

اثر دما روی مشخصه‌های فیزیکی ماده‌ی حاجب در تصویرگیری تشدید مغناطیسی هسته‌ای: نانوذره‌های منگنز فریت روکش شده با کیتوزان

علی خرم‌دوست^۱، منصور عاشور*^۲، کمال صابریان^۳، اکرم عیدی^۱

۱. گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵، تهران - ایران
۲. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران
۳. پژوهشکده‌ی مواد و سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران - ایران
*Email: mashoor@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۲/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۴/۱۵

چکیده

در این پژوهش در دماهای مختلف نانوذره‌های منگنز فریت ($MnFe_2O_4$) با روش هم‌رسوبی شیمیایی ساخته شده و با کیتوزان روکش شدند ($Ch-MnFe_2O_4$). مغناطش نانوذره‌ها به وسیله دستگاه مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM) بررسی شده و از الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) مشخص شد که نانوذره‌ها دارای ساختار اسپینلی مکعبی هستند. نانوذره‌های ساخته شده با وجود داشتن ساختار مناسب بلوری و شکل مکعبی دارای مغناطیس‌پذیری بسیار ناچیزی هستند. سپس نانوذره‌ها در سه دمای ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰°C تحت عمل گرمایش قرار گرفتند. از دمای ۳۰۰ تا ۴۰۰°C خاصیت مغناطیسی و اندازه‌ی نانوذره‌ها روند افزایشی داشت ولی بعد از آن در دمای ۵۰۰°C این روند سیر نزولی را نشان داد. بنابراین می‌توان گفت دمای ۴۰۰°C مناسب‌ترین دما برای مغناطیس‌پذیری این نانوذره‌ها است. نتیجه‌های حاصل از دستگاه مغناطیس‌سنج ارتعاشی نشان داد که افزایش اندازه‌ی نانوذره‌ها باعث افزایش تعداد گشتاورهای مغناطیسی می‌شود و در نتیجه از این نانوذره‌ها می‌توان به عنوان ماده‌ی حاجب در تصویرگیری تشدید مغناطیسی استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: نانوذره‌های منگنز فریت، هم‌رسوبی شیمیایی، مغناطش، تصویرگیری تشدید مغناطیسی

Effect of temperature on the physical specifications of contrast agent in magnetic resonance imaging: chitosan- $MnFe_2O_4$ magnetic nanoparticles

A. Khorramdoust¹, M. Ashoor*², K. Saberyan³, A. Eidi¹

1. Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, P.O.Box: 14515-775, Tehran - Iran
2. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-3486, Tehran - Iran
3. Materials and Nuclear Fuel Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran - Iran

Research Article

Received 15.5.2018, Accepted 6.7.2019

Abstract

In this study, manganese ferrite nanoparticles ($MnFe_2O_4$) coated with chitosan ($Ch-MnFe_2O_4$) was investigated at different temperatures. We reported the study of synthesis, and characteristics of this superparamagnetic agent, which were well prepared in nano-size via the chemical co-precipitation method. The $Ch-MnFe_2O_4$ NPs were annealed at the temperatures of 300, 400 and 500°C. The structure, morphology, and magnetic properties of the samples were characterized by the X-ray powder diffraction (XRD) and vibrating sample magnetometer (VSM), respectively. The results are indicating that the $Ch-MnFe_2O_4$ NPs are biocompatible, and have a cubic spinel crystal structure. The average sizes of the $FA-Ch-MnFe_2O_4$ NPs were found to be dependent on the applied temperature. Also, their sizes as well as the magnetization property will extend as the temperature is increased up to 400°C. By further increasing the temperature, however, they tend to decrease. These NPs have exhibited superparamagnetic behavior most likely at the 400°C temperature. Furthermore, the VSM results have been demonstrated that the number of the magnetic momentums will increase by growing the size, so that they are used as contrast agents and able to affect the relaxation time through the dipole-dipole interaction, which is useful in MRI.

Keywords: Manganese ferrite nanoparticles, Chemical Co-precipitation method, Magnetization, Magnetic resonance imaging



۱. مقدمه

نانوذره‌های مغناطیسی به دلیل داشتن خواص الکتریکی و مغناطیسی ویژه و کاربرد زیادشان در انتقال‌دهنده‌های دارویی، صافی‌های صوتی، هدهای مغناطیسی و گرمادرمانی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱]. نانوذره‌های فریت‌های اسپینلی با فرمول شیمیایی AB_2O_4 که در آن B عنصر آهن و A یکی از عنصرهای کبالت، نیکل، روی یا منگنز است به دلیل خصوصیت‌های منحصر به فردشان به عنوان مواد حاجب نیز استفاده شده‌اند. اندازه‌ی نانوذره‌ها روی خواص آن‌ها تأثیرگذار است [۲-۴]. به طور کلی خواص مغناطیسی در مواد نانو ساختار به عامل‌های بسیار زیادی از جمله روش ساخت آن‌ها بستگی دارد [۵].

روش هم‌رسوبی شیمیایی یکی از روش‌های مناسب برای تهیه‌ی نانوذره‌های مغناطیسی است که در آن نانوذره‌ها با اندازه‌ی کمینه‌ی ۲ nm ساخته می‌شوند [۶]. با ایجاد پوششی مناسب روی سطح نانوذره‌های آهن اکسید، می‌توان آن‌ها را زیست سازگار کرد به گونه‌ای که در بدن ایجاد خطر نکنند و جذب پروتئین‌های سرم خون نشوند. یک مشکل اساسی، تجمع و چسبندگی این نانوذره‌ها به هم‌دیگر، به دلیل بار سطحی‌شان است که با پوشیدن سطح نانوذره‌ها می‌توان آن را برطرف کرد. اساساً برای پوشش نانوذره‌ها از ترکیب‌های خنثی استفاده می‌شود. نانوذره‌ها حاوی هسته آهن اکسید و روکش کیتوزان به عنوان یک عامل بی‌خطر مورد بررسی قرار گرفته‌اند و این نانوذره‌های ساخته شده دارای خاصیت مغناطیسی پایدار، زمان گردش طولانی در خون و فاقد سمیت برای سلول‌ها هستند [۷].

به طور کلی نانوذره‌های مغناطیسی فریتی و آهن اکسیدها به عنوان ماده‌ی حاجب در تصویرگیری تشدید مغناطیسی کاربرد دارند چون زمان واهلش اسپین-اسپین^۱ (T_2) را بیش‌تر از ماده‌ی حاجب گادولینیم تغییر می‌دهند و هم‌چنین این نانوذره‌ها پایداری، بار بیش‌تر، قدرت نفوذ و زیست‌سازگاری بهتری دارند. دلیل سودمندی نانوذره‌های آهن اکسید در تصویرگیری تشدید مغناطیسی را می‌توان به توانایی آن‌ها در تغییر مقدار زمان واهلش اسپین ربط داد که باعث ایجاد یک

ناحیه‌ی تیره در تصویر می‌شوند [۸] هم‌چنین نانوذره‌های آهن اکسید بعد از تجزیه‌شدن، به ذخیره‌های بدن ملحق و در تشکیل ساختار هموگلوبین به کار گرفته می‌شوند. دو ساختار $MnFe_2O_4$ و Fe_2O_4 تا غلظت $200 \mu g L^{-1}$ خون علاوه بر نداشتن سمیت، مفید نیز هستند. ولی زمانی که سلول‌ها در معرض غلظت‌های بسیار بالایی از آهن اکسید قرار می‌گیرند به دلیل جذب بسیار زیاد، مسموم شده و فرایند مرگ سلولی رخ می‌دهد. مواد حاجب مورد استفاده در تصویرگیری تشدید مغناطیسی می‌توانند زمان‌های واهلش اسپین-اسپین و اسپین-اسپین (T_1) را تغییر دهند. مواد حاجب مانند گادولینیم، افزاینده‌ی مثبت علامت در تصویرهای بر وزن T_1 (زمان واهلش اسپین-شبکه) هستند، در صورتی که مواد حاجب مثل عامل‌های کنتراست بر پایه‌ی نانوذره‌های ابرپارامغناطیسی آهن و منگنز فریت کاهش شدت علامت در تصویرها بر وزن T_2 (زمان واهلش اسپین-اسپین) را حادث می‌شوند [۹]. کاهش مقدار زمان واهلش اسپین-اسپین نیز باعث افزایش وضوح تصویرها در تصویرگیری تشدید مغناطیسی می‌شود.

به طور کلی واهلش اسپین-شبکه، تغییر برگشت‌ناپذیر یک سیستم اسپینی با درجه‌های آزادی (مداری)- محیطی که اسپین‌ها در آن واقع‌اند، به سمت تعادل گرمایی شناخته می‌شود. این، شامل همه‌ی متغیرهای اسپینی نظیر انرژی اسپین-اسپین یا همبستگی چندگانه‌ی کوانتومی می‌شود. نانوذره‌های مغناطیسی، با گشتاور مغناطیسی خیلی کوچک، متحمل تجمع القایی از میدان مغناطیسی نشده و زمان آسایش اسپین-اسپین‌هایی ثابت و مستقل از زمان، از خود بروز می‌دهند. نانوذره‌های مغناطیسی (بین ده تا صد نانومتر) به عنوان عامل کنتراست شناخته شده‌اند. نانوذره‌های روکش‌شده به خاطر آسایندگی بالا، سمیت پایین و در دسترس بودنشان به عنوان عامل‌های کنتراست درون‌رنگی تصویرگیری تشدید مغناطیسی نیز کاربرد دارند [۱۰]. در این پژوهش اثر دما روی مشخصه‌های فیزیکی نانوذره‌های منگنز فریت روکش شده با کیتوزان مورد ارزیابی قرار گرفته است.

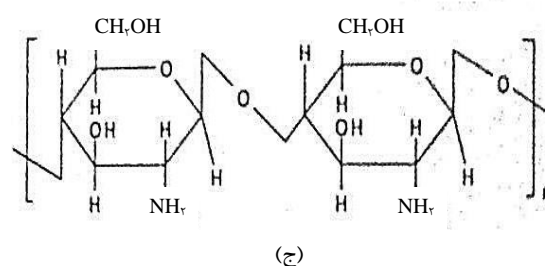
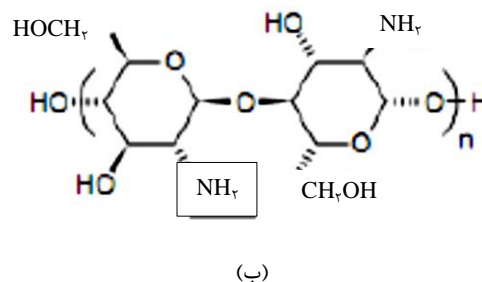
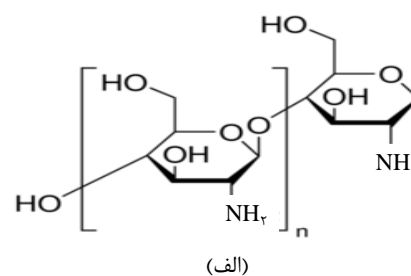
1. Spin-Spin Relaxation Time



۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ مواد مورد استفاده و تجهیزات

مواد شیمیایی مورد نیاز از قبیل $\text{FeCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ، سدیم هیدروکسید، کیتوزان با وزن مولکولی پایین (۵۰۰۰۰ تا ۱۹۰۰۰۰ دالتون)، تری‌پلی فسفات^۱ (TPP) و استیک اسید از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. لازم به توضیح است سه نوع مختلف از کیتوزان موجود است: کیتوزان با وزن مولکولی بالا (۳۱۰ تا ۳۷۵ هزار دالتون)، کیتوزان با وزن مولکولی متوسط (۱۹۰ تا ۳۱۰ هزار دالتون)، کیتوزان با وزن مولکولی پایین (۵۰ تا ۱۹۰ هزار دالتون). هم‌چنین قابل ذکر است که دلیل استفاده از تری‌پلی فسفات، ایجاد اتصال‌های عرضی مابین مولکول‌های کیتوزان برای در برگرفتن کامل نانوذره‌های مغناطیسی است. شکل ۱ ساختار شیمیایی کیتوزان با انواع وزن مولکولی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. کیتوزان با وزن مولکولی پایین (الف)، وزن مولکولی متوسط (ب) و وزن مولکولی بالا (ج).

طیف پراش پرتو ایکس نانوذره‌ها به وسیله طیف‌سنج مدل STADI-MP، ساخت شرکت STOE با منبع تابش تکفام شده $\text{Cu-K}\alpha$ به دست آمد. پارامترهای دستگاه عبارت بود از: 40 kV و 30 mA ، دامنه‌ی تغییرات زاویه از 5° تا 100° با فاصله‌های 0.05° هر 10 s اندازه‌گیری‌های مغناطیسی با مغناطیس‌سنج نمونه‌ی ارتعاشی مدل Lake-Shore ۷۴۰۰ انجام شد. توزین مواد نیز با ترازوی رقمی با ۴ رقم اعشار (شرکت متلر) انجام گرفت. بررسی دقیق‌تر شکل نانوذره‌ها با کمک میکروسکوپی الکترون عبوری (TEM) به انجام رسید. میکروسکوپ الکترون عبوری مورد استفاده مدل لئو ۹۰۶ ای (زایس)^۲ در 100 kV بود.

۲.۲ روش کار

برای ساخت نانوذره‌های مغناطیسی منگنز فریت با روکش کیتوزان، از روش هم‌رسوبی شیمیایی استفاده شد [۱۱-۱۳]. ابتدا 0.2 g کیتوزان در 40 mL استیک اسید ۲٪ به کمک دستگاه فراآوایی پخش شد و در ادامه 1 g تری‌پلی فسفات در 10 mL آب مقطر حل و به محلول حاوی کیتوزان اضافه شد. با توجه به وزن مولی کیتوزان و تری‌پلی فسفات با انتخاب 0.2 g کیتوزان در مقابل 1 g تری‌پلی فسفات، نسبت بین کیتوزان و تری‌پلی فسفات ۱:۴ تنظیم شد. وجود تری‌پلی فسفات باعث ایجاد اتصال‌های عرضی بین مولکول‌های کیتوزان می‌شود [۱۴]. در ادامه 0.989 g منگنز کلرید با وزن مولی 197.9 g mol^{-1} با 2.703 g آهن کلرید با وزن مولی 270.3 g mol^{-1} به محلول شامل کیتوزان و تری‌پلی فسفات اضافه شد (نسبت آهن به منگنز ۲:۱) این محلول به وسیله دستگاه تکانه‌ده کاملاً هم زده شد. سپس مقدار 50 mL محلول سدیم هیدروکسید 2 M به صورت قطره قطره به محلول پیش‌گفته اضافه شد تا این‌که pH به دوازده رسیده و رسوب حاصل که نانوذره‌های منگنز فریت-کیتوزان بودند، ته‌نشین شدند. سپس چندین بار، رسوب با آب مقطر و دوبار با اتانول شسته شد. رسوب در دمای 60°C در کوره به مدت ۴ ساعت خشک شد. نانوذره‌های خشک شده با هاون پودر شده و پس از خشک شدن، نانوذره‌ها به مدت ۴ ساعت در کوره در دماهای 300°C ، 400°C و 500°C قرار داده شدند. دماهای زیر 300°C

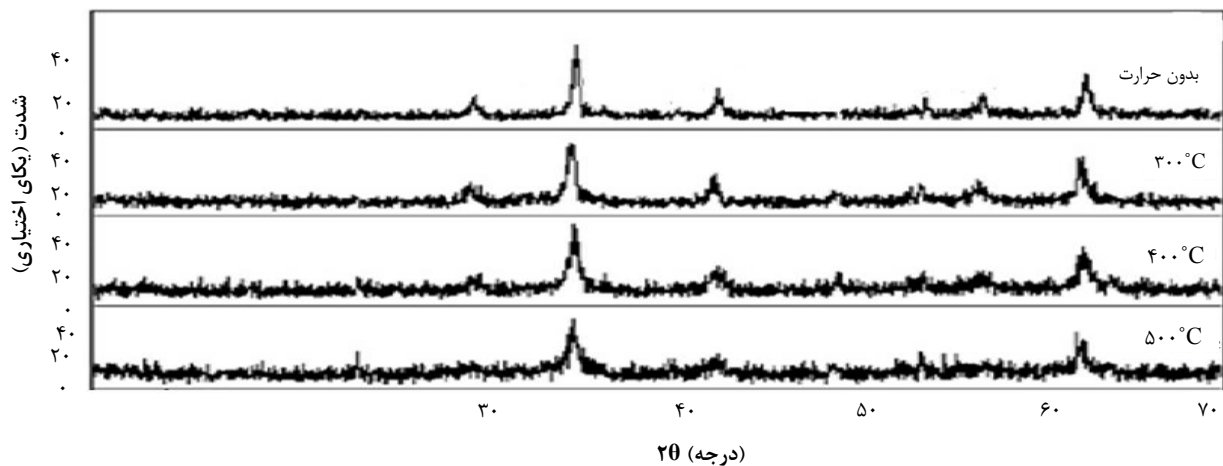


۳. یافته‌ها و بحث

نتیجه‌های به دست آمده به وسیله‌ی سیستم پراش پرتو ایکس برای تمامی نمونه‌ها یعنی نمونه بدون عملیات حرارتی و نمونه‌های بازپخت‌شده در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰°C تقریباً مشابه بودند (شکل ۲ و جدول ۱).

هم‌چنین نانوذره‌های تشکیل شده دارای ساختار اسپینلی هستند و طیف پراش پرتو ایکس برای نانوذره‌های $MnFe_2O_4$ استاندارد در شکل ۳ نشان داده شده است.

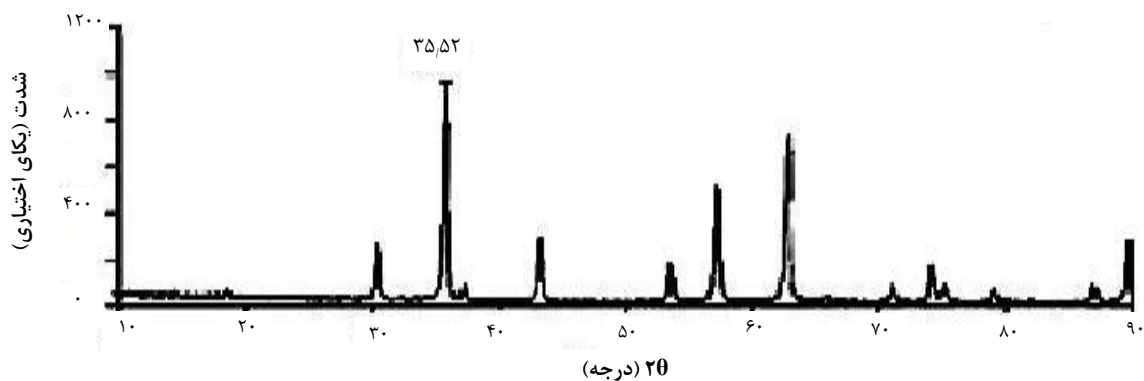
بالای ۵۰۰°C نیز آزموده شدند. در دمای زیر ۳۰۰°C نانوذره‌ها خاصیت مغناطیسی نشان ندادند و در دماهای بالای ۵۰۰°C خاصیت مغناطیسی شیب نزولی داشت. نانوذره‌ها به منظور تعیین ساختار بلوری و میزان مغناطیس‌پذیری‌شان به وسیله‌ی دستگاه‌های پراش پرتو ایکس مغناطیس‌سنج ارتعاشی، تجزیه و هم‌چنین با طیف‌سنجی زیرقرمز- تبدیل فوری و میکروسکوپی الکترون عبوری مورد تجزیه قرار گرفتند.



شکل ۲. الگوهای پراش پرتو ایکس نانوذره‌های $MnFe_2O_4$ در دماهای مختلف.

جدول ۱. اطلاعات به دست آمده از پراش پرتو ایکس

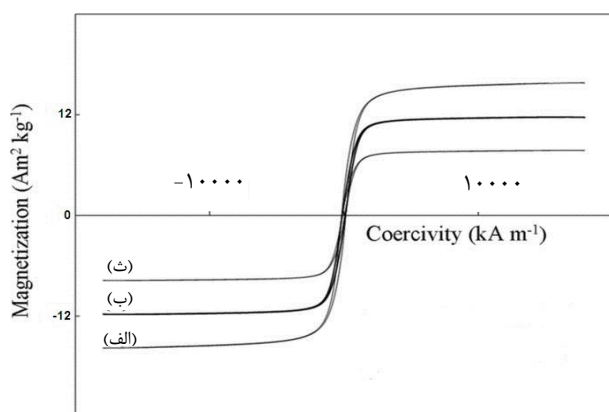
ترکیب شناسایی شده	فرمول شیمیایی	شکل بلوری	حجم واحد [$(\text{Å})^3$]	پارامترهای شبکه α (Å)	نوع ساخت
syn.Jacobsite	$MnFe_2O_4$	مکعبی	۶۱۳٫۹۱	۸٫۴۹۹۰	بدون عملیات حرارتی
syn.Jacobsite	$MnFe_2O_4$	مکعبی	۶۲۱٫۵۵	۸٫۵۳۴۱	۳۰۰°C
syn.Jacobsite	$MnFe_2O_4$	مکعبی	۶۲۱٫۲۲	۸٫۵۳۲۶	۴۰۰°C
syn.Jacobsite	$MnFe_2O_4$	مکعبی	۶۲۰٫۹۱	۸٫۵۳۱۲	۵۰۰°C



شکل ۳. الگوی پراش پرتو ایکس نانوذره‌های $MnFe_2O_4$ استاندارد.

پارامترهای مغناطش اشباع^۲ و شدت وامغناطش^۳ در نمونه‌ها، قابل بررسی بیش‌تر است. می‌توان با توجه به الگوهای پراش پرتوی ایکس و از داده‌های مغناطیس‌سنج ارتعاشی به این نتیجه‌ی مهم دست یافت که با افزایش اندازه‌ی نانوذره‌ها، وامغناطش نیز افزایش می‌یابد که ناشی از خاصیت ابر الکترونی است و در اندازه‌های کوچک باعث می‌شود شدت وامغناطش به سمت صفر میل کند. افزایش اندازه‌ی نانوذره‌ها باعث افزایش تعداد گشتاورهای مغناطیسی ذره‌ها می‌شود. با توجه به این خصوصیت‌ها می‌توان از این نانوذره‌ها به عنوان ماده‌ی حاجب تصویرگیری تشدید مغناطیسی استفاده کرد چون به دلیل روکش کیتوزان زیست‌سازگارند و با گرمادهی مغناطیس‌پذیر می‌شوند. وجود نانوذره‌های مغناطیسی باعث افزایش حساسیت تصویرها می‌شوند و این در حالی است که خود نانوذره‌ها در بدن قابل تجزیه هستند. اندازه‌ی نانوذره‌ها نقش مهمی در جذب این ذره‌ها توسط سلول‌های هدف و هم‌چنین حذف این ذره‌ها از بدن دارد.

شکل ۵ ریزنگارهای میکروسکوپی الکترون عبوری (TEM) نانوذره‌های منگنزفریت (a, c, e) و نیز پراش الکترونی منطقه منتخب^۴ (b, d, f) را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل نانوذره‌های ساخته شده تقریباً کروی بوده و سطح آن‌ها یکنواخت نیست. هم‌چنین این شکل نشان می‌دهد که بین ذره‌ها تراکم اتفاق افتاده است.



شکل ۴. نمودار خروجی دستگاه مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM) برای سه دما (الف) ۴۰۰ °C، (ب) ۳۰۰ °C و (ث) ۵۰۰ °C.

2. Saturation Magnetization (M_s)
3. Coercive Force (H_c)
4. Selected Area (Electron) Diffraction

اندازه‌ی نانوذره‌ها با استفاده از رابطه‌ی شرر که با مقدار پهنای نیم‌ارتفاع قله^۱ رابطه‌ی معکوس دارد محاسبه شد. می‌توان با محاسبه‌ی پهنای نیم- ارتفاع قله اندازه‌ی کریستالیت‌ها را به طور تقریبی به دست آورد [۱۵]:

$$D = (0.9 \times \lambda) / (\beta \cos \theta) \quad (1)$$

که در آن، β پهنای نیم- ارتفاع قله θ زاویه‌ی براگ مربوط به قله و λ طول موج پرتو ایکس است.

اندازه نانوذره‌ها در دماهای مختلف در جدول ۲ درج شده‌اند. افزایش دما تا ۴۰۰ °C باعث افزایش اندازه‌ی نانوذره‌ها می‌شود اما بعد از آن با افزایش دما، اندازه کاهش می‌یابد [۱۶] پارامترهایی چون توزیع کاتیون‌ها، نوع شبکه، ناکاملی‌های ساختاری، لایه‌ی مرده در سطح، نسبت سطح به حجم، تبلور ذره‌ها، سطح انرژی، آرایش و چیدمان اتم‌ها، ثابت شبکه، دمای نیل، سطح تراز انرژی، نقص‌های اکسیژن و ضریب رسانندگی گرمایی در این فرایند نقش دارند.

همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود نانوذره‌های منگنز فریت بدون عملیات حرارتی با وجود داشتن ساختار بلوری مناسب و شکل مکعبی دارای مغناطیس‌پذیری ناچیزی هستند [۱۷]. برای پیدایش خاصیت مغناطیسی نیاز به گرمادهی است. در دمای ۳۰۰ °C خاصیت مغناطیسی روند افزایشی نشان می‌دهد و در دمای ۴۰۰ °C بیش‌ترین مقدار را دارا است ولی در دمای ۵۰۰ °C این روند سیر نزولی دارد و می‌توان گفت دمای ۴۰۰ °C مناسب‌ترین دما برای مغناطیس‌پذیر شدن نانوذره‌های منگنز فریت است (شکل ۴).

جدول ۲. اندازه‌ی نانوذره‌های $\text{Ch-MnFe}_2\text{O}_4$ در دماهای مختلف

دما	بدون عملیات حرارتی	۳۰۰ °C	۴۰۰ °C	۵۰۰ °C
اندازه (nm)	۲۱	۲۲	۲۵	۱۸

جدول ۳. مشخصه‌های مغناطیسی نانوذره‌های $\text{Ch-MnFe}_2\text{O}_4$ در دماهای مختلف

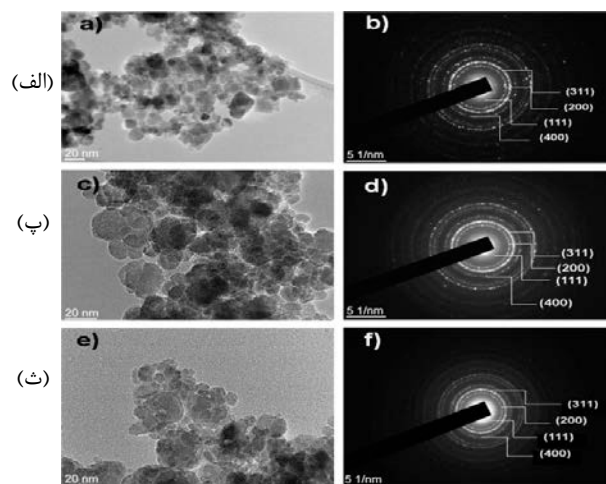
نانوذرات	H_c (Gauss)	M_s (emu/g)
بدون عملیات حرارتی	ناچیز	-
۳۰۰ °C	۱۳۰	۱۲۰
۴۰۰ °C	۵۰۰	۱۶۱
۵۰۰ °C	ناچیز	۸۶

1. Full Width at Half Maximum (FWHM)



مراجع

1. R. Thomas, I.K. Park, Y.Y. Jeong, *Magnetic iron oxide nanoparticles for multimodal imaging and therapy of cancer*, *Int. J. Mol. Sci.* **14**(8), 15910 (2013).
2. C. Liu, Z.J. Zhang, *Size-dependent superparamagnetic properties of Mn spinel ferrite nanoparticles synthesized from reverse micelles*, *Chem. Mater.* **13** (6), 2092 (2001).
3. M. Amani, et al. *Thermal conductivity measurement of spinel-type ferrite $MnFe_2O_4$ nanofluids in the presence of a uniform magnetic field*, *J. Mol. Liq.* **230**, 121(2017).
4. C.N. Chinnasamy, et al. *Size dependent magnetic properties and cation inversion in chemically synthesized $MnFe_2O_4$ nanoparticles*, *J. Appl. Phys.* **101**(09), 509 (2007).
5. A.T. Raghavender, N.H. Hong, *Dependence of Néel temperature on the particle size of $MnFe_2O_4$* , *J. Mag. Mag. Mater.* **323**(16), 2145 (2011).
6. M.A. Ahmed, N. Okasha, S.I. El-Dek, *Preparation and characterization of nanometric Mn ferrite via different methods*, *Nanotechnol.* **19**(6), 1 (2008).
7. H. Li, et al. *Carboxymethyl chitosan-folic acid-conjugated $Fe_3O_4-SiO_2$ as a safe and targeting antitumor nanovehicle in vitro*. *Nanoscale Res. Lett.* **9**(1), 146 (2014).
8. M.Y. Rafique, et al. *Growth of monodisperse nanospheres of $MnFe_2O_4$ with enhanced magnetic and optical properties*, *Chin. Phys. B*, **22**(10), 107101 (2013).
9. L. Zeng, et al. *Ultrasmall water-soluble metal-iron oxide nanoparticles as T_1 -weighted contrast agents for magnetic resonance imaging*, *Phys. Chem. Phys.* **14**(8), 2631 (2012).
10. M. Goldman, *Advances in magnetic resonance: Formal theory of spin-lattice relaxation*, *J. Mag. Reson.* **149**, 160 (2001).
11. Y. Jamil, et al. *Microwave-assisted synthesis of fine magnetic manganese ferrite particles using co-precipitation technique*, *Pak. J. Agri. Sci.* **45**(3), 59 (2008).
12. N.T. Lan, et al. *Magnetic properties of $MnFe_2O_4$ Ferrite nanoparticles prepared by using co-precipitation*, *J. Korean Phys. Soc.* **52**(5) 1522 (2008).
13. S. Yan'ez-Vilar, et al. *A simple solvothermal synthesis of MFe_2O_4 ($M = \frac{1}{4} Mn, Co$ and Ni) nanoparticles*, *J. Solid State Chem.* **182**, 2685 (2009).
14. D. Kim, D. Nikles, C. Brazel, *Synthesis and characterization of multifunctional Chitosan- $MnFe_2O_4$ nanoparticles for magnetic hyperthermia and drug delivery*, *Mater.* **7**(3) 4051 (2010).
15. B.D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction*, (Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA, 1956, P. 259)(1956).
16. S. Sam, A.S. Nesraj, *Preparation of $MnFe_2O_4$ nanoceramic particles by soft chemical routes*, *Intern. J. Appl. Sci. and Eng.* **9**(4), 223 (2011).
17. M.G. Naseri et al. *Synthesis and characterization of manganese ferrite nanoparticles by thermal treatment method*, *J. Mag. Mag. Mater.* **323**(13), 1745 (2011).



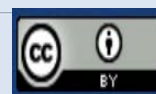
شکل ۵. ریزنگارهای میکروسکوپی الکترون عبوری (TEM) نانوذره‌های منگنز فریت (a, c, e) به همراه پراش الکترونی منطقه منتخب (b, d, f) در دماهای مختلف؛ (الف) $400^\circ C$ ، (ب) $300^\circ C$ و (ث) $500^\circ C$.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نانوذره‌های منگنز فریت پس از ساخت به روش هم‌رسوبی، در دماهای مختلف گرمادهی و با استفاده از کیتوزان روکش‌دار و زیست‌سازگار شدند. نانوذره‌های بدون عملیات حرارتی با وجود داشتن ساختار مناسب بلوری و شکل مکعبی دارای مغناطش بسیار ناچیزی هستند. مناسب‌ترین دما برای مغناطیس‌پذیری نانوذره‌ها $400^\circ C$ است. تا این دما اندازه‌ی نانوذره‌ها افزایش یافته و در نتیجه شدت مغناطش نیز افزایش می‌یابد که ناشی از خاصیت ابر الکترونی است. علاوه بر این، افزایش اندازه باعث افزایش تعداد گشتاورهای مغناطیسی می‌شود. نانوذره‌های مغناطیسی $Ch-MnFe_2O_4$ با کاستن از زمان و اهلش اسپین- اسپین می‌توانند نقش مهمی در تصویرگیری تشدید مغناطیسی ایفا نمایند. در نهایت این‌که اندازه‌های کوچک‌تر از این مقدار (۲۰ nm) توسط کلیه‌ها به سرعت دفع می‌شود چرا که به راحتی از غشای مویرگی گلمرول‌ها می‌گذرد و هر بار توسط کلیه‌ها فوراً دفع می‌شود. اما اندازه‌های بزرگ‌تر بلافاصله توسط سیستم RES یعنی سیستم دفاعی بدن و گلبول‌های سفید خون خورده شده و از گردش خون حذف می‌شود، بدین دلیل مناسب‌ترین اندازه برای کاربردهای پزشکی ۲۰ nm است.

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.



استناد به این مقاله

علی خرم‌دوست، منصور عاشور، کمال صابریان، اکرم عیدی (۱۳۹۹)، اثر دما روی مشخصه‌های فیزیکی ماده‌ی حاجب در تصویرگیری تشدید مغناطیسی هسته‌ای: نانوذره‌های منگنز فریت روکش شده با کیتوزان، ۹۱، ۱۴۵-۱۵۰

DOI: 10.24200/nst.2020.1104

Url: https://jonsat.nstri.ir/article_1104.html

