

# سنتر و شناسایی نانوکامپوزیت باریم هگزا فریت با کاهنده‌ی نوین و بررسی ویژگی‌های مغناطیسی و فوتوکاتالیستی

اعظم سبحانی<sup>+</sup>\*

گروه شیمی، دانشگاه کوثر بجنورد، بجنورد، ایران

مهین بلدی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

**چکیده:** در این پژوهش نانوکامپوزیت‌های باریم هگزا فریت / آهن اکسید و باریم هگزا فریت / کیتوسان به روش سل - ژل خود احتراقی از نمک‌های نیترات فلزی تهیه شدند. آب آلبالو و آب پیاز به عنوان کاهنده در این سنتر استفاده شدند. آب آلبالو و پیاز در تهیه باریم هگزا فریت‌ها تاکنون استفاده نشده‌اند. در ادامه ویژگی‌های فوتوکاتالیستی و مغناطیسی نانوکامپوزیت‌ها بررسی شدند. فعالیت فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت‌های سنتر شده در حضور دو نور مرئی و فرابنفش برای تخریب متیل اورانژ بررسی شد. نتیجه‌ها، فعالیت فوتوکاتالیستی بالاتری را در حضور نور فرابنفش نشان داد. در بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نانوکامپوزیت‌ها یک لوپ هیستریسیس که نشان‌دهنده‌ی ویژگی فرومغناطیسی است، دیده شد.

**واژه‌های کلیدی:** نانوکامپوزیت، باریم هگزا فریت، کیتوسان، سل - ژل خود احتراقی.

**KEYWORDS:** Nanocomposite; BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>; Chitosan; Sol-gel auto-combustion.

## مقدمه

متخلخل تبدیل می‌شود که با کلسینه کردن در دمای مناسب به فراورده پایانی تبدیل می‌شود [۱]. پایه و اساس فرایند سل - ژل خود احتراقی بر مبنای فناوری پیشران موشکی قرار دارد به طوری که از یک عامل اکسیدکننده و یک سوخت به عنوان عامل احیاکننده استفاده می‌کنند. کنترل نسبت مناسب سوخت به اکسیدکننده می‌تواند به گرمای بالای به دست آمده از واکنش‌ها منجر شود بنابراین به منظور بهره‌گیری از واکنش‌های گرمازا انتخاب نسبت مناسب اکسیدکننده به سوخت از اهمیت بالایی برخوردار است. مطابق نظریه شیمیایی پروپلنت باید ظرفیت اکسیدکننده‌ها برابر با مجموع احیاکننده‌ها باشد. انتخاب نسبت نامناسب

سل - ژل خود احتراقی، روشی نوین با ترکیبی از روش سل - ژل و فرایند احتراقی برای تهیه فریت‌های سخت و نرم می‌باشد. در این روش نخست مواد اولیه که به طور عمده به صورت ترکیب‌های نیتراتی هستند در یک حلال آبی در نسبت‌های مولی مناسب حل می‌شوند که به طور معمول برای تنظیم pH محلول از بازهای ضعیفی مانند آمونیاک استفاده می‌شود. گرم کردن محلول اولیه سبب تبدیل سل به یک ژل با گرانیوی بالا می‌شود، ژل به دست آمده با بالا رفتن دما طی یک فرایند احتراقی به شدت گرمازا ناشی از واکنش مواد آلی به عنوان عامل احیاکننده و نیترات‌ها به عنوان عامل اکسیدکننده به خاکستری نرم و به شدت

+E-mail: sobhani@kub.ac.ir, sobhaniazam@gmail.com

\* عهده دار مکاتبات

الگوهای XRD توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (Philips X'pertPro) ثبت شد. هدف لامپ پرتو ایکس این دستگاه از جنس مس و صافی مناسب آن نیکل است. تصویرهای میکروسکوپی SEM توسط میکروسکوپ الکترونی مدل TESCAN Mira3 FE-SEM مجهز به یک طیف‌نگار پراکنده کننده انرژی پرتو ایکس، ثبت شد. طیف FT-IR نانوکامپوزیت‌ها توسط اسپکتروفتومتر Nicolet Magna-550 توسط قرص‌های پتاسیم برمید<sup>۴</sup> ثبت شد. اندازه‌گیری‌های مغناطیسی توسط دستگاه VSM ساخت شرکت مغناطیس دقیق کوپر و دانشگاه کاشان، در دمای اتاق صورت گرفت. دستگاه آون فن‌دار استفاده شده برای تهیه‌ی نانوساختارها متعلق به شرکت Memmert آلمان بود.

### سنتز نانوکامپوزیت باریم هگزافریت / آهن اکسید

نخست باریم نیترات در آب مقطر حل شد. سپس آب آلبالو به آن افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سلسیوس هم‌زده شد. در ادامه آهن نیترات نه آبه در آب مقطر حل و به محلول افزوده شد. محلول به‌دست‌آمده در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس بر روی گرم‌کن قرارگرفت تا ژل گرانبو تهیه شد. ژل درون آون در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس خشک و سپس در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت کلسینه شد. آزمایش دوم همانند آزمایش نخست تکرار شد، تنها از آب پیاز به جای آب آلبالو استفاده شد. چکیده‌ای از شرایط در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

### سنتز نانوکامپوزیت باریم هگزافریت / کیتوسان

محلول ۲ درصد وزنی کیتوسان به نانوساختارهای باریم هگزافریت تهیه شده در مرحله پیشین افزوده شد. پس از چرخش محلول به مدت ۲۴ ساعت و بخار حلال، نانوکامپوزیت باریم هگزافریت / کیتوسان تشکیل و با آب مقطر و اتانول چندین مرتبه شسته شد. در مرحله آخر نانوکامپوزیت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت خشک شد. خلاصه‌ای از شرایط استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

### نتیجه‌ها و بحث

شکل ۱(a) و (b) الگوهای XRD نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت تهیه شده در حضور کاهنده‌های گوناگون (آب آلبالو و پیاز) را نشان می‌دهد. الگوی XRD در شکل ۱(a) تشکیل مخلوطی از  $BaFe_{12}O_{19}$

نیترات‌ها به سوخت به ایجاد فازهای میانی ناخواسته یا مواد اولیه واکنش نیافته منجر می‌شود [۲].

هدف از این پژوهش، سنتز یک نانوفوتوکاتالیست با ویژگی‌های مغناطیسی، به کارگیری روشی ساده، ارزان و با راندمان بالا و همچنین استفاده از مواد اولیه و حلال ارزان، غیرسمی و زیست سازگار است. نانوذره‌های مغناطیسی، از مهم‌ترین و پرکاربردترین انواع نانومواد می‌باشند که ویژگی‌های یگانه‌شان موجب ایجاد کارایی‌های ویژه برای آن‌ها نسبت به سایر نانوساختارها می‌شود. این نانوذره‌ها در شاخه‌های گوناگون قابل کاربرد هستند. کوچک شدن ذره‌ها و افزایش سطح باعث تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این مواد می‌شود به طوری که ویژگی‌های مغناطیسی متفاوت و ویژه‌ای از خود نشان می‌دهند. نانوساختارهای باریم هگزافریت سنتز شده در این پژوهش در ساخت مگنت‌ها، وسیله‌های الکتریکی، همچنین ذخیره‌سازی اطلاعات و زمینه‌های پزشکی کاربرد دارند.

در این پژوهش از نمک‌های نیترات فلزی و دو کاهنده‌ی طبیعی آب آلبالو و آب پیاز استفاده شد. این دو کاهنده‌ی طبیعی تا کنون در سنتز باریم هگزافریت‌ها استفاده نشده‌اند. کیتوسان یک جاذب مؤثر و کم‌هزینه است [۴، ۳]، که در سال‌های اخیر برای حذف آلودگی آب موردتوجه بسیار قرارگرفته است [۵، ۶]. از سوی کیتوسان به‌عنوان یک پلی‌ساکارید و دارابودن گروه‌های آمین و هیدروکسیل برای سازمان‌دهی و اصلاح نانوذره‌های فریتی استفاده شده است. به همین دلیل پژوهشگران زیادی از این ماده در برای بهبود و اصلاح ویژگی‌های انواع مواد مغناطیسی بهره برده‌اند [۷، ۸].

### بخش تجربی

در این پژوهش از باریم نیترات<sup>۱</sup> و آهن نیترات نه آبه<sup>۲</sup> به عنوان پیش ماده‌های فلزی استفاده شد. این نمک‌ها فراورده شرکت مرک<sup>۳</sup> بوده و از خلوص بالایی برخوردار بودند، به طوری که هیچ خالص‌سازی دوباره‌ای برای این نمک‌ها انجام نگرفت. دو کاهنده‌ی طبیعی شامل آب آلبالو و پیاز در این پژوهش استفاده شدند. همچنین کیتوسان به عنوان یک ماده مهم در تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های هگزافریتی استفاده شد. حلال‌های انتخابی برای تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های یادشده، آب به عنوان یک حلال غیرسمی، ارزان، تمام نشدنی و همیشه در دسترس بوده است. حلال اتانول نیز برای شستشوی فراورده‌های به دست آمده از واکنش‌ها به کار رفت.

(۱)  $Ba(NO_3)_2$

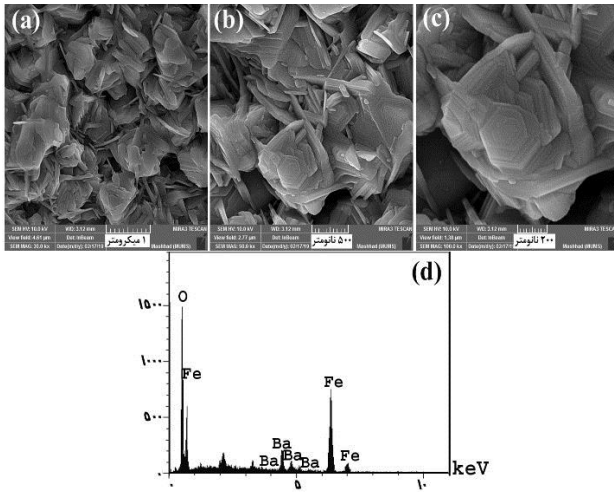
(۳) Merck

(۲)  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$

(۴) KBr

جدول ۱- چکیده‌ای از شرایط واکنش‌های تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت

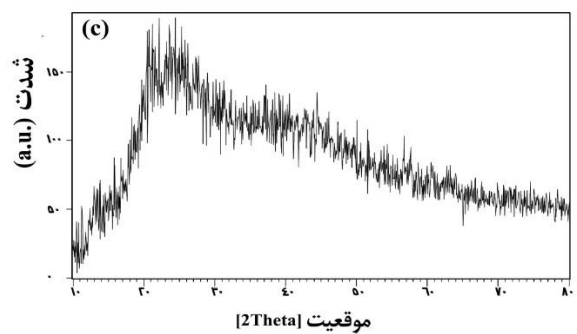
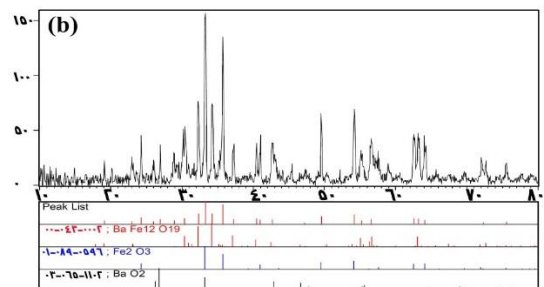
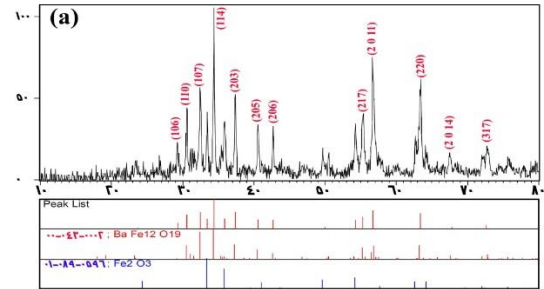
شماره نمونه	پیش ماده	نسبت آهن: باریم	کاهنده	پلیمر	زمان کلسینه (ساعت)	دما کلسینه (درجه سلسیوس)
۱	باریم نیترات + آهن نیترات نه آبه	۱:۱۲	آب آلبالو	—	۲	۹۰۰
۲	باریم نیترات + آهن نیترات نه آبه	۱:۱۲	آب پیاز	—	۲	۹۰۰
۳	نمونه شماره ۱	۱:۱۲	آب آلبالو	کیتوسان (۲٪ وزنی/وزنی)	—	—



شکل ۲- (a-c) تصاویرهای SEM و (d) الگوی EDS از نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/ آهن اکسید به دست آمده در حضور آلبالو

ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت‌های به دست آمده با استفاده از آنالیز SEM بررسی شد. شکل ۲ (a-c) تصاویرهای SEM نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/ آهن اکسید را در حضور آلبالو نشان می‌دهد. این تصاویرها نشان‌دهنده‌ی تشکیل نانوصفحه‌های هگزگونالی به هم چسبیده با اندازه‌های گوناگون می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از دو کاهنده‌ی ملایم آلبالو و پیاز، دو مرحله‌ی هسته‌زایی و رشد کنترل می‌شوند. با کنترل این دو مرحله، شکل و اندازه ذره‌ها کنترل شده و چون سرعت انجام واکنش پایین است نانوذره‌های تشکیل شده فرصت لازم برای چیدمان منظم و تشکیل نانوصفحه‌های هگزگونالی را دارند [۹]. حضور پیک‌های O، Fe و Ba در الگوی EDS در شکل ۲ (d)، تشکیل نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/ آهن اکسید را تأیید می‌کند.

شکل ۳ (a) و (b) به ترتیب طیف‌های FT-IR نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/ آهن اکسید و باریم هگزافریت/ کیتوسان را نشان می‌دهد. در شکل ۳ (a) پیک‌های به دست آمده در ناحیه  $335 \text{ cm}^{-1}$  و  $582/31 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش‌های کششی فلز-اکسیژن است [۱۰]. پیک‌های ظاهر شده در ناحیه  $3445/93 \text{ cm}^{-1}$  و  $1630/63 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به ارتعاش‌های کششی و خمشی مولکول‌های آب

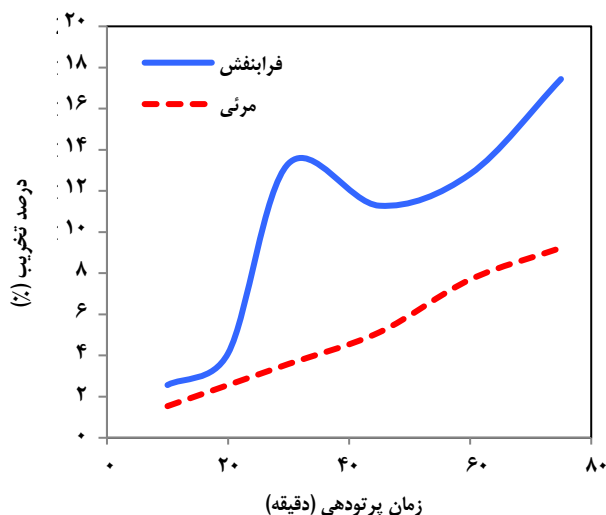


شکل ۱- الگوهای XRD از نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت به دست آمده در حضور آلبالو (□)، پیاز (□) و نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/ کیتوسان

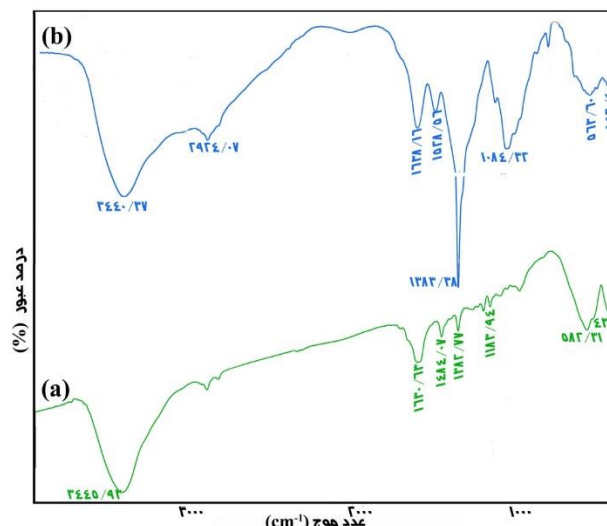
با شماره کارت ۰۰۰۲-۰۴۳-۰۰۰ و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  با شماره کارت ۰۱-۰۸۹-۰۵۹۶ را در حضور آلبالو نشان می‌دهد. درحالی‌که در حضور پیاز مخلوطی از سه ماده  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{BaO}_2$  تشکیل می‌شوند. در بررسی اثر کاهنده، آلبالو به عنوان کاهنده بهینه در شرایط آزمایش حاضر انتخاب شد. شکل ۱ (c) الگوی XRD نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/ کیتوسان را با ساختاری بی‌شکل نشان می‌دهد.

جدول ۲- ارتعاش‌ها مربوط به پیوندها در نانوکامپوزیت‌های باریم هگزا فلیت (به دست آمده از طیف‌های FT-IR)

نانوکامپوزیت	$\nu_{M-O} (cm^{-1})$	$\nu_{H_2O} (cm^{-1})$	$\delta_{H_2O} (cm^{-1})$
باریم هگزا فلیت/ آهن اکسید	۵۸۲/۳۱, ۴۳۵	۳۴۴۵/۹۳	۱۶۳۰/۶۳
باریم هگزا فلیت/ کیتوسان	۵۶۳/۶۰, ۴۴۵/۴۰	۳۴۴۰/۳۷	۱۶۳۸/۱۶



شکل ۴- منحنی فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت‌های باریم هگزا فلیت/ آهن اکسید در حضور نور فرابنفش و مرئی



شکل ۳- طیف‌های FT-IR از نانوکامپوزیت‌های: (a) باریم هگزا فلیت/ آهن اکسید، (b) باریم هگزا فلیت/ کیتوسان

که A و A0 به ترتیب جذب‌های نمونه مایع در پیش و پس از تخریب هستند.

شکل ۴ منحنی فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت‌های باریم هگزا فلیت / آهن اکسید را در حضور دو نور فرابنفش و مرئی نشان می‌دهد. این شکل فعالیت فوتوکاتالیستی این نانوکامپوزیت‌ها را ثابت می‌کند. همان‌گونه که انتظار می‌رود فعالیت فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت‌های سنتز شده در این کار در حضور نور فرابنفش بیشتر است. قنبری و همکاران نانوذره‌های باریم هگزا فلیت را تهیه نمودند و به منظور افزایش فعالیت فوتوکاتالیستی این نانوذره‌ها، فوتوکاتالیست TiO<sub>2</sub> را به آن‌ها افزودند [۱۵]. این گروه پژوهشی همچنین نانوکامپوزیت‌های BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO را سنتز کردند [۱۶]. آن‌ها فعالیت فوتوکاتالیستی هر دو نانوکامپوزیت را زیر تابش UV برای تخریب رنگ‌های آلی گوناگون بررسی نمودند. فعالیت فوتوکاتالیستی باریم هگزا فلیت‌ها توسط Kaur و همکاران همچنین بررسی شده است [۱۷]. نتیجه‌های پژوهش این گروه و همچنین گروه Sharma نشان می‌دهد که حضور آهن اکسید در میان باریم هگزا فلیت‌ها تأثیر زیادی روی فعالیت فوتوکاتالیستی آن‌ها ندارد [۱۸].

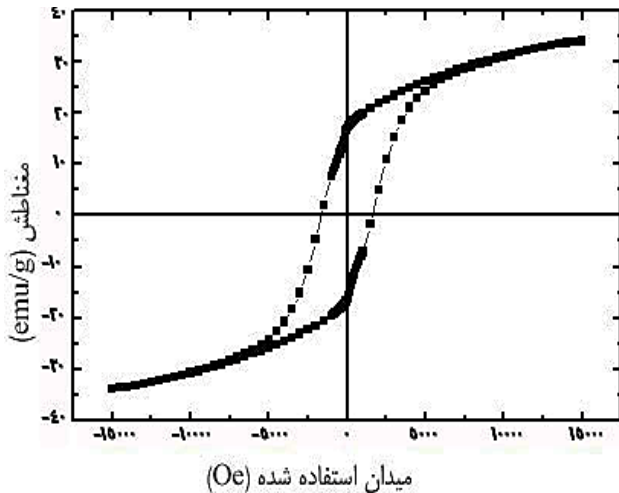
جذب شده در سطح نانوکامپوزیت‌های BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> است [۱۱]. نوار دیده شده در ناحیه  $1484/07 \text{ cm}^{-1}$  به دلیل ارتعاش خمشی NH<sub>2</sub> و نوارهای جذبی ظاهر شده در  $1382/77 \text{ cm}^{-1}$  و  $1183/94 \text{ cm}^{-1}$  ب ه علت ارتعاش‌های کششی C-O است [۱۲]. طیف FT-IR نانوکامپوزیت‌های باریم هگزا فلیت/کیتوسان در شکل ۳(b)، نتیجه‌های همانند با شکل ۳(a) را نشان می‌دهد. برخی برهم‌کنش‌ها بین فلیت‌ها و آهن اکسید و کیتوسان، به وسیله جابه‌جا شدن پیک‌های FT-IR به سمت مقدارهای بالاتر توضیح داده می‌شوند. در مجموع طیف FT-IR شاهدهی را فراهم می‌کند که زنجیره‌های کیتوسان با موفقیت بر روی سطح نانوساختارها قرار گرفته‌اند. اطلاعات به دست آمده از طیف FT-IR در جدول ۲ آمده است.

ویژگی فوتوکاتالیستی نانوکامپوزیت‌های به دست آمده، زیر نور فرابنفش<sup>۱</sup> و مرئی<sup>۲</sup> با اندازه‌گیری درصد تخریب متیل‌اورانژ بررسی شده است. با استفاده از فرمول زیر درصد تخریب متیل‌اورانژ در حضور این دو نانوکامپوزیت محاسبه می‌شود [۱۳، ۱۴]:

$$\%D = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

(۱) Ultraviolet

(۲) Visible



شکل ۵- منحنی VSM نانوکامپوزیتهای باریم هگزافریت / آهن اکسید

از FT-IR برای بررسی ارتعاش‌ها و از VSM برای بررسی ویژگی مغناطیسی استفاده شد. در این پژوهش دو عامل کاهنده‌ی طبیعی و نوین شامل آب آلبالو و آب پیاز استفاده شدند. با بررسی نتیجه‌های به دست آمده، آب آلبالو به عنوان عامل کاهنده بهینه معرفی شد. نتیجه‌های VSM ویژگی فرومغناطیسی نانوکامپوزیت‌ها را نشان داد. مقدار نیروی پسماندگی نانوکامپوزیت‌های فرومغناطیسی سنتز شده ۱۶۱۲/۶۲ اهم به دست آمد. نانوکامپوزیت‌های سنتز شده، فعالیت فوتوکاتالیستی را در حضور هر دو نور فرابنفش و مرئی نشان دادند.

در بررسی ویژگی‌های مغناطیسی با استفاده از دستگاه VSM منحنی مغناطش<sup>۱</sup> بر حسب میدان به کار رفته برای نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت/آهن اکسید ترسیم شد. منحنی به دست آمده در شکل ۵ رفتار فرومغناطیسی را برای نانوکامپوزیت‌ها نشان می‌دهد. مقدارهای نیروی پسماندگی<sup>۲</sup> (Hc)، مغناطش اشباع<sup>۳</sup> (Ms) و مغناطش باقی‌مانده<sup>۴</sup> (Mr) در نانوکامپوزیت‌ها به ترتیب ۱۶۱۲/۶۲، ۳۳/۷۷ emu/g و ۱۷/۰۷ می‌باشند. در سال ۲۰۱۴ میلادی، Aydogan و همکاران، باریم هگزافریت را در محلول NaCl و KCl در درصدهای وزنی گوناگون تهیه و ویژگی مغناطیسی آن‌ها را بررسی کردند. مقدارهای پسماندگی به دست آمده برای این باریم هگزافریت‌ها در بازه ۷۵۳ Oe تا ۱۶۰۰ Oe گزارش شده است [۱۹]. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که نانوکامپوزیت‌های تهیه شده در این پژوهش مقدار پسماندگی بالاتری دارند (۱۶۱۲/۶۲ Oe). همچنین Tan و همکاران در سال ۲۰۱۳ میلادی باریم هگزافریتی با مقدارهای Ms، Hc و Mr به ترتیب ۱۶۰۷ Oe، ۵۵ emu/g، ۳۲ emu/g تهیه کردند [۲۰]. نانوکامپوزیت‌های تهیه شده در این پژوهش مقدارهای Ms و Mr کمتر و Hc بالاتری نسبت به باریم هگزافریت خالص تهیه شده توسط Tan نشان می‌دهند. در سال ۲۰۰۷ میلادی Sharma و همکاران ویژگی مغناطیسی BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> خالص و همچنین BaFe<sub>12-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>19</sub> را بررسی کردند. با مقایسه‌ی منحنی VSM هر دو نمونه، BaFe<sub>12-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>19</sub> مغناطش اشباع کم‌تر و پسماندگی بیش‌تری را نسبت به باریم هگزافریت خالص نشان داد [۲۱]. بررسی گروه پژوهشی ما نشان می‌دهد با افزودن یک ناخالصی به باریم هگزافریت و یا تشکیل نانوکامپوزیت آن، مقدارهای Ms و Mr کاهش ولی مقدار Hc افزایش می‌یابد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش از روش سل - ژل خوداحتراقی جهت تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های باریم هگزافریت استفاده شده است. روش سل - ژل متداول‌ترین روش تولید نانوذره‌ها در فاز مایع است. مرحله‌های واکنش سل - ژل به ترتیب عبارت‌اند از: مخلوط کردن پیش‌ماده‌ها، فرایند آبکافت و تشکیل سل، فرایند ژل‌شدن، عمل‌آوری، خشک‌کردن، آب‌زدایی و متراکم کردن. پس از سنتز نانوکامپوزیت‌ها، ریخت‌شناسی آن‌ها با استفاده از دستگاه SEM تعیین شد. در ادامه ساختار و بلورینگی فرآورده‌ها با دستگاه XRD بررسی شد. همچنین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۵

(۱) Magnetization  
(۳) Saturation magnetization

(۲) Coercivity  
(۴) Remanence magnetization

## مراجع

- [1] Ding J., Maurice D., Miao W.F., McCormik P. G., Street R., Hexaferrite Magnetic Materials Prepared by Mechanical Alloying, *J. Magan. Mater.*, **150**: 417-420 (1995).
- [2] Haneda K., Miyakawa C., Kojima H., Preparation of High-Coercivity  $BaFe_{12}O_{19}$ , *J. Am. Ceram. Soc.*, **57**: 354-357 (1974).
- [3] Bhatnagar A., Sillanpää M., Applications of Chitin- and Chitosan-Derivatives for the Detoxification of Water and Wastewater, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **152**: 26-38 (2009).
- [4] Crini G., Badot P.-M., Application of Chitosan, a Natural Aminopolysaccharide, for Dye Removal from Aqueous Solutions by Adsorption Processes Using Batch Studies, *Prog. Polym. Sci.*, **33**: 399-447 (2008).
- [5] Miretzky P., Cirelli A.F., Fluoride Removal from Water by Chitosan Derivatives and Composites, *J. Fluor. Chem.*, **132**: 231-240 (2011).
- [6] Elwakeel K.Z., Environmental Application of Chitosan Resins for the Treatment of Water and Wastewater, *J. Dispersion Sci. Technol.*, **31**: 273-288 (2010).
- [7] Reddy D.H.K., Lee S.-M., Application of Magnetic Chitosan Composites for the Removal of Toxic Metal and Dyes from Aqueous Solutions, *Adv. Colloid Interface Sci.*, **201-202**: 68-93 (2013).
- [8] Singh J., Srivastava M., Kalita P., Malhotra B.D., A Novel Ternary  $NiFe_2O_4/CuO/FeO$ -Chitosan Nanocomposite as a Cholesterol Biosensor, *Process Biochem.*, **47**: 2189-2198 (2012).
- [9] Swarnavalli GCJ, Joseph V, Kannappan V, Roopsingh D, A Simple Approach to the Synthesis of Hexagonal-Shaped Silver Nanoplates, *J. Nanomat.*, **2011**: 825637-825641 (2011).
- [10] Meng Y.Y., He M.H., Zeng Q., Jiao D.L., Shukla S., Ramanujan R.V., Liu Z.W., Synthesis of Barium Ferrite Ultrafine Powders by a Sol-Gel Combustion Method Using Glycine Gels, *J. Alloys Compd.*, **583**: 220-225 (2014).
- [11] Sobhani A., Salavati-Niasari M., Sobhani M., Synthesis, Characterization and Optical Properties of Mercury Sulfides and Zinc Sulfides Using Single-Source Precursor, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, **16**: 410-417 (2013).
- [12] Covaliu C., Berger D., Matei C., Diamandescu L., Vasile E., Cristea C., Ionita V., Iovu H. Magnetic Nanoparticles Coated with Polysaccharide Polymers for Potential Biomedical Applications, *J. Nanopart. Res.*, **13**: 6169-6180 (2011).
- [13] Mahdiani M., Sobhani A., Salavati-Niasari M., The First Synthesis of  $CdFe_{12}O_{19}$  Nanostructures and Nanocomposites and Considering of Magnetic, Optical, Electrochemical and Photocatalytic Properties, *J. Hazard. Mater.* **367**: 607-619 (2019).
- [14] Mahdiani M., Sobhani A., Salavati-Niasari M., Enhancement of Magnetic, Electrochemical and Photocatalytic Properties of Lead Hexaferrites with Coating Graphene and CNT: Sol-Gel Auto-Combustion Synthesis by Valine, *Sep. Purif. Technol.* **185**: 140-148 (2017).

- [15] Ebrahimi Z., Hedayati K., Ghanbari D., [Preparation of Hard Magnetic BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanocomposites: Applicable for Photo-Degradation of Toxic Pollutants](#), *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **28**: 13956-13969 (2017).
- [16] Rezaei A., Saffari J., Nabiyouni G., Ghanbari D., [Magnetic and Photo-Catalyst BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>-ZnO: Hydrothermal Preparation of Barium Ferrite Nanoparticles and Hexagonal Zinc Oxide Nanostructures](#), *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **28**: 6607-6618 (2017).
- [17] Kaur P., Kaushik A., Singhal S., [Comparative Evaluation of Photocatalytic Performance of Hexagonal Ferrites Procured via Sol-Gel Route](#), *Mater. Today: Proc.* **14**: 426-434 (2019).
- [18] Sharma P., Kumar R., Chauhan S., Singhand D., Chauhan M.S., [Facile Growth and Characterization of  \$\alpha\$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles for Photocatalytic Degradation of Methyl Orange](#), *J. Nanosci. Nanotechnol.* **14**: 6153-6157 (2014).
- [19] Aydogan E., Kaya S., Dericioglu A.F., [Morphology and Magnetic Properties of Barium Hexaferrite Ceramics Synthesized in x wt% NaCl-\(100-x\) wt% KCl Molten Salts](#), *Ceram. Int.* **40**: 2331-2336 (2014).
- [20] Tan G., Chen X., [Structure and Multiferroic Properties of Barium Hexaferrite Ceramics](#), *J. Magan. Magan. Mater.* **327**: 87-90 (2013).
- [21] Sharma P., Rocha R.A., Medeiros S.N., Hallouche B., Paesano A., [Structural and Magnetic Studies on Mechanothesized BaFe<sub>12-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>19</sub>](#), *J. Magan. Magan. Mater.* **316**: 29-33 (2007).