داده شده است.



شکل ۱: الگوی پراش XRD (a) پیش ماده و نمونه های حرارت داده شده نانو ذرات فریت نیکل در دمای (b) ۶۲۳، (c) ۶۷۳، (d) ۷۲۳ و (e) ۸۲۳ کلوین

باشد به دلیل پایداری شیمیایی و فیزیکی بالا به طور گسترده در قطعات ذخیره سازی مغناطیسی به کار برده می شود. خواص مغناطیسی نانوذرات، اندازه و شکل آن ها به روش سنتز نانوذرات وابسته است. تا کنون روش های مختلفی مانند روش سل ژل [۳]، هایدروترمال [۴]، سونوشیمی [۵]، روش ایکروویو [۶] و روش های مکانیکی که هریک منجر به نتایج متفاوت و جالبی می گردد در تهیه نانوذرات مغناطیسی استفاده شده است. در این کار تحقیقاتی ما از روش جدید عملیات گرمایی برای سنتز نانوذرات فریت نیکل و کبالت و نانوکامپوزیت نیکل-کبالت استفاده کرده ایم. مزیت این روش نسبت به روش های قبلی کم هزینه بودن آن، دماهای پخت نه چندان بالا، سرعت بالا و سازگار بودن با محیط زیست می باشد [۷-۱۰].

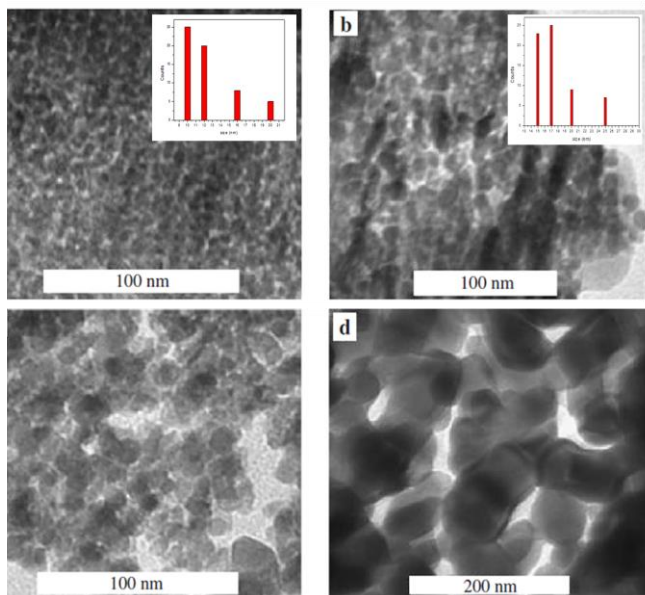
۲ بخش تجربی

مواد و تجهیزات

نیترات های استفاده شده با درصد خلوص بالای ۹۹ درصد از شرکت Sigma Aldrich خریداری و مورد استفاده قرار گرفتند. الگوی پراش نمونه ها توسط دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Shimadzu 6000 با تیوب مس اندازه گیری گردید. اطلاعات مربوط به این آنالیز در زوایای ۱۰ تا ۸۰ درجه (2θ) گرد آوری گردید. تصاویر میکروسکوپی نانوذرات توسط دستگاه JEOL 2010F UHR با ولتاژ ۲۰۰ کیلو ولت تهیه گردید. خواص مغناطیسی نمونه های تهیه شده بوسیله دستگاه مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی مدل Lake Shore 4700 اندازه گیری شد

روش آزمایش

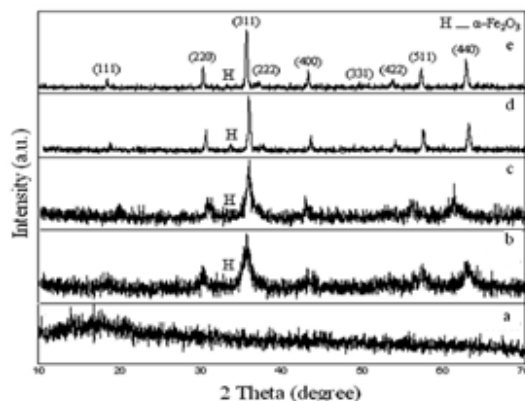
در این پژوهش از نیترات های فلزی شامل نیترات آهن $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ نیترات نیکل $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و نیترات نیکل $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ و نیز آب مقطر و پلی وینیل



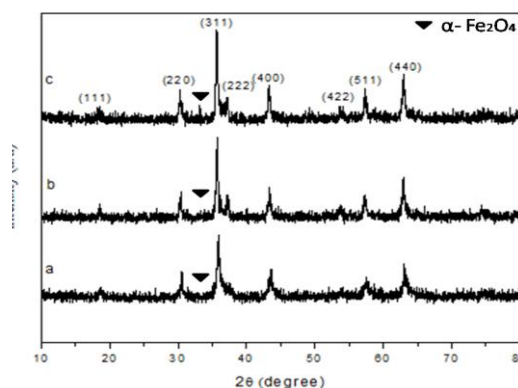
شکل ۴: تصاویر TEM تهیه شده از نانوذرات فریت نیکل به ترتیب در دماهای (a) ۶۲۳ (b) ۶۷۳ (c) ۷۲۳ (d) ۸۲۳ کلوین

فاز ناخالصی $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در تمام نمونه های کلسینه شده مشاهده می شود. حضور این فاز ناخالصی که با افزایش دما افزایش می یابد به دلیل جابجایی یون های Fe^{3+} از مکان B به مکان A می باشد. [۱۱]. شکل ۲ نشان می دهد. با مقایسه الگوهای پراش پرتو ایکس برای نانوذرات فریت کبالت در حالت a که مربوط به پیش ماده قبل از پخت می باشد، فاز بلوری هنوز تشکیل نشده است. دسته صفحات پراش مشاهده شده (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۲۲۲)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۳۳۱)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) می باشد که یک ساختار مکعبی مرکز سطحی (FCC) را نشان می دهد و فاز ناخالصی $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ در تمام نمونه های پخت داده شده وجود دارد. با استفاده از رابطه ی دبای شرر اندازه بلورک ها تقریباً ۸-۲۹ نانومتر می باشد.

شکل ۳ الگوهای پراش پرتو ایکس برای نانوذرات فریت کبالت نشان می دهد. دسته صفحات پراش مشاهده شده (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۲۲۲)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۳۳۱)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) بر وجود یک ساختار مکعبی مرکز سطحی



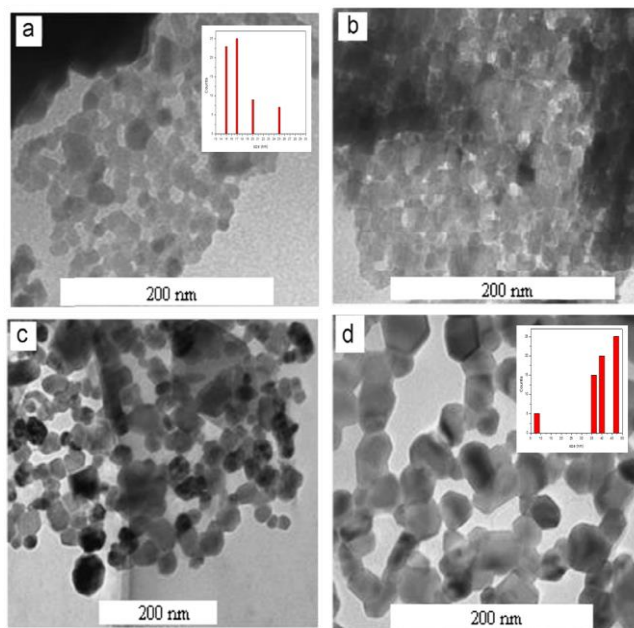
شکل ۲: الگوی پراش XRD (a) پیش ماده و نمونه های حرارت داده شده نانوذرات فریت کبالت در دماهای (b) ۷۲۳ (c) ۷۷۳ (d) ۷۲۳ و (e) ۸۲۳ کلوین



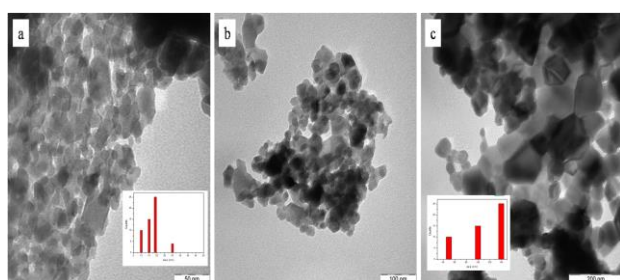
شکل ۳: الگوی پراش XRD نمونه های حرارت داده شده نانوذرات فریت نیکل کبالت در دماهای (a) ۷۲۳ (b) ۸۲۳ (c) ۹۲۳ کلوین

مقایسه الگوهای پراش نشان می دهد در حالت a که مربوط می شود به پیش ماده قبل از پخت، فاز بلوری تشکیل نشده و ماده آمورف می باشد و با افزایش دمای پخت قله ها باریکتر و شدت آن ها بیشتر می شود. از باریکتر شدن و افزایش شدت آنها می توان بزرگتر شدن ذرات را نتیجه گرفت. دسته صفحات پراش مشاهده شده (۱۱۱)، (۲۲۰)، (۲۲۲)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۳۳۱)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) بر وجود یک ساختار مکعبی مرکز سطحی (FCC) دلالت می کند. با استفاده از رابطه ی دبای شرر اندازه بلورک ها ۵-۳۴ نانومتر تخمین زده شد. همچنین

اندازه این ذرات از ۱۴ تا ۳۴ نانومتر تخمین زده می شود که به ترتیب مربوط به دماهای ۷۲۳ و ۸۷۳ کلوین می باشد. شکل ۶ تصاویر TEM تهیه شده از نانوکامپوزیت های سنتز شده در دماهای مختلف را نشان می دهد. اندازه این ذرات از ۱۹ تا ۱۵۰ نانومتر تخمین زده می شود که به ترتیب مربوط به دماهای ۷۲۳ و ۹۲۳ کلوین می باشد. مشاهده می شود که با افزایش دما اندازه نانوکامپوزیت ها افزایش می یابد.



شکل ۵: تصاویر TEM تهیه شده از نانوذرات فریت کبالت به ترتیب در دماهای (a) ۷۲۳، (b) ۷۷۳، (c) ۸۲۳، (d) ۸۷۳ کلوین

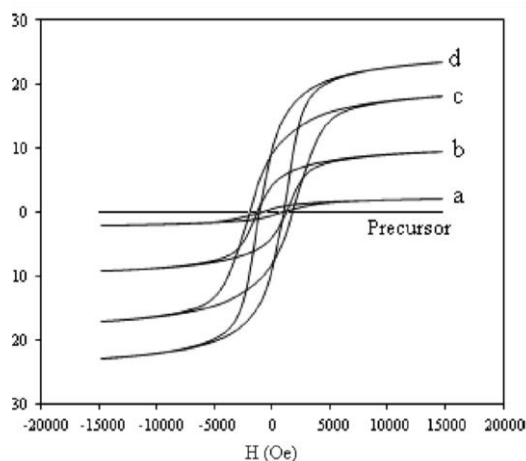


شکل ۶: تصاویر TEM تهیه شده از نانوذرات فریت نیکل - کبالت به ترتیب در دماهای (a) ۷۲۳، (b) ۸۲۳، (c) ۹۲۳ کلوین

شکل ۷ حلقه های مغناطیسی نانو ذرات فریت نیکل را که در دمای اتاق اندازه گیری شده اند نشان می دهد. نتایج نشان می دهند که نمونه ها بعد از حرارت دهی در کوره رفتار فرومغناطیسی از خود نشان داده اند. جدول ۱ مقادیر مغناطش اشباع emu/g ، 0.06 ، 0.3 ، $3.7/21$ ، $0.5/29$ را برای فریت های پخت داده شده به ترتیب در دماهای ۶۲۳، ۷۲۳، ۸۲۳ کلوین نشان می دهد. با توجه به جدول ۱ مشاهده می شود که با افزایش دما مقدار مغناطش اشباع نیز افزایش یافته است و بیشترین مغناطش اشباع emu/g $0.5/29$ مربوط به دمای پخت ۸۲۳ کلوین و کمترین آن مربوط به دمای پخت ۶۲۳ کلوین می باشد. در روش عملیات گرمایی آهنگ حرارت دهی عامل بسیار مهمی در مقدار مغناطش اشباع می باشد [۱۱]. در این کار تحقیقاتی

(FCC) دلالت می کند. در حالت نانوکامپوزیتی نیز فاز ناخالصی- $\alpha-Fe_2O_3$ در تمام نمونه های کلسینه شده مشاهده می شود. با استفاده از رابطه ی دبای شرر اندازه بلورک ها ۱۴-۱۳۰ نانومتر تخمین زده شد.

شکل ۴ تصاویر TEM تهیه شده از نانوذرات فریت نیکل سنتز شده در دماهای مختلف را نشان می دهد. با توجه به تصاویر، اندازه نمونه های تهیه شده به روش عملیات گرمایی کاملاً "یکنواخت می باشند و اندازه ی نانوذرات با افزایش دما افزایش می یابد. اندازه نانوذرات به طور تقریبی از ۷ تا ۴۷ نانومتر به ترتیب مربوط به دماهای ۶۲۳ و ۸۲۳ کلوین می باشد. افزایش اندازه نانوذرات در اثر افزایش دما می تواند به دلیل افزایش انرژی سطحی ذرات باشد. به این صورت که با افزایش انرژی، ذرات ناپایدار شده و در نتیجه برای اینکه انرژی سطحی ذرات کاهش یابد، ذرات تمایل بیشتری برای بهم چسبیدن دارند به همین دلیل اندازه ذرات افزایش می یابد [۱۲-۱۳]. شکل ۵ تصاویر TEM تهیه شده از نانوذرات فریت کبالت سنتز شده در دماهای مختلف را نشان می دهد.



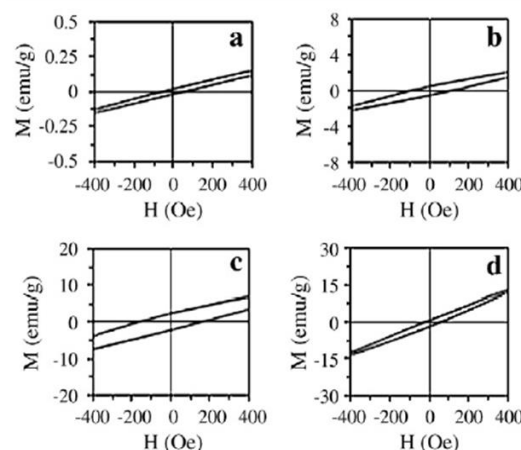
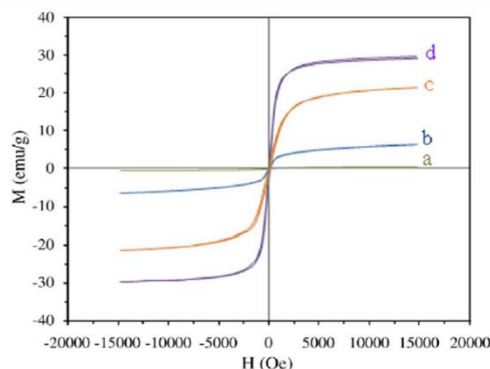
شکل ۸: حلقه های پسماند نانوذرات فریت کبالت (a) ۷۲۳ (b) ۷۷۳ (c) ۸۲۳ (d) ۸۷۳ کلوین

افزایش دما با آهنگ حرارت دهی ۱۰ کلوین در دقیقه صورت گرفته است. به طوری که هرچه میزان آهنگ حرارت دهی کمتر باشد فرآیند کریستالی شدن کامل تر صورت می پذیرد و این خود باعث یکدست شدن ساختار می گردد.

جدول ۱: خواص مغناطیسی نمونه های مختلف نانو ذرات فریت نیکل

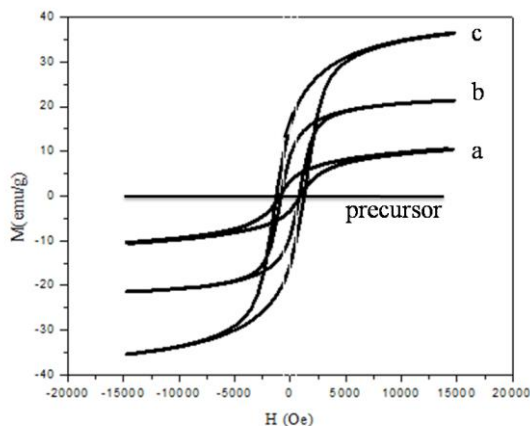
نمونه های فریت نیکل	دمای پخت (K)	اندازه (nm)	مغناطش اشباع (emu/g)	میدان وادارندگی (Oe)
a	۶۲۳	۷	۰/۶	۵۳
b	۶۷۳	۹	۶/۳	۹۸
c	۷۲۳	۱۲	۲۱/۳۷	۱۵۰
d	۸۲۳	۴۷	۲۹/۰۵	۵۱

با توجه به نتایج کاملاً مشهود است که با افزایش اندازه نانوذرات، مغناطش اشباع نیز افزایش یافته است. این افزایش می تواند به دلیل وجود آمدن تغییراتی در سطح نانوذرات باشد. این تغییرات را می توان به کج شدگی های اسپینی در سطح ذرات نسبت داد [۱۲-۱۳]. علاوه بر این تغییرات مغناطش اشباع با اندازه نانوذرات می تواند به دلیل توزیع مجدد کاتیون ها نیز باشد که در این حالت یون های Ni و Fe در مکان های تتراهدرال و اکتاهدرال جابه جا می شوند و این جابجایی باعث می شود که فریت نیکل از اسپینل وارون به اسپینل ترکیبی تغییر ساختار دهد [۱۴]. نتایج نشان می دهند که تغییرات میدان وادارندگی با دما روند منظمی نداشته است و میدان وادارندگی با افزایش اندازه از ۷ تا ۴۷ نانومتر از ۵۳ Oe به ۱۵۰ Oe تغییر کرده است و سپس به ۵۱ Oe کاهش یافته است. این روند تغییرات در میدان وادارندگی را می توان به سایز بحرانی و ناهمسانگردی بلور نسبت داد [۹]. شکل ۸ حلقه های مغناطیسی نانو ذرات فریت کبالت که در دمای اتاق اندازه گیری شده اند را نشان می دهد. بجز پیش ماده تمام نمونه ها دارای خاصیت مغناطیسی می باشند علاوه بر این نتایج در جدول ۲ نشان می دهند زمانی که دمای پخت از ۷۲۳ به ۸۷۳ کلوین افزایش می یابد مغناطش اشباع از ۲/۱۴ emu/g به ۲۳/۴۷ emu/g



شکل ۷: حلقه های پسماند نانوذرات فریت نیکل (a) ۶۲۳ (b) ۶۷۳ (c) ۷۲۳ (d) ۸۲۳ کلوین

فریت نیکل کبالت را که در دمای اتاق اندازه گیری شده اند نشان می دهد.



شکل ۹: حلقه های پسماند نانوذرات فریت نیکل کبالت (a) ۷۲۳ (b) ۹۲۳ (c) ۸۲۳ کلوین

نتایج نشان می دهند که نمونه ها بعد از حرارت دهی در کوره رفتار فریومغناطیس از خود نشان داده اند. جدول ۳ مقادیر مغناطش اشباع emu/g ۱۰/۳۲، ۳۶، ۲۱ را برای فریت های پخت داده شده به ترتیب در دماهای ۷۲۳، ۸۲۳، ۹۲۳ کلوین نشان می دهد.

جدول ۳: خواص مغناطیسی نمونه های مختلف نانو ذرات فریت نیکل-کبالت

نمونه های فریت نیکل کبالت	دمای پخت (K)	اندازه (nm)	مغناطش اشباع (emu/g)	میدان وادارندگی (Oe)
a	۷۲۳	۱۹	۱۰/۳۲	۴۰۷
b	۹۲۳	۲۶	۲۱	۹۵۰
c	۸۲۳	۲۴	۳۶	۱۴۳۱

با توجه به جدول ۳ مشاهده می شود بیشترین مغناطش اشباع emu/g ۳۶ مربوط به دمای پخت ۸۲۳ کلوین و کمترین آن مربوط به دمای پخت ۷۲۳ کلوین می باشد. روند تغییرات میدان وادارندگی نیز مانند مغناطش

افزایش می یابد. در روش عملیات گرمایی افزایش دما می تواند تغییراتی در توزیع کاتیون ها ایجاد نماید به این صورت که تعدادی از یون های Fe^{3+} از جایگاه B به جایگاه A و تعداد مشابه ای از یون های Co^{2+} از جایگاه A به جایگاه B انتقال می یابند. در اثر این تغییرات در نحوه توزیع یون ها بر هم کنش بین یون های $Fe^{3+} - Fe^{3+}$ در دو جایگاه مختلف شبکه افزایش می یابد و این عامل، افزایش مغناطش اشباع را به دنبال دارد [۱۵].

جدول ۲: خواص مغناطیسی نمونه های مختلف نانو ذرات فریت کبالت

نمونه های فریت کبالت	دمای پخت (K)	اندازه (nm)	مغناطش اشباع (emu/g)	میدان وادارندگی (Oe)
a	۷۲۳	۱۴	۲/۱۴	۸۲۳
b	۷۷۳	۱۷	۱۲/۸۶	۱۲۲۵
c	۸۲۳	۲۹	۱۸/۰۲	۱۷۹۱
d	۸۷۳	۳۴	۲۳/۴۷	۱۱۶۳

مقادیر درج شده در جدول ۲ نشان می دهد که با افزایش اندازه نانوذرات مغناطش اشباع نیز افزایش یافته است که همانطور که در بحث قبل اشاره شد این افزایش را می توان به تاثیرات انرژی سطحی ذرات نسبت داد. نتایج نشان می دهند که با افزایش اندازه نانوذرات از ۱۴ به ۲۹ نانومتر میدان وادارندگی از $823 Oe$ به $1791 Oe$ افزایش می یابد و سپس به $1163 Oe$ برای 34 نانومتر کاهش می یابد. در حالت ایده آل فریت کبالت ساختار اسپینل معکوس دارد بطوریکه یون های Co^{2+} در مکان های B و یون های Fe^{2+} در مکان های A قرار گرفته اند [۱۶]. با افزایش دما فریت کبالت از اسپینل معکوس به اسپینل ترکیبی تغییر ساختار می دهد در نتیجه با افزایش دما ممکن است یون های Co^{2+} به مکان های A تغییر مکان دهند و این می تواند باعث کاهش ناهمسانگردی شود. در مورد فریت کبالت نیز می توان این روند تغییرات در میدان وادارندگی را به اندازه بحرانی و ناهمسانگردی بلور در این نانو فریت نسبت داد [۷]. شکل ۹ حلقه های مغناطیسی نانو ذرات

مراجع

[1] A. Goldman, *Modern Ferrite Technology*, Springer, 2006.

[2] M. Naseri, M. Halimah, A. Dehzangi, A. Kamalianfar, E. Saion, B. 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, 315–327, 2014.

[3] D. Chen, X. He, "Synthesis of nickel ferrite nanoparticles by sol-gel method", *Materials Research Bulletin*, 36, 1369–1377, 2001.

[4] 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.

[5] 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.

[6] V. Sankaranarayana, C. Sreekumar, "Precursor synthesis and microwave processing of nickel ferrite nanoparticles", *Current Applied Physics - Journal*, 3, 205–208, 2003.

[7] 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.

[8] M. Naseri, H. Kamari, A. Dehzangi, A. Kamalianfar, E. Saion, "Fabrication of an oval 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.

اشباع بوده است و در دمای ۸۲۳ کلون مقدار مغناطش اشباع و میدان وادارندگی افزایش قابل توجهی داشته و سپس در دمای ۹۲۳ کلون به ۲۱ emu/g و ۹۵۰ Oe کاهش یافته است. با مقایسه مغناطش اشباع برای سه نانوفريت سنتز شده می توان دید مقدار مغناطش اشباع برای نانوکامپوزیت های نیکل فريت در دمای ۸۲۳ کلون از نانوذرات فريت نیکل و کبالت بیشتر می باشد [۱۷]. اندازه نانوکامپوزیت ها در مقایسه با دو نانوفريت تغییر قابل ملاحظه ای نداشته است و این نکته می تواند تاییدی بر روش عملیات گرمایی و دماهای به کار برده در آن باشد. در نتیجه می توان گفت دمای ۸۲۳ کلون یک دمای بهینه در سنتز نانوکامپوزیت های نیکل کبالت بوده است.

۴ نتیجه گیری

در این پژوهش نانوذرات فريت نیکل و کبالت و نانوکامپوزیت نیکل کبالت با روش عملیات گرمایی سنتز شدند. نتایج XRD شکل گیری فاز اسپینلی مکعبی را برای هر سه فريت کبالت و نیکل و نانوکامپوزیت ها تایید کرد. تصاویر TEM نشان دادند که با افزایش دما اندازه ذرات افزایش می یابد. خصوصیات مغناطیسی نمونه ها نیز نشان دادند که نانوذرات فريت نیکل و کبالت و نانوترکیبات تولید شده به روش عملیات گرمایی رفتار فرومغناطیسی از خود نشان دادند. همچنین افزایش دما بر روی جهت گیری اسپین ها تاثیر گذاشته و باعث افزایش مغناطش اشباع می شود. البته در مورد نانو فريت نیکل کبالت یک بهینه دما وجود دارد که مقادیر مغناطش اشباع و میدان وادارندگی بیشینه بوده است. در مورد هر دو فريت سنتز شده می توان گفت روند تغییرات میدان وادارندگی با افزایش دما اندازه ذرات بر خلاف مغناطش اشباع منظم نبوده است. به دلیل وجود اندازه بحرانی و ناهمسانگردی بلور میدان وادارندگی با افزایش دما افزایش یافته و سپس کاهش می یابد.

the presence of octanoic acid as a surfactant”, *Polyhedron*, 28, 1455–1458, 2009.

[14] S. Modak, M. Ammar, F. Mazaleyrat, S. Das, P. Chakrabarti, “HRTEM and magnetic properties of mixed spinel nanocrystalline Ni–Zn–Cu–ferrite”, *Journal of Alloys and Compounds*, 473, 15–19, 2009.

[15] M. Naseri, H. Ahangar, M.H.A, E. Saion, A. Shaari, “Superparamagnetic magnesium ferrite nanoparticles fabricated by a simple, thermal-treatment method”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 350, 141–147, 2014.

[16] A. Franco Jr, F. Silva, “High temperature magnetic properties of cobalt ferrite nanoparticles”, *Applied Physics Letters*, 96, 172505–172508, 2010.

[17] م.ناصری، ا. نادری، ا. سایون، مروری بر نانوذرات
سنتز شده به روش عملیات گرمایی، نشریه نانو مقیاس
، شماره اول، بهار ۱۳۹۵

[9] 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.

[10] 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.

[11] M. Naseri, E. Saion, H. Ahangar, M. Hashim, A. Shaari, “Synthesis and characterization of manganese ferrite nanoparticles by thermal treatment method” *Journal of Magnetism and magnetic Materials*, 323, 1745–1749, 2011.

[12] P. Deb, A. Basumallick, S. Das, “Controlled synthesis of monodispersed superparamagnetic nickel ferrite nanoparticles”, *Solid State Communications*, 142, 702–705, 2007.

[13] M. Niasari, F. Davar, T. Mahmoudi, “simple route to synthesize nanocrystalline nickel ferrite (NiFe_2O_4) in