



بررسی اثر دمای تکلیس بر خواص فیزیکی و مغناطیسی نانوذرات کبالت عریان و با پوشش سیلیکا

هادی عربی^{۱*}، راضیه چهکندی نژاد^۱، فائز پورآرین^۲

۱- آزمایشگاه تحقیقاتی مغناطیس و ابررسانایی، گروه فیزیک، دانشگاه بیرجند

۲- دانشگاه کارنگی ملون، آمریکا

(دریافت مقاله: ۹۰/۱/۱۸، نسخه نهایی: ۹۰/۴/۲۸)

چکیده: در این مقاله به منظور بررسی تأثیر دمای تکلیس بر خواص ساختاری و مغناطیسی نانوذرات کبالت، نمونه‌هایی با استفاده از روش همرسوبی در دماهای تکلیس متفاوت تهیه شده‌اند. نانوذرات کبالت با استفاده از روش همرسوبی در محیط قلیایی هیدرازین-اتانول در دمای اتاق تهیه شدند، که در آنها از هیدرازین به عنوان عامل جدا کننده استفاده شده است. این عامل نمک‌های کبالت را به نانوذرات کبالت فاز hcp و fcc تبدیل می‌کند. تعیین فاز و بررسی خواص ساختاری نمونه‌ها با استفاده از الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD)، تشکیل فاز ششگوشی را برای نانوذرات کبالت تأیید می‌کند. برای تعیین اندازه و شکل نانوذرات از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد. خواص مغناطیسی این نانوذرات نیز در دمای اتاق به وسیله مغناطیس‌سنج با نمونه‌ی نوسانی (VSM) اندازه‌گیری شد و نشان داد که این نانوذرات در دمای اتاق خاصیت فرومغناطیسی دارند. علاوه بر آن در این مقاله نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس با استفاده از روش شیمیایی مرطوب تهیه شدند. تصاویر TEM قطر هسته‌های کبالت را ۱۷-۲۰ نانومتر نشان داد که به لایه‌ای از سیلیس به ضخامت ۵-۷ نانومتر احاطه شده‌اند. منحنی پسماند نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس دارای مغناطش اشباع ۱۷ emu/gr در ۱۰۰۰۰ Oe است که بسیار کمتر از مقدار مغناطش اشباع نانوذرات کبالت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات کبالت؛ همرسوبی؛ پوشش سیلیکا؛ فرومغناطیس.

مقدمه

دارد [۵]. نانوذرات کبالت با استفاده از روش‌های متعددی از قبیل تجزیه گرمایی، تجزیه الکتروشیمیایی، همرسوبی و چگالش فاز بخار تهیه شده‌اند [۶-۸]. در این مقاله نانوذرات کبالت به روش همرسوبی ساخته شده‌اند. از این روش برای تهیه‌ی نانوذرات یاد شده در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. در بیشتر کاربردهای این چنینی لازم است که نانوذرات فوق با یک لایه‌ی محافظ پوشیده شوند [۹]. در دهه‌ی اخیر پژوهش‌های بسیاری در زمینه ساخت و بررسی خواص مغناطیسی و ساختاری نانوذرات کبالت صورت گرفته است، با وجود این تنها تعداد اندکی از آنها به بررسی نانوذرات کبالت با یک پوشش

نانوذرات کبالت کاربردهای گسترده‌ای در آهنرباهای دائمی، شاردهای مغناطیسی، کاتالیزورها، حذف نانوالاینده‌های گازی، محیط‌های ضبط مغناطیسی، مواد جاذب امواج الکترومغناطیس و ... دارند [۱-۳]. به دلیل اینکه ساختار تنگ پکیده‌ی ششگوشی تک محوری (hcp یا α -Cobalt) در کنار ساختار مکعبی مرکز سطحی (fcc یا β -Cobalt) وجود دارد، نانوذرات کبالت خالص از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۴]. خواص کاتالیزوری، الکتریکی و مغناطیسی نانوذرات کبالت نه تنها به اندازه‌ی آنها، بلکه به ساختار و شکل ذرات نیز بستگی

$^{\circ}\text{C}$ ۲۰۰ به مدت ۵ ساعت در آون خلاء خشک شدند.

نتایج و بحث

از یک پراش سنج با تیوپ مس، Cu، مدل PW180 ساخت شرکت Philips برای بررسی خواص ساختاری نمونه‌ها استفاده شد. شکل (۱) الگوهای پراش پرتو X نمونه‌های (a)، (b) و (c) که در دماهای ۱۰۰، ۱۵۰، و $^{\circ}\text{C}$ ۲۰۰ به مدت ۵ ساعت تکلیس شده‌اند را نشان می‌دهد. پیدایش قله‌های وابسته به صفحات (۱۰۰)، (۰۰۲) و (۱۰۱)، تشکیل فاز ششگوشی را برای نمونه‌های کبالت تایید می‌کند. نانوذرات کبالت دارای سه قله‌ی اصلی در گستره‌ی ۲θ از ۳۰ تا ۸۰ هستند که با کار دیگران نیز همخوانی دارد [۵].

اگر شکل ۱ به دقت بررسی شود، مشخص می‌شود که با افزایش دمای تکلیس پهنای قله‌های الگوی پراش نمونه‌ها اندکی کاهش یافته و ارتفاع قله‌ها نیز به طور جزئی افزایش می‌یابد، زیرا با افزایش دمای تکلیس امکان چسبندگی نانو ذرات بیشتر می‌شود و در نتیجه اندازه‌ی آنها افزایش می‌یابد و علاوه بر آن با افزایش دما میزان بلوری شدن نانوذرات نیز بهبود می‌یابد.

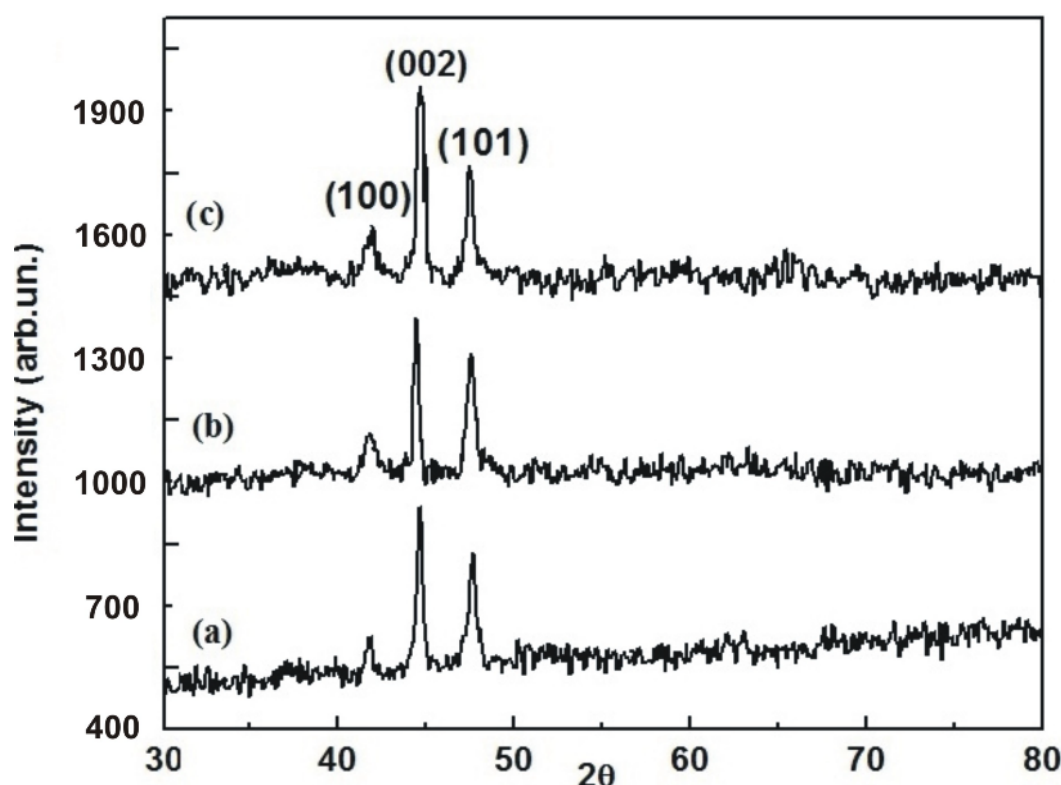
محافظ اختصاص یافته است [۱۲-۱۰]. همچنین در این مقاله نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس با روش شیمیایی مرطوب تهیه شدند و خواص مغناطیسی و ساختاری این نانوذرات بررسی شد و سپس مقایسه‌ی آنها با خواص نانوذرات کبالت نیز صورت گرفت.

بررسی تأثیر دمای تکلیس

بخش تجربی

برای تهیه‌ی نانوذرات کبالت به روش هم‌رسوبی در محیط قلیایی هیدرازین-اتانول و در دمای اتاق، نخست مقدار ۲gr کلرید کبالت شش آبه را در ۱۵ml اتانول حل کرده تا یک محلول همگن به رنگ آبی تیره حاصل شود. سپس مخلوط هیدرات هیدرازین و سود به مدت ۴۵ دقیقه و به آهستگی به محلول فوق افزوده شد.

با رساندن pH محلول به مقدار ۷، آرام آرام ذرات خاکستری رنگ کبالت معلق در محیط ظاهر می‌شوند که با قرار دادن آهنربا در زیر بشر جمع‌آوری شده و در نهایت چندین بار با آب مقطر و اتانول شسته و سپس پودر حاصل که به ترتیب نمونه‌های (a)، (b) و (c) نامیده می‌شوند در دماهای ۱۰۰، ۱۵۰ و



شکل ۱ تأثیر دمای تکلیس بر الگوی پراش پرتو X نمونه‌های (a)، (b) و (c).

بررسی از میکروسکوپ الکترونی مدل CM10 ساخت شرکت Philips استفاده شد. به عنوان نمونه، تصویر TEM نمونه (a) در شکل ۲ آورده شده است. بنابر شکل، تعدادی از دانه‌های نانوذرات به شکل ستونی با ابعاد کمتر از ۳۰ نانومتر مشاهده می‌شوند که به خوبی با نتایج حاصل از کار **دیگران** همخوانی دارد [۵].

برای نشان دادن خاصیت مغناطیسی نانوذرات کبالت، می‌توان آنها را درون ظرف شیشه‌ای ریخته و در مجاورت آهنربای نسبتاً قوی قرار داد. این نانوذرات خاصیت آهنربایی از خود نشان داده و به صورت رشته‌های باریک بلندی منظم می‌شوند که با چشم غیر مسلح نیز قابل دیدن است (شکل ۳).

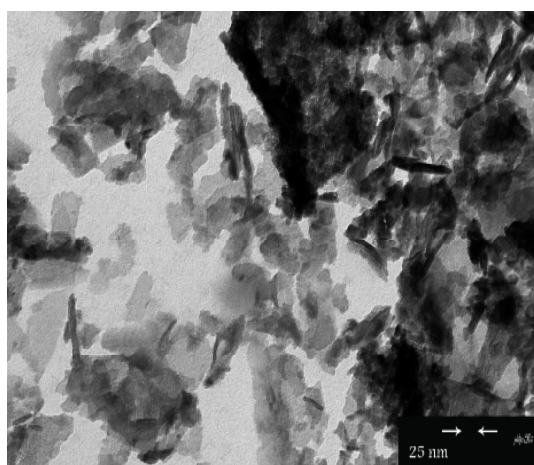
اندازه‌ی تقریبی بلورک‌ها با استفاده از رابطه‌ی شرر و از روی پهنای قله‌ی پراش صفحه (۰۰۲) به دست آمد. در رابطه‌ی شرر $D = K\lambda/\beta\cos\theta$ ، D قطر بلورک‌ها، β پهنای قله در نصف بیشینه‌ی ارتفاع، λ طول موج پرتو X (برای $K\alpha$ مس $1.54\text{\AA}$) و K عدد ثابتی برابر ۰.۹ است.

در جدول ۱ اندازه‌ی بلورک‌های وابسته به نمونه‌های (a)، (b) و (c) با استفاده از معادله‌ی شرر محاسبه شد. مشاهده می‌شود که با افزایش دمای تکلیس، اندازه‌ی نانوذرات افزایش یافته است.

به‌منظور بررسی کیفیت نمونه‌ها، تعیین اندازه‌ی دانه‌ها و چگونگی توزیع آنها از تصاویر TEM بهره گرفتیم. در این

جدول ۱ اندازه‌ی بلورک‌های محاسبه شده از الگوی های پراش شکل ۱.

نمونه	دمای تکلیس (oC)	اندازه محاسبه شده بلورک‌ها (nm)
(a)	۱۰۰	۲۴
(b)	۱۵۰	۲۶
(c)	۲۰۰	۲۹



شکل ۲ تصاویر TEM وابسته به نانوذرات نمونه (a).

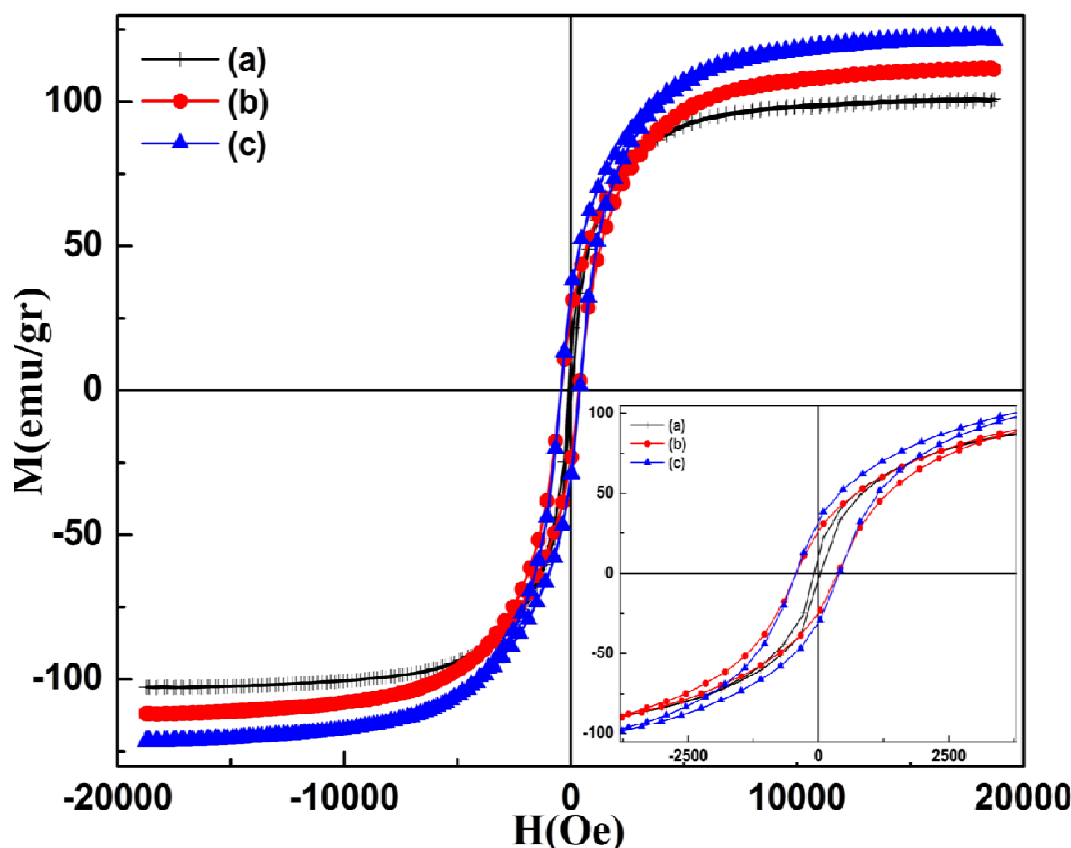


شکل ۳ منظم شدن نانوذرات کبالت پس از نزدیک شدن آهنربا به بشر.

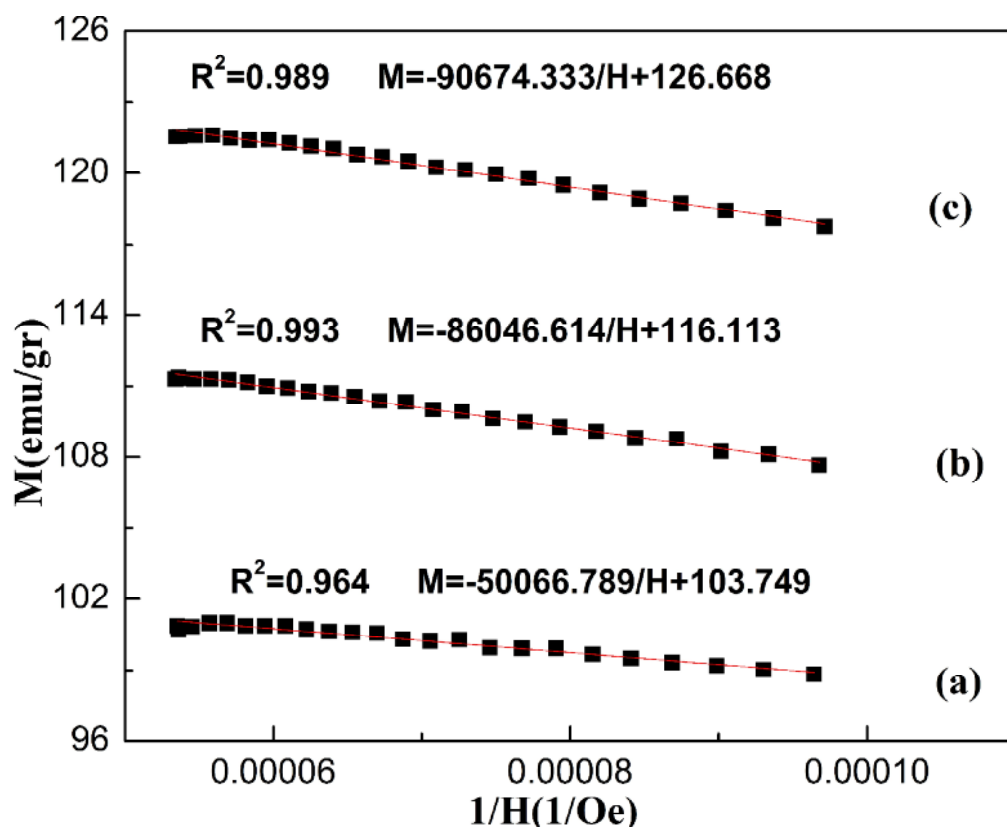
از آنجا که مقادیر R^2 بسیار نزدیک به یک است، داده‌های به دست آمده از برونیایی، از دقت بسیار بالایی برخوردار است. مغناطش اشباع برون یابی شده نمونه‌ها با توجه به شکل ۵ و جدول ۲ برای نانوذرات تکلیس شده‌ی (a)، (b) و (c) به ترتیب عبارتند از ۱۰۴، ۱۱۶ و ۱۲۷ emu/g که همگی کمتر از مغناطش اشباع کبالت حجمی فرومغناطیس ۱۶۸ emu/g است. مغناطش اشباع نانوذرات از مواد حجمی کمتر است. دلیل این، آن افزایش نسبت سطح به حجم در نانو ساختارها، بی‌نظمی-های سطحی و نواقص ذرات ماورای ریز است [۵]. با افزایش دمای تکلیس، افزایش منظمی در مقادیر مغناطش پسماند M_r دیده می‌شود. همچنین با برونیایی نمودارهای VSM مشخص شد که با افزایش در دمای تکلیس، افزایش در مقادیر مغناطش اشباع M_s نمونه‌ها صورت گرفته است. مقادیر H_c ، M_r و M_s همراه با اندازه‌ی بلورکهای محاسبه شده با فرمول شرر برای نانوذرات تکلیس شده‌ی (a)، (b) و (c) در دماهای متفاوت در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

برای بررسی و تحلیل کمی خواص مغناطیسی نمونه‌ها از مغناطیس سنج با نمونه نوسانی (VSM) مدل ۷۴۰۰ ساخت کمپانی Lake-Shore استفاده شد. در شکل ۴ منحنی‌های پسماند مغناطیسی نمونه‌ها در دمای اتاق در گستره‌ی میدان-هایی از ۱۹۰۰۰- تا ۱۹۰۰۰+ اورستد را نشان می‌دهد. نمونه-های تهیه شده رفتار فرومغناطیسی دارند و مقادیر پسماند مغناطیسی M_r ، مغناطش اشباع M_s ، و میدان وادارندگی H_c ، نمونه‌ها با زیاد شدن دمای تکلیس و بزرگتر شدن اندازه-ی بلورک‌ها، افزایش می‌یابد. برای مشاهده‌ی بهتر رفتار مغناطیسی نمونه‌ها در میدان‌های کوچک منحنی‌های پسماند در این گستره نیز رسم شده است.

برای محاسبه‌ی دقیق مغناطش اشباع در شکل ۵ نمودارهای مغناطش برحسب عکس میدان در گستره‌ی میدانهای بزرگ رسم و با برونیایی آنها مغناطش اشباع محاسبه شد. عرض از مبدأ این خطوط بیانگر مغناطش اشباع است و نیز شیب این خطوط، پذیرفتاری را نشان می‌دهد. پارامتر R^2 بیانگر برازش مقادیر تجربی با خط انطباق داده شد. چنانکه مشاهده می‌شود



شکل ۴ منحنی‌های پسماند نانوذرات کبالت نمونه‌های (a)، (b) و (c).



شکل ۵ نمودارهای مغناطش بر حسب عکس میدان در میدان‌های بزرگ برای نانوذرات تکلیس شده (a)، (b) و (c).

جدول ۲ مقادیر H_c ، M_r و M_s نانو ذرات تکلیس شده (a)، (b) و (c).

نمونه	دمای تکلیس (oC)	اندازه بلورک‌ها (nm)	M_s (emu/g)	M_r (emu/g)	H_c (Oe)
(a)	۱۰۰	۲۴	۱۰۴	۱۳	۱۱۳
(b)	۱۵۰	۲۶	۱۱۶	۲۶	۴۰۹
(c)	۲۰۰	۲۹	۱۲۷	۳۱	۴۱۴

با نسبت مولی ۱:۹، اضافه شد (معمولاً در ۸۰۰ ml از محلول اتانولیک، ۷۲ میکرولیتر APS و ۸۴۵ میکرولیتر TEOS ریخته می‌شود). برای تشکیل لایه‌های سیلیکا، هیدرولیز APS و STEO روی سطح ذرات کبالت ۴۵ دقیقه طول کشید. سپس محلول مرکز گریز شد و رسوب‌ها در آن معمولی و در دمای ۱۱۰ درجه سیلیسوس به مدت دو ساعت خشک شدند. از (3- trimethoxysilane aminopropyl)APS برای افزایش چسبندگی و جذب سطحی سیلیکا روی نانوذرات کبالت و نیز از پیش ماده‌ی TEOS (tetraethoxysilane) برای تشکیل لایه سیلیکا استفاده شد [۱۳].

ساخت نانوذرات کبالت با پوشش سیلیکا و مقایسه‌ی آن با نانوذرات کبالت

بخش تجربی

برای تهیه نانوذرات کبالت نخست ۱ ml از محلول ۰/۴ مولار کلرید کبالت را به ۲۰۰ ml محلول آب‌دار که شامل NaBH_4 ۰/۰۲ مولار و مونوهیدرات اسیدسیتریک ۰/۰۰۲ مولار است، افزوده شد. در این هنگام ذرات کبالت با پراکندگی به رنگ خاکستری در محلول آشکار شدند.

به منظور پوشش ذرات کبالت با سیلیکا، پس از یک دقیقه به محلول آب‌دار یک محلول اتانولیک که شامل APS و TEOS

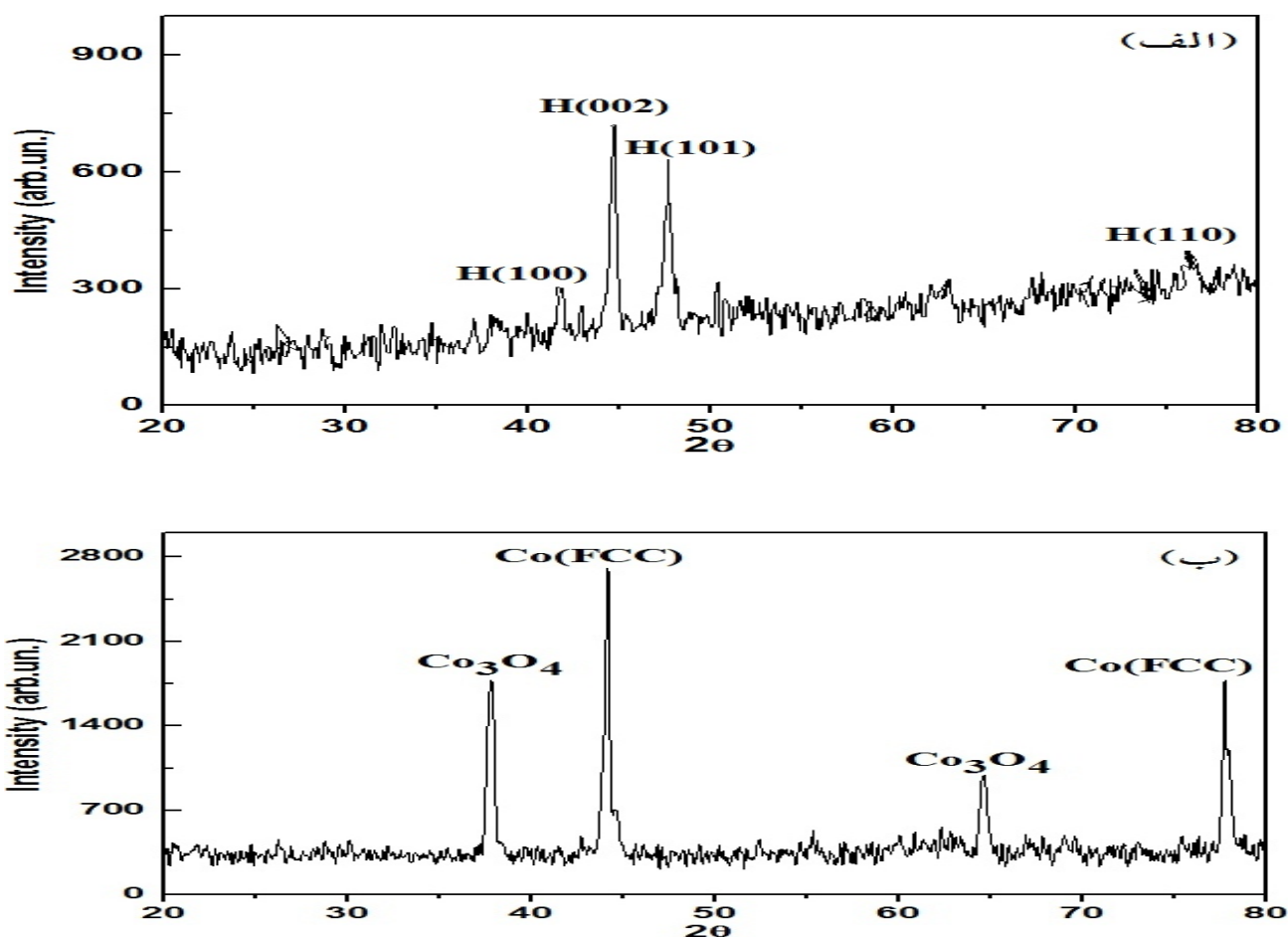
نتایج و بحث

آمورف بودن لایه SiO_2 است [۱۴].

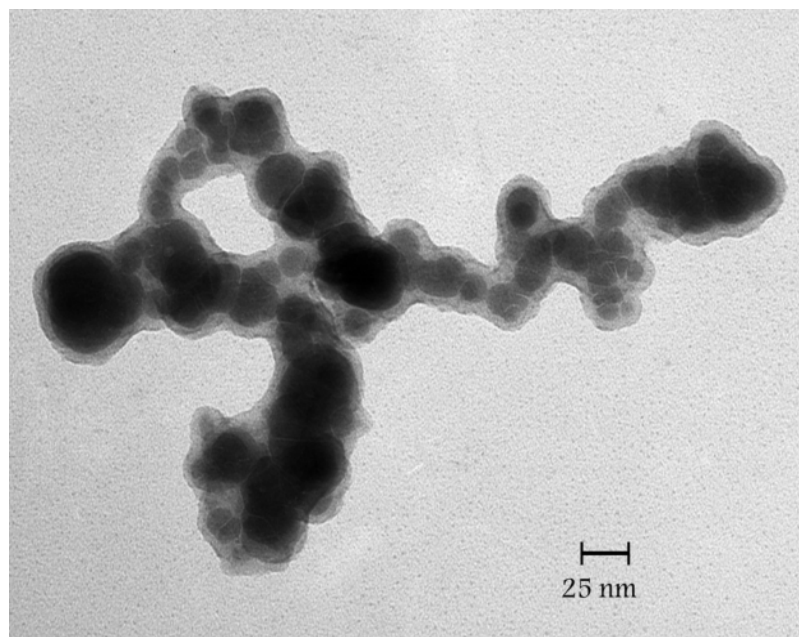
شکل ۷ تصویر TEM نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس را نشان می‌دهد. در این شکل یک لایه‌ی ادامه دار و یکنواخت از سیلیکای آمورف به ضخامت ۵-۷ نانومتر در اطراف هسته‌های کروی کبالت با قطر ۲۰-۱۷ نانومتر مشاهده می‌شود. در تصویر، زنجیره‌های منحصر به فردی از این نانوذرات که تقریباً شبیه گردنبند مروارید هستند نیز دیده می‌شود. تصویر TEM لایه‌ی سیلیکا شفاف تر است. با توجه به اینکه مقدار مغناطش Co@SiO_2 بسیار کمتر از مغناطش نانوذرات کبالت مجزا است (شکل ۸). لذا با توجه به کمتر بودن اندازه‌ی مغناطش اکسید کبالت و میزان کم بودن این فاز در نمونه، می‌توان نتیجه گرفت که این لایه‌ی شفاف بیرونی سیلیکاست [۱۵].

شکل ۶ الگوهای پراش پرتو X را برای نانوذرات کبالت نمونه‌ی (a) و نانوذرات کبالت با پوشش سیلیکا، Co@SiO_2 نشان می‌دهد. شکل ۶-الف) بیانگر فاز ششگوشی نانوذرات کبالت مجزا است. شکل ۶-ب) فاز مکعب مرکز سطحی (FCC) را برای نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس نشان می‌دهد. آنالیز این الگوی پراش بیانگر آنست که علاوه بر حضور کبالت با فاز FCC، قله‌های وابسته به اکسید کبالت (Co_3O_4) نیز دیده می‌شود. این شکلها دارای دو قله‌ی مشترک (۰۰۲) و (۱۱۰) هستند.

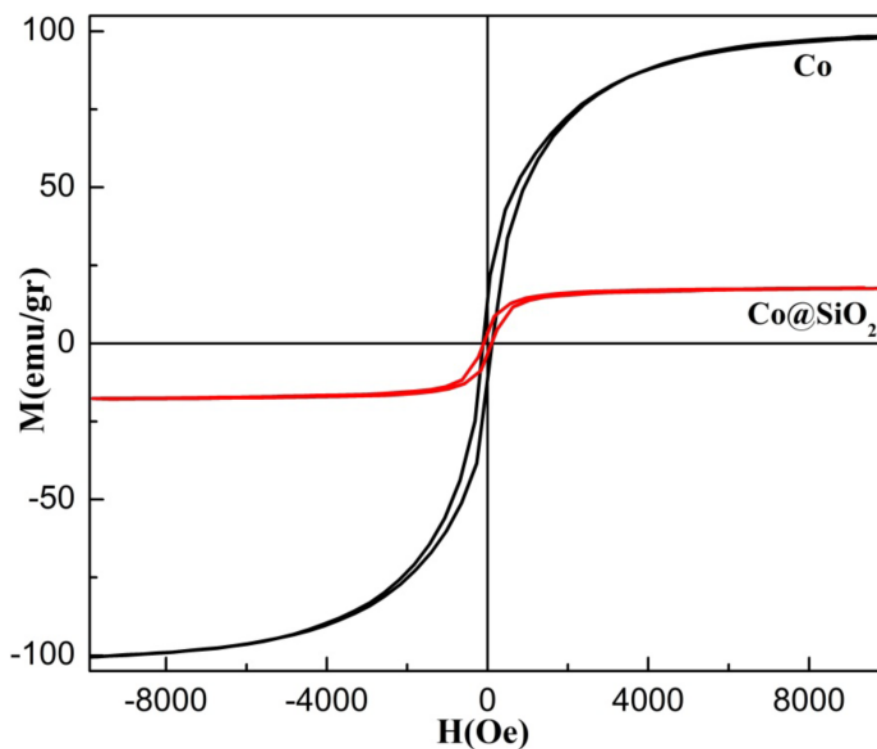
برای جلوگیری از اکسید شدن نانوذرات کبالت با پوشش سیلیکا حین ساخت، باید از گاز ازل استفاده کرد. در تصویر هیچ قله‌ای که به سیلیس وابسته باشد وجود ندارد که بیانگر



شکل ۶ -الف) الگوی پراش پرتو X نانوذرات کبالت نمونه (a) و (ب) نانوذرات کبالت با پوشش سیلیکا (Co@SiO_2).



شکل ۷ تصویر TEM مربوط به نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس.



شکل ۸ منحنی‌های پسماند نانوذرات کبالت با پوشش سیلیکا و بدون پوشش.

ب)- نسبت مولی [citrate/Co] کم است. هرچه این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد احتمال تشکیل ساختار هسته و یک لایه پیر آن بیشتر می‌شود. در این مقاله نسبت مولی فوق نیم است.
ج)- ضخامت لایه‌ی سیلیس وابستگی شدیدی به طول زمان لازم برای هیدرولیز و مقدار TEOS دارد.

به دام افتادن چندین ذره‌ی کبالت در یک لایه‌ی سیلیس ، نبود یک لایه‌ی کروی و حضور توده‌های بزرگی از نانوذرات کبالت در نمونه می‌تواند ناشی از دلایل زیر باشد:
الف)- ذرات کبالت قبل از شروع پوشش در محلول به خوبی پخش نشده‌اند.

پس از افزودن محلول کلرید کبالت به محلول تازه آماده شده- ی بوروهیدریدسدیم و اسیدسیتریک، هسته‌های کبالت تولید می‌شوند.

د- با آزمایشهای مکرر مشاهده شد که در طول سنتز، چگونگی ریختن محلولها روی هم بسیار مهم است اگر محلول کلریدکبالت به سرعت به محلول بوروهیدریدسدیم و اسید سیتریک افزوده شود، تشکیل هسته‌ها (مرحله هسته زایی) آنی رخ می‌دهد و ذرات از همدیگر پراکنده‌تر خواهند بود. اما اگر ریختن محلولها به آهستگی صورت گیرد، طی مخلوط کردن به طور مداوم تشکیل هسته‌ها صورت می‌گیرد و هسته‌های تولید شده همانند بذر عمل خواهند کرد و پیش از به هم پیوستن تا ابعاد بزرگی رشد خواهند کرد [۱۶].

شکل ۸ منحنی‌های پسماند نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس و بدون پوشش، نمونه‌ی (a)، را در دمای اتاق نشان می‌دهد. از شکل‌های ۸ و ۴ می‌توان دریافت که هم نانوذرات کبالت و هم نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس در دمای اتاق خاصیت فرومغناطیسی دارند. با توجه به شکل ۸ و کاهش

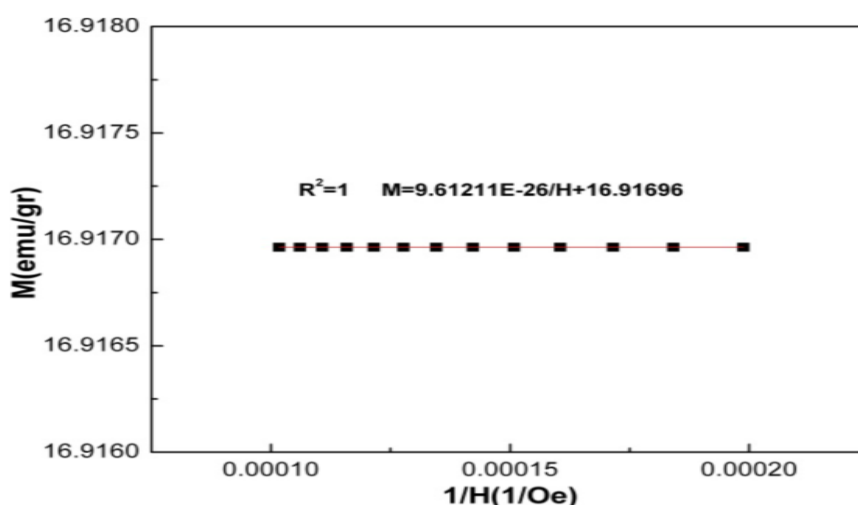
مغناطش اشباع نمونه Co@SiO_2 می‌توان گفت که تنها بخش کمی از سطح نانوذرات فوق ممکن است اکسید شده باشند (چون همه‌ی قله‌های اکسید کبالت در الگوی پراش ظاهر نشده‌اند). اگر لایه‌ی شفاف شکل ۷ اکسید کبالت Co_3O_4 می‌نشده‌اند. بود به علت آنتی فرومغناطیس بودن این اکسید، باید هم در منحنی پسماند انحراف و چین خوردگی مشاهده می‌شد و هم تغییر گذاری از فرومغناطیس به آنتی فرومغناطیس می‌داشتیم و علاوه بر آن نیز تعداد بیشتری قله در الگوی پراش شکل ۶-ب ظاهر می‌شدند [۱۵].

در جدول ۳ مقادیر مغناطش اشباع، مغناطش پسماند، میدان وادارندگی و قطر نانوذرات برای این نانوذرات کبالت و نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس با هم مقایسه شد.

برای محاسبه‌ی دقیق مغناطش اشباع در شکل ۹ نمودار مغناطش برحسب عکس میدان در گستره‌ی میدانهای بزرگ رسم و با برونمایی آن مغناطش اشباع محاسبه شد. هر چند برای نمونه کبالت با پوشش سیلیس در میدان‌های کم تقریباً حالت اشباع رخ داده است و نیازی به برونمایی ندارد.

جدول ۳ مقادیر H_c ، M_r و M_s نانو ذرات Co و Co@SiO_2 .

نمونه	اندازه بلورکها (nm)	ضخامت سیلیکا (nm)	$M_s(\text{emu/g})$	$M_r(\text{emu/g})$	$H_c(\text{Oe})$
Co (a)	۲۴	-	۱۰۴	۱۳	۱۱۳
Co (b)	۲۶	-	۱۱۶	۲۶	۴۰۹
Co (c)	۲۹	-	۱۲۷	۳۱	۴۱۴
Co@SiO_2	۱۷-۲۰	۵-۷	۱۷	۳	۹۸



شکل ۹ نمودار مغناطش بر حسب عکس میدان در میدانهای بزرگ Co@SiO_2 .

هیدروژن است. نتایج به دست آمده از الگوی پراش پرتو ایکس تشکیل فاز مورد نظر را برای این نانوذرات تأیید می‌کند. ساختار Co@SiO_2 نیز با استفاده از روش شیمیایی مرطوب ساخته شد. بررسی منحنی پسماند این ساختار نشان داد که مغناطش اشباع این ذرات بسیار کمتر از نانوذرات کبالت مشابه است.

مقادیر میدان وادارندگی، مغناطش اشباع و پسماند به دست آمده از حلقه‌ی پسماند برای نمونه‌ی هسته-لایه Co@SiO_2 به ترتیب برابر 98 Oe ، 17 emu/gr و 3 emu/gr است. بررسی الگوی پراش نشان داد که ساختار هسته-لایه تا حدودی از اکسید شدن پیشگیری می‌کند.

مراجع

- [1] M.L.Wagner, L.D. Schmidt, J. Phys. Chem. 99 (1995) 805.
- [2] S.W. Moore, Sol. Energy Mater. 12 (1985) 435.
- [3] M. Ozaki, Mater. Res. Soc. Bull. 14 (1989) 35.
- [4] F. Guo, H. Zheng, Z. Yang, Y. Qian, J. of Materials Letters 56 (2002) 906–909.
- [5] Y. Zhu, H. Zheng, Q. Yang, A. Pan, Z. Yang, Y. Qian, J. of Crystal Growth 260 (2004) 427–434.
- [6] V.F. Puentes, K.M. Kishnan, A.P. Alivisatos, Science 291 (2001) 2115.
- [7] D.P. Dinega, M.G. Bawendi, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 38 (1999) 1788.
- [8] X.L. Dong, C.J. Choi, B.K. Kim, Scripta Mater. 47 (2002) 857.
- [9] C. J. Fernandez, D. Niznansky, N. Viart, J. L. Rehspringer, J. Sol-Gel Sci. Technol. 8 (1997) 615.
- [10] J. F. Loffler, H. B. Braun, W. Wagner, G. Kostorz, A. Wiedenmann, Mater. Sci. Eng. A 304 (2001) 1050.
- [11] Y. D. Zhang, J. I. Budnick, W. A. Hines, S. A. Majetich, E. M. Kirkpatrick, Appl. Phys. Lett. 76 (2000) 94.
- [12] Y. D. Zhang, S. H. Wang, D. T. Xiao, US Patent Appl. No. 60 (2000) 243649.

مغناطش اشباع نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس برابر 17 emu/g است که بسیار کمتر از مغناطش اشباع کبالت حجمی فرومغناطیس (168 emu/g) و نیز مغناطش اشباع نانوذرات کبالت (نمونه‌های (a)، (b) و (c) است. میدان وادارندگی نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس (98 Oe) است که بسیار کمتر از میدان وادارندگی کبالت حجمی (1500 Oe) و نانوذرات کبالت (113 Oe برای نمونه‌ی (a)) است.

علت کمتر بودن این مقادیر برای ساختار هسته-لایه وجود لایه‌ی محافظ SiO_2 روی نانوذرات کبالت و اندازه‌ی بسیار کوچک نانوذرات است. لایه‌ی غیرمغناطیسی SiO_2 یکپارچگی یا بزرگی مغناطش را با از بین بردن گشتاور مغناطیسی سطحی تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۷].

برداشت

روشهای احیای شیمیایی در محلول‌های آبی یک روش مناسب و آسان برای تولید نانوذرات فلزی است. با استفاده از این روش نانوذراتی با اندازه‌ی نسبتاً کوچک با مغناطش اشباع بالا به دست می‌آید.

در این مقاله هدف اصلی عبارت بود از بررسی اثر دمای تکلیس بر ساختار و ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات کبالت و نیز ساخت نانوذرات کبالت با پوشش سیلیکا به روش شیمیایی مرطوب و مقایسه‌ی آنها با نانوذرات کبالت مجزا.

با بررسی منحنی پسماند نمونه‌های فوق مشاهده شد، نانوذرات کبالت فرومغناطیس هستند و بررسی تأثیر دمای تکلیس نشان داد که با افزایش دما علاوه بر افزایش اندازه‌ی نانوذرات، مغناطش اشباع آنها نیز افزایش می‌یابد. با توجه به تصویر TEM، نانوذرات کبالت ساخته شده در محیط قلیایی هیدرازین-اتانول ستونی شکل هستند.

بررسی روش‌های مختلف ساخت نانوذرات کبالت با پوشش سیلیس و مقایسه‌ی نتایج حاصل از آنها نشان داد که فرایند شیمیایی مرطوب یکی از بهترین و کم خطرترین روش‌های ساخت نانوذرات فوق در مقایسه با روش‌های احیای با گاز

Borkowski, T. Kasama, J. of Magnetism and Magnetic Materials 301 (2006) 336–342.

[16] V. Salgueirino-Maceira, M. Correa-Duarte, A. Huchtd, M. Farled. J. of Magnetism and Magnetic Materials 303 (2006) 163–166.

[17] D.H. Qin, L. Cao, Q.Y. Sun, Y. Huang, H.L. Li, Chem. Phys. Lett. 358 (2002) 484.

[13] V. Salgueirino-Maceira, M. Correa-Duarte, J. Mater. Chem 16 (2006) 3593–3597.

[14] Y. Kobayashi, M. Horie, M. Konno, B. Rodriguez-Gonzalez, L. M. Liz-Marzan, J. Phys. Chem. B 107 (2003) 7420-7425.

[15] A.S. Eggeman, A.K. Petford-Long, P.J. Dobson, J. Wiggins, T. Bromwich, R. Dunin-