

بررسی اثر ریخت نانوذرات بر ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی نانوذرات فریت کبالت

سیده عصمت میرسالاری^۱، مرتضی زرگر شوستری^{۱*}، ناهید پوررضا^۲

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱/۲۹)

چکیده: در این پژوهش، ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و ریخت‌شناسی نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت با استفاده از پراش سنج پرتوی ایکس، مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی، میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری و روبشی گسیل میدانی، طیف‌سنج پراکندگی انرژی پرتوی ایکس و جذب - واحد نیتروزن بررسی و مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که هر دو نمونه بدون فازهای ناخالصی و دارای ساختار اسپینلی مکعبی با گروه فضایی $Fd\text{-}3m$ و توزیع اندازه‌ی ذرات یکنواخت هستند. نمونه‌ی نانوذرات فریت کبالت با اندازه‌ی متوسط ۳۰ نانومتر و مساحت سطح ویژه ۵۹,۸۶ متر مربع بر گرم و نمونه‌ی دیگر به صورت نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت با اندازه‌ی متوسط ۱۱۳ نانومتر و مساحت سطح ویژه ۷۷,۵۱ متر مربع بر گرم هستند. اندازه‌ی متوسط بلورک‌های نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت ساخته شده، به ترتیب ۱۵ nm و ۱۰ nm بودند. بررسی‌های انجام شده نشان دادند که با کاهش اندازه بلورک‌ها، مغناطش اشباعی افزایش و میدان وادارندگی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: فریت کبالت؛ CoFe_2O_4 ؛ نانوکره‌ی متخلخل؛ نانوذره؛ جذب - واحد نیتروزن؛ BET

فریت اسپینلی با فرمول عمومی $M\text{Fe}_2\text{O}_4$ هستند که در آن M یون‌های فلزی دوظرفیتی چون Co^{2+} ، Mn^{2+} ، Zn^{2+} ، Mg^{2+} ، Cu^{2+} ، Ni^{2+} ، Fe^{2+} مکعبی تنگ‌پکیده‌ای از یون‌های اکسیژن بوده که کوچکترین یاخته تکرار شونده آن از ۳۲ یون اکسیژن تشکیل شده است. یون‌های M^{2+} و Fe^{3+} جایگاه‌های شبکه بلوری متفاوتی را اشغال می‌کنند. برخی از این جایگاه‌ها با ۴ همسایه نزدیک از یون‌های اکسیژن یک چاروچهی (جایگاه A) را تشکیل می‌دهند. برخی دیگر از این جایگاه‌ها با ۶ همسایه نزدیک از یون‌های اکسیژن تشکیل یک هشت وجهی (جایگاه B) می‌دهند. در واقع ساختار اسپینلی دارای دو جایگاه کاتیونی برای اشغال با کاتیون‌های فلزی است. در این ساختار، هشت جایگاه A و شانزده جایگاه B وجود دارند [۸]. مواد $\text{M}\text{Fe}_2\text{O}_4$ اغلب با محیط زیست سازگار هستند و به دلیل کاربردهای ممکن در

مقدمه

در مقایسه با مواد مغناطیسی حجیم، مواد مغناطیسی نانومقیاس به دلیل داشتن ویژگی‌های جدید و طیف کاربردی گستردۀ، مورد توجه پژوهشگران بسیاری قرار گرفته‌اند. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ویژگی‌های نانومواد به‌طور عملده به اندازه، ریخت، نوع ترکیب و ویژگی‌های سطحی ذرات بستگی دارند [۱]. توانایی کنترل ویژگی‌های مغناطیسی چون میدان وادارندگی (H_c)، مغناطش اشباع (M_s) و مغناطش مانده (M_r) با تنظیم اندازه، شکل و ترکیب، نه تنها برای درک اساسی پدیده مغناطیس بلکه همچنین برای کاربردهای مختلف نانومواد مغناطیسی چون ضبط نوار مغناطیسی [۲]، دستگاه‌های مغناطیس نوری [۳]، تصویربرداری تشید مغناطیسی [۴]، جذب ریزموجها [۵]، حسگرها [۶] و کاربردهای پژوهشی [۷] مهم است. گروه مهمی از نانومواد مغناطیسی، نانو بلورهای

**ویسنده مسئول: ۰۹۱۶۳۱۰۸۷۷، پست الکترونیکی: zargar@scu.ac.ir

گرمابی و حلال گرمایی ساخته شدند. این روش‌ها، آسان، مقرنون به صرفه با رویکرد مطمئنی برای تولید ریخت‌های کنترل شده با توزیع همگن نانوذرات هستند. با این پژوهش مشخص شده است که شکل و ریخت ذرات می‌تواند بر ویژگی‌های مغناطیسی و ساختاری نانوذرات CoFe_2O_4 اثر بگذارد.

روش آزمایش

در این پژوهش، نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت به ترتیب به روش گرمابی و حلال گرمایی ساخته شدند که در ادامه روش ساخت آن‌ها توضیح داده شده است. برای ساخت این ذرات از نیترات آهن، $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. نیترات کبالت، این ذرات از $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. سدیم هیدروکسید، NaOH . کلرید آهن، $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. کلرید کبالت $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. اتیلن گلیکول، $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$. $\text{H}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{OH}$. پلی اتیلن گلیکول، $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ مواد اولیه با درجه خلوص بالا استفاده شد.

تهیه نانو ذرات فریت کبالت

برای ساخت نانو ذرات فریت کبالت (CFO)، نخست ۳/۶ میلی مول نیترات آهن به ۷۰ میلی لیتر آب یون‌زدایی شده اضافه و روی همزن مغناطیسی همزده شد. پس از ۵ دقیقه، ۱/۸ میلی مول نیترات کبالت به محلول اضافه گردید و به مدت ۲۰ دقیقه دیگر همزده شد. سپس محلول ۶ مولار هیدروکسید سدیم به آرامی به محلول بالا اضافه شد تا pH محلول برابر با ۱۲ شود. محلول به دست آمده به تقلون ۱۰۰ میلی لیتر منتقل گردید و سپس در اتوکلاو قرار گرفت و به مدت ۱۲ ساعت در دمای 160°C گرمادهی شد.

تهیه نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت

برای ساخت نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت، ۲/۵ میلی مول کلرید کبالت و ۵ میلی مول کلرید آهن در ظرف دربردارنده ۴۰/۰ میلی لیتر اتیلن گلیکول ریخته و روی همزن مغناطیسی - هم زده شدند. طی هم زدن محلول، ۳/۶ گرم تری هیدرات استات سدیم و ۲ گرم پلی اتیلن گلیکول اضافه شد. محلول به دست آمده در دمای ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای ۳۰ دقیقه هم زده شد تا یک محلول همگن تشکیل شود. سپس محلول به ظرف تقلون اتوکلاو با ظرفیت ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شد و در دمای ۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۱۶ ساعت گرمادهی شد.

زمینه‌های مختلف از جمله آهرباهای دائمی، رسانه‌های ضبط با چگالی بالا، داروسانی هدفمند و حسگرهای زیستی در سال-های اخیر به طور گسترده بررسی شده‌اند [۹، ۱۰]. ویژگی‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی نانو ساختارهای فریت اسپینلی به عوامل مختلفی چون ترکیب شیمیایی، شکل و اندازه، روش ساخت، دمای بازپخت، چگونگی توزیع کاتیون‌ها در جایگاه‌های چاروچهی و هشت‌وجهی بسیار حساس هستند [۱۱]. در میان فریت‌های اسپینلی، فریت کبالت (CoFe_2O_4) به دلیل داشتن ویژگی‌های فیزیکی قابل توجه چون مغناطش اشباع متوسط، میدان و ادارنده‌ی بالا، ناهمسانگردی مغناطیسی بلوری و همچنین پایداری شیمیایی و سختی مکانیکی بالا، بسیار جالب توجه بوده و پژوهش‌های بسیاری در زمینه روش‌های ساخت و بررسی ویژگی‌ها و کاربردهای آن صورت گرفته است [۱۱-۱۴]. با این حال، تاکنون بررسی‌های کمی پیرامون بررسی مقایسه‌ای اثر ریخت بر ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی فریت کبالت انجام شده است. در سال ۲۰۱۵ لو^۱ و همکاران، نانو ذرات فریت کبالت را به روش تجزیه گرمایی^۲ و در سه ریخت متفاوت کبوفی، مکعبی و شبه ستاره ساخته و سپس ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی آن‌ها را بررسی و مقایسه کردند [۱۵]. یونگدرا کومار^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۷ نانوذرات فریت کبالت را با سه شکل کبوفی، مکعبی و شش‌گوشی به روش بر پایه محلول و با تنظیم زمان واکنش و مقدار حلال ساخته و پس از بررسی و مقایسه ویژگی‌های ساختاری آن‌ها، کاربردشان به عنوان حسگر رطوبت را بررسی کردند [۱۶]. در سال ۲۰۲۰ دیمپال تومار^۴ و همکاران، نانوذرات فریت کبالت را به روش تجزیه گرمایی و با استفاده از اتیلن گلیکول ساختند. آن‌ها با تغییر دمای ساخت و همچنین تغییر مقدار اتیلن گلیکول مورد استفاده، نانوذرات فریت کبالت را با سه ریخت متفاوت نانومیله، شش ضلعی و هشت وجهی ساخته و سپس ویژگی‌های مغناطیسی آن‌ها را بررسی و مقایسه کردند [۱۲]. با وجود پژوهش‌های انجام شده، تاکنون بررسی مقایسه‌ای در مورد ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت انجام نشده است. در این پژوهش، نانو ذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت به ترتیب به روش

1- Lu

2- thermal decomposition

3- Yogendra Kumar

4 Dimpal Tomar

و تشکیل و خلوص فاز فریت کبالت تأیید گردید. براساس الگوهای پراش نمونه‌ها، میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها با استفاده از رابطه‌ی شر محسوبه شد.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

در این رابطه، D اندازه‌ی متوسط بلورک‌ها، λ طول موج پرتوی X ، K ثابت رابطه شر، β پهنه‌ای قله در نصف ارتفاع بیشینه بر حسب رادیان و θ زاویه پراش است. میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها برای نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت به ترتیب ۱۵ و ۱۰ نانومتر به دست آمد.

به منظور بررسی شکل و ریخت نمونه‌های ساخته شده، از میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری و روبشی گسیل میدانی استفاده شد (شکل‌های ۲ و ۳). چنان‌که در شکل ۲ دیده می‌شود، در هر دو نمونه اندازه‌ی ذرات تقریباً دارای توزیع یکنواخت است. در شکل ۲ الف، شکل کروی ذرات و وجود تخلخل در آنها نمایان است؛ همچنین می‌توان توزیع ریزکردها روی سطح نانوکره‌های متخلخل را نیز دید. در شکل ۲ ب، ذرات تقریباً شکل کروی دارند و اندازه‌ی آن‌ها کوچکتر از نانوکره‌های متخلخل شکل ۲ الف است. در شکل ۴، نمودارهای توزیع اندازه ذرات نمونه‌های ساخته شده آورده شده است. میانگین اندازه‌ی ذرات با نرمافزار دیجی‌مایزر بر تصاویر FESEM شکل ۲ اندازه‌گیری شد. میانگین اندازه نانوکره‌های متخلخل و نانوذرات فریت کبالت به ترتیب ۱۱۳ و ۳۰ نانومتر است.

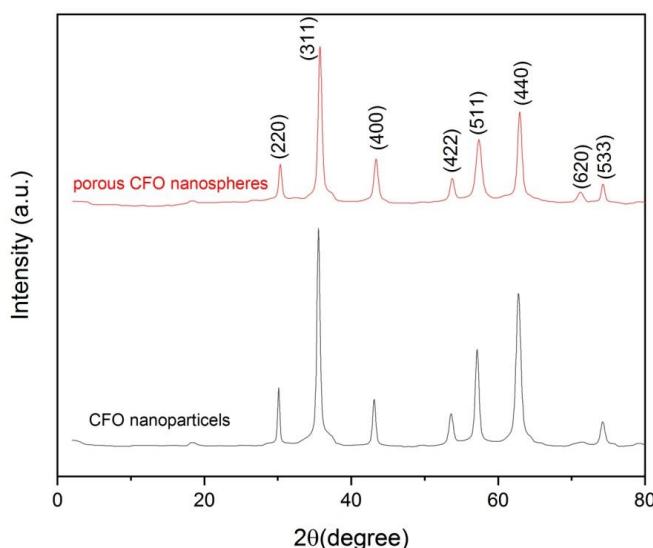
در هر دو مورد تهیه نانو ذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت، پس از پایان فرآیند به اتوکلاو فرست داده شد به آرامی به دمای اتاق برسد. سپس رسوب سیاه رنگ بدست آمده، پس از چند بار شستشو با آب یون‌زدایی شده و اتانول، در دمای ۸۰ °C خشک گردید.

روش‌های مشخصه یابی

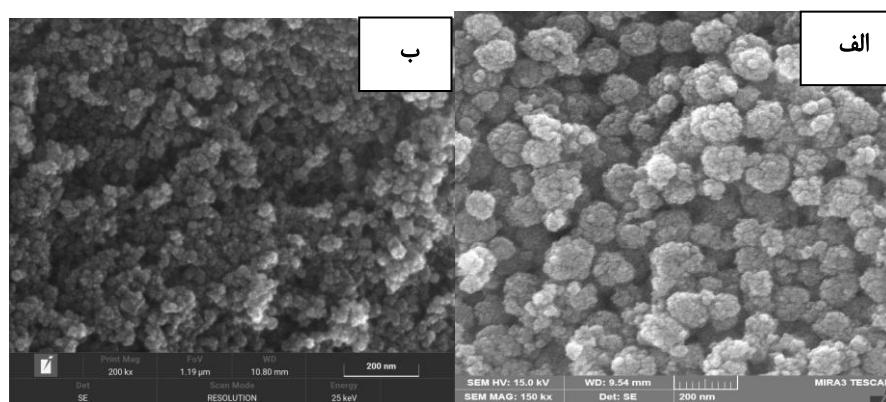
ساختار بلوری، ریخت‌شناسی، مساحت سطح ویژه و ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌های تهیه شده، به روش‌های پراش‌سنجد پرتوی ایکس (XRD)، تصویربرداری با میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری (TEM) و روبشی گسیل میدانی (FESEM)، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (EDX)، جذب - واجدب نیتروژن و مغناطیس سنجی نمونه ارتعاشی (VSM) بررسی شدند.

نتایج و بحث

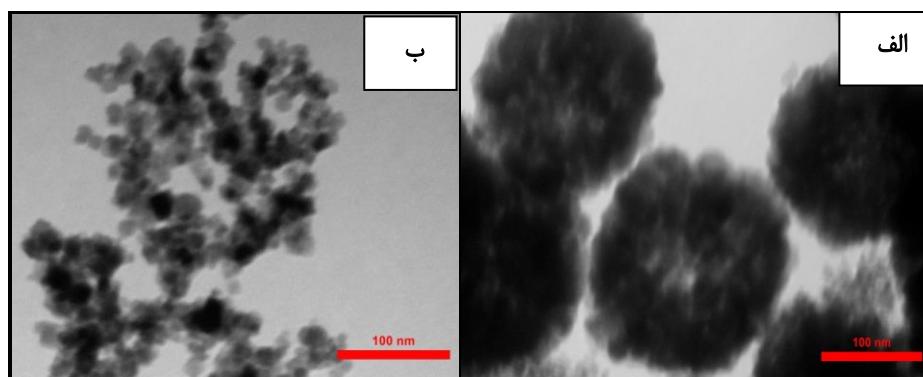
ویژگی‌های ساختاری و ریخت نمونه‌ها
ساختار بلوری و خلوص فاز نمونه‌ها با استفاده از تحلیل طیف‌های پراش پرتوی ایکس بررسی شد که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. برای هر دو نمونه، قله‌های اصلی در پراش از صفحه‌های (۲۰۰)، (۳۱۱)، (۴۰۰)، (۴۲۲)، (۵۱۱)، (۴۴۰) و (۶۰۰) ایجاد شده‌اند. الگوی پراش هر دو نمونه به خوبی با کارت استاندارد فریت کبالت (JCPDS NO.00-022-1086) دارای ساختار اسپینلی مکعبی با گروه فضایی $Fd\text{-}3m$ همخوانی دارد. در الگوهای پراش به دست آمده، شدیدترین قله مربوط به پراش از صفحه‌ی (۳۱۱) است، قله‌های مربوط به ناخالصی دیده نشد.



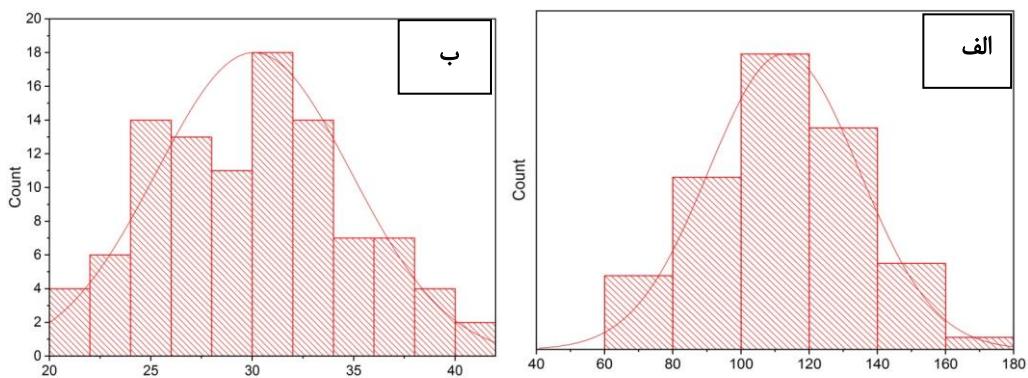
شکل ۱ مقایسه الگوهای پراش پرتوی ایکس نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت.



شکل ۲ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی از (الف) نانوکرهای متخلخل و (ب) نانوذرات فریت کبات.



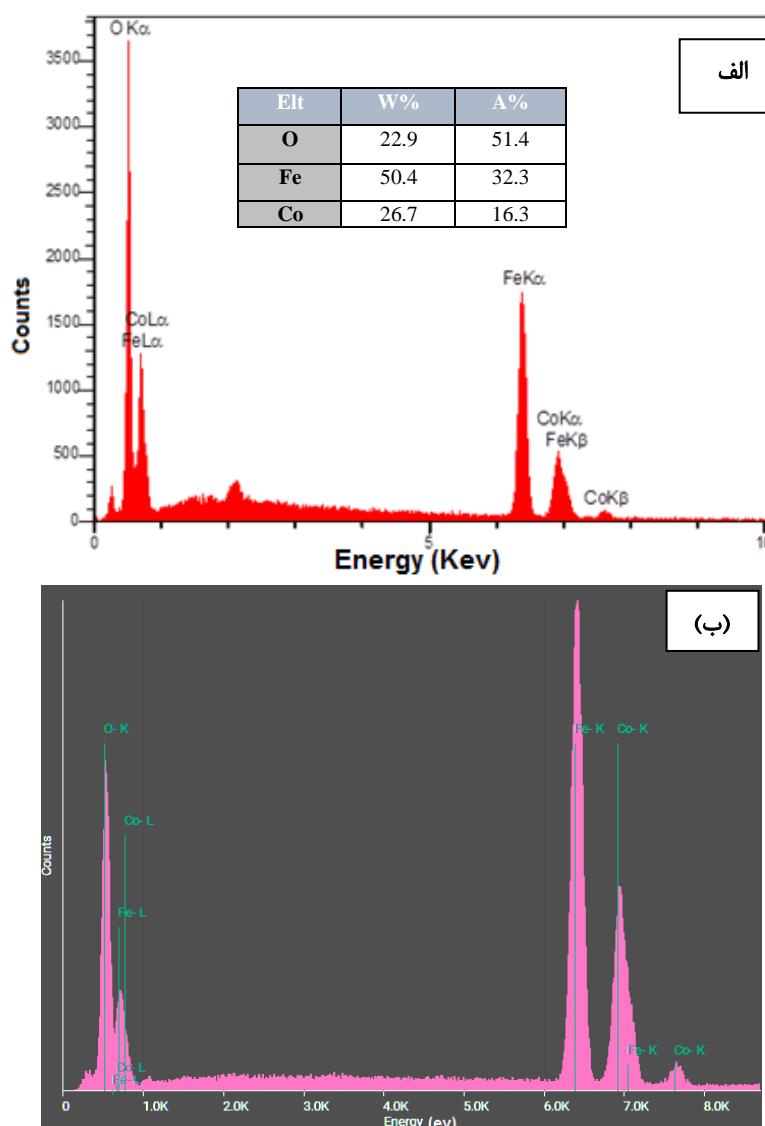
شکل ۳ تصویرهای میکروسکوپ الکترونی عبوری از (الف) نانوکرهای متخلخل و (ب) نانوذرات فریت کبات.



شکل ۴ نمودار توزیع اندازه ذرات (الف) نانوکرهای متخلخل و (ب) نانوذرات فریت کبات.

دارند که این امر بدليل ویژگی مغناطیسی فریت کبات است. از آنجا که وجود ناخالصی در نانوساختارها بر ویژگی‌های آن‌ها اثر می‌گذارد، برای اطلاع دقیق‌تر از عناصر موجود در نمونه‌ها، طیف‌سنجی EDX انجام شد. چنان که در شکل ۵ دیده می‌شود، در هر دو طیف فقط عناصر O, Co, Fe, O حضور دارند و می‌توان گفت که هر دو نمونه بدون ناخالصی در حد آشکارسازی دستگاه هستند.

شکل ۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نمونه‌های ساخته شده را نشان می‌دهد. در شکل ۳ الف تشکیل نانوکرهای متخلخل تأیید شده و همچنین با مقایسه میزان عبور نور از بخش‌های مختلف هر نانوکره، ماهیت متخلخل نانوکرهها را می‌توان به راحتی تشخیص داد. در شکل ۳ ب نیز دیده می‌شود که نانوذرات دارای شکل تقریباً کروی و توپر هستند. همچنین در هر دو تصویر، ذرات به صورت خوش‌های در کنار هم انباشت



شکل ۵ طیف‌های EDX و نتایج آنها برای (الف) نانوکره‌های متخلخل و (ب) نانوذرات فریت کبات.

مغناطیش اشباع نانوذرات فریت روی را بررسی کرده و دریافتند که وقتی اندازه‌ی بلورک‌های فریت روی کمتر از 20 nm است، با کاهش اندازه بلورک‌ها مغناطیش اشباع افزایش می‌یابد [۱۷]. همچنین آن‌ها در بررسی دیگری دریافتند که اندازه تک حوزه مغناطیسی فریت کبات حدود 40 nm است و وقتی اندازه بلورک‌های فریت کبات کمتر از اندازه تک حوزه باشد، با کاهش اندازه بلورک‌ها میدان وادارندگی فریت کبات نیز کاهش می‌یابد [۱۸]. در این پژوهش، برای نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبات به ترتیب اندازه‌ی بلورک‌ها 15 nm ، 10 nm ، مغناطیش اشباع $49/7$ و $\frac{56}{3}\text{ emu/g}$ و میدان وادارندگی 800 Oe و 350 Oe بدست آمد. چنان که دیده می‌شود، برای هر دو نمونه اندازه بلورک‌ها کمتر از اندازه تک حوزه

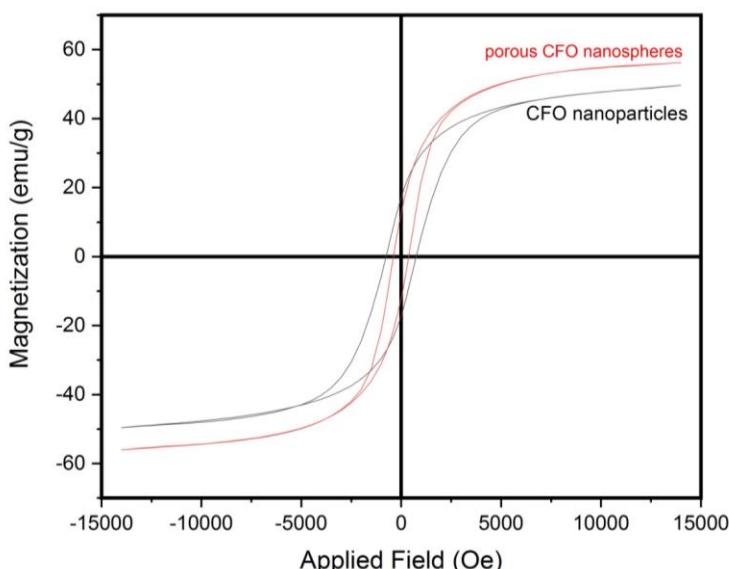
ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها

رفتار مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از مغناطیس سنج نمونه ارتعاشی در دمای اتاق بررسی شد. نمودارها و نتایج این بررسی در شکل ۶ و جدول ۲ آورده شده است. تفاوت مغناطیش اشباع نمونه‌های فریت کبات ساخته شده ناشی از اختلاف مغناطیش جایگاه‌های چاروجهی و هشت وجهی است. به‌نظر می‌رسد که نوع مواد اولیه در مرحله ساخت و روش ساخت بر اندازه و چگونگی توزیع کاتیون‌ها در جایگاه‌های چار و هشتوجهی اثر دارد. تغییر توزیع کاتیون‌ها در این جایگاه‌ها باعث تغییر مغناطیش اشباع و میدان وادارندگی نمونه‌ها می‌شود [۱۶]. البته مغناطیش اشباع و میدان وادارندگی نمونه‌ها می‌شود [۱۶]. نیز مغناطیش اشباع و میدان وادارندگی نمونه‌ها به اندازه‌ی بلورک‌های ذرات چیناسامی و همکاران اثر اندازه‌ی بلورک‌ها بر

نانوذرات و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت به ترتیب مساحت سطح ویژه ۵۹,۸۶ و ۷۷,۵۱ مترمربع برگرم، حجم متوسط حفره‌ها ۱۳,۷۵ و ۱۷,۸۱ سانتی‌متر مکعب برگرم و متوسط قطر حفره‌ها ۱۵,۹۲ و ۱۷,۷۵ نانومتر به دست آمد. چنان‌که از بررسی‌های پیشین انتظار می‌رفت، نانوکره‌های متخلخل به دلیل داشتن حفره‌ها و منافذ بزرگتر، دارای سطح ویژه بیشتری نسبت به نانوذرات فریت کبالت هستند و این آزمایش تأیید دیگری بر وجود تخلخل در نمونه نانوکره‌های فریت کبالت است. در ساخت نانو ذرات فریت کبالت به روش گرمابی و نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت به روش حلal گرمایی، میزان گرمادهی و مدت زمان واکنش اختلاف کمی با هم دارند. تفاوت اصلی این دو روش ساخت، نوع حلal و مواد اولیه‌ی آن‌هاست. از این رو، می‌توان گفت که علت تفاوت در مساحت سطح ویژه‌ی این دو نمونه، به طور عمده، تفاوت در نوع حلal و مواد اولیه آن‌هاست.

مغناطیسی فریت کبالت (۴۰ nm) بوده و با کاهش اندازه بلورک‌ها از ۱۵ به ۱۰ nm، مغناطش اشباع از ۴۹,۷ به ۳۵,۰ emu/g افزایش و میدان واحدندگی از ۸۰۰ به ۳۵۰ Oe کاهش یافته است. به بیان دیگر، می‌توان گفت که وقتی اندازه‌ی بلورک‌های فریت کبالت کمتر از اندازه تک حوزه مغناطیسی خود باشد، با کاهش اندازه بلورک‌ها، مغناطش اشباع افزایش و میدان واحدندگی کاهش می‌باشد. نتایج به دست آمده با بررسی نتایج پژوهشگران دیگر در مورد اثر اندازه‌ی بلورک‌های فریت-های اسپینلی بر مغناطش اشباع و میدان واحدندگی همخوانی دارد [۱۷, ۱۸]. علت این امر می‌تواند تفاوت در مواد اولیه، روش ساخت و چگونگی توزیع کاتیون‌ها در جایگاه‌های چاوجه‌ی و هشت وجهی باشد.

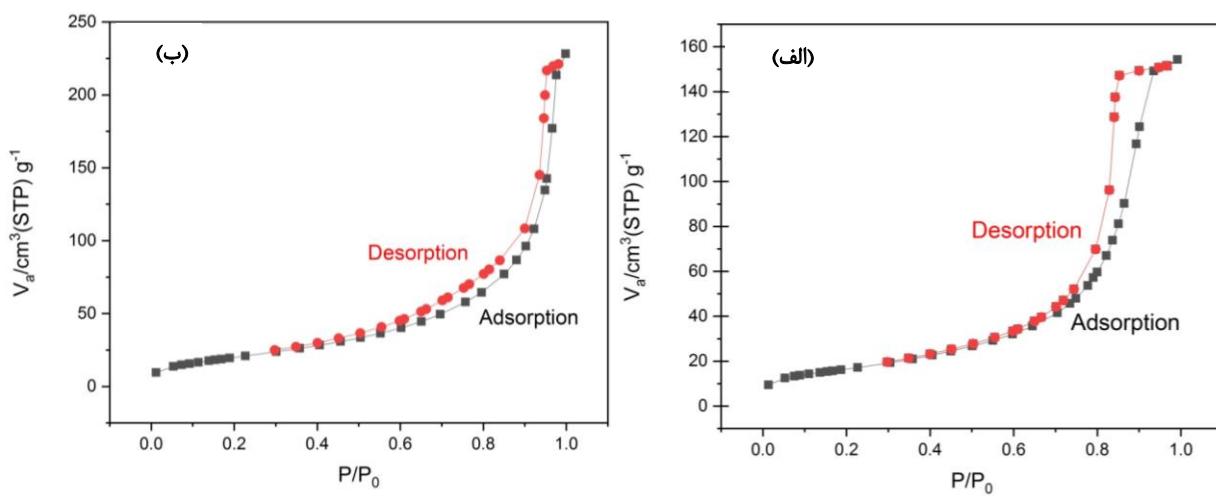
جذب-واجذب گاز نیتروژن توسط نمونه‌ها
برای بررسی مساحت سطح ویژه و میزان تخلخل نمونه‌های ساخته شده، همدهماهی جذب- و اجذب گاز نیتروژن اندازه گیری شد (شکل ۷). با تحلیل برانور-امت-تلر (BET) برای



شکل ۶ نمودار VSM نانوکره‌های متخلخل و نانو ذرات فریت کبالت.

جدول ۲ نتایج حاصل از آنالیز VSM انجام شده بر روی نمونه‌های فریت کبالت.

نمونه ساخته شده	اندازه بلورک‌ها (nm)	مغناطش اشباع ($\frac{\text{emu}}{\text{g}}$)	میدان واحدندگی (Oe)
نانوکره‌های متخلخل فریت کبالت	۱۰	۵۶,۳	۳۵۰
نانوذرات فریت کبالت	۱۵	۴۹,۷	۸۰۰



شکل ۷ نمودارهای آنالیز BET (الف) نانوکرهای متخلخل (ب) نانوذرات فریت کبات.

به دلیل داشتن سطح ویژه بیشتر نسبت به نانوذرات فریت کبات، کاربرد بیشتری داشته باشد.

قدرتانی

نویسنده‌گان از دانشگاه شهید چمران اهواز برای حمایت از این پژوهش با پژوهانه به شماره SCU.SP1400.559 می‌کنند.

مراجع

- [1] Noh S.J., Na W., Jang J.T., Lee J.H., Lee E.J., Moon S.H., Lim Y., Shin J.S., Cheon J., "Nanoscale magnetism control via surface and exchange anisotropy for optimized ferrimagnetic hysteresis", *Nano Letters* 12(7) (2012) 3716-3721.
- [2] Tokoro H., Namai A., Ohkoshi S.i., "Advances in magnetic films of epsilon-iron oxide toward next-generation high-density recording media", *Dalton Transactions* 50(2) (2021) 452-459.
- [3] Rao C.N., Dua P., Kuchhal P., Lu Y., Kale S., Cao P., "Enhanced sensitivity of magneto-optical sensor using defect induced perovskite metal oxide nanomaterial", *Journal of Alloys and Compounds* 797 (2019) 896-901.
- [4] Estelrich J., Sánchez-Martín M.J., Busquets M.A., "Nanoparticles in magnetic resonance imaging: from simple to dual contrast agents", *International journal of nanomedicine* 10 (2015) 1727.
- [5] Dalal M., Das A., Das D., Ningthoujam R.S., Chakrabarti P.K., "Studies of magnetic, Mössbauer spectroscopy, microwave absorption and hyperthermia behavior of Ni-Zn-Co-ferrite nanoparticles encapsulated in multi-walled carbon

برداشت

در این پژوهش، نانوذرات و نانوکرهای متخلخل فریت کبات با موفقیت ساخته شدند. بررسی الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌های ساخته شده، تشکیل ساختار مکعبی اسپینلی فریت کبات برای هر دو نمونه را تأیید کرد. با استفاده از رابطه‌ی شرر میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها برای نانو ذرات فریت کبات ۱۵ nm و برای نانوکرهای متخلخل فریت کبات ۱۰ nm بدست آمد. تصویرهای به دست آمده از میکروسکوپ‌های الکترونی عبوری و روبشی گسیل میدانی نشان دادند که در هر دو نمونه، اندازه‌ی ذرات دارای توزیع یکنواخت است و همچنین نانو ذرات متخلخل، با شکل کروی و تخلخل هستند. نتایج طیفهای EDX تأیید کردند که هر دو نمونه بدون ناخالصی هستند. نمودارهای به دست آمده از مغناطیسی‌سنج نمونه ارتعاشی نشان داد که هر دو نمونه دارای ویژگی مغناطیسی هستند. نانوذرات و نانوکرهای متخلخل فریت کبات به ترتیب دارای مغناطش اشباع ۴۹۷ و 56^3 emu/g و میدان واحدندگی ۱۰۰ Oe هستند. نتیجه گرفته شد که در فریت کبات، با کاهش اندازه‌ی بلورک‌ها، مغناطش اشباع افزایش و میدان واحدندگی کاهش می‌یابد. مساحت سطح ویژه‌ی نانوذرات و نانوکرهای متخلخل فریت کبات که با آزمون جذب - واجدب نیتروژن بررسی شد، به ترتیب ۷۷,۵۱ و ۵۹,۸۶ مترمربع برگرم است. هر دو نمونه‌ی ساخته شده به دلیل داشتن ویژگی مغناطیسی می‌توانند در زمینه‌های بسیاری چون داروسانی، ذخیره‌اطلاعات و حذف فلزهای سنگین از آب‌های آلوده کاربرد داشته باشند با این حال، انتظار می‌رود که نانوکرهای متخلخل فریت کبات

- and studies on their magnetic properties", Journal of Alloys and Compounds 843 (2020) 155815.*
- [13] Bououdina M., Manoharan C., "Dependence of structure/morphology on electrical/magnetic properties of hydrothermally synthesized cobalt ferrite nanoparticles", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 493 (2020) 165703.
- [14] Ahmad S.I., "Nano cobalt ferrites: Doping, Structural, Low-temperature, and room temperature magnetic and dielectric properties—A comprehensive review", Journal of Magnetism and Magnetic Materials (2022) 169840.
- [15] Lu L.T., Dung N.T., Tung L.D., Thanh C.T., Quy O.K., Chuc N.V., Maenosono S., Thanh N.T., "Synthesis of magnetic cobalt ferrite nanoparticles with controlled morphology, monodispersity and composition: the influence of solvent, surfactant, reductant and synthetic conditions", Nanoscale 7(46) (2015) 19596-19610.
- [16] Vinousha P.A., Manikandan A., Preetha A.C., Dinesh A., Slimani Y., Almessiere M.A., Baykal A., Xavier B., Nirmala G.F., "Review on recent advances of synthesis, magnetic properties, and water treatment applications of cobalt ferrite nanoparticles and nanocomposites", Journal of Superconductivity and Novel Magnetism 34 (2021) 995-1018.
- [17] Chinnasamy C., Narayanasamy A., Ponpandian N., Chattopadhyay K., Guerault H., Greneche J., "Magnetic properties of nanostructured ferrimagnetic zinc ferrite", Journal of Physics: Condensed Matter 12(35) (2000) 7795.
- [18] Chinnasamy C., Jeyadevan B., Shinoda K., Tohji K., Djayaprawira D., Takahashi M., Joseyphus R.J., Narayanasamy A., "Unusually high coercivity and critical single-domain size of nearly monodispersed CoFe_2O_4 nanoparticles", Applied Physics Letters 83(14) (2003) 2862-2864.
- nanotubes", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 460 (2018) 12-27.*
- [6] Kumar Y., Sharma A., Shirage P.M., "Shape-controlled CoFe_2O_4 nanoparticles as an excellent material for humidity sensing", RSC advances 7(88) (2017) 55778-55785.
- [7] Peeples B., Goornavar V., Peeples C., Spence D., Parker V., Bell C., Biswal D., Ramesh G., Pradhan A., "Structural, stability, magnetic, and toxicity studies of nanocrystalline iron oxide and cobalt ferrites for biomedical applications", Journal of nanoparticle research 16 (2014) 1-10.
- [8] Tatarchuk T., Bououdina M., Judith Vijaya J., John Kennedy L., "Spinel ferrite nanoparticles: synthesis, crystal structure, properties, and perspective applications", in Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications: Selected Proceedings of the 4th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO2016), August 24-27 (2016) Lviv, Ukraine, Springer (2017).
- [9] Maji N., Dosanjh H.S., "Ferrite Nanoparticles as Catalysts in Organic Reactions: A Mini Review", Magnetochemistry 9(6) (2023) 156.
- [10] Barani M., Rahdr A., Mukhtar M., Razzaq S., Qindeel M., Olam S.A.H., Paiva-Santos A.C., Ajalli N., Sargazi S., Balakrishnan D., "Recent application of cobalt ferrite nanoparticles as a theranostic agent", Materials Today Chemistry 26 (2022) 101131.
- [11] Kashid P., Suresh H., Mathad S., Shedam R., Shedam M., "A review on synthesis, properties and applications on cobalt ferrite", Int. J. Adv. Sci. Eng 9 (2022) 2567-2583.
- [12] Tomar D., Jeevanandam P., "Synthesis of cobalt ferrite nanoparticles with different morphologies via thermal decomposition approach