

تهیه نانوکامپوزیت پلی یورتانی فوم سخت سوپرپارامغناطیسی Fe₃O₄@SiO₂-PUF به روش درجا و مطالعه خواص حرارتی و مغناطیسی آن

میر محمد علوی نیکجه ۰٬۰ و محمد امین فرهمند نژاد

۲- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
 ۲- گروه نانو تکنولوژی، پژوهشکده مهندسی سازمان فضایی ایران

دریافت: اسفند ۱۳۸۹، بازنگری: اسفند ۱۳۸۹، پذیرش: فروردین ۱۳۹۰

چکیده: در این تحقیق نانوکامپوزیت پلی یورتانی فوم سخت سوپر پارامغناطیسی به روش درجا سنتز شد. برای سنتز این نانوکامپوزیت، نانوذرات هسته-پوسته SiO2@Fe₃O₄ با روش سل-ژل و با پیش ماده تترا اتیل اورتو سیلیکات (TEOS) سنتز شدند و با آنالیز میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و طیفسنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) مشخصه یابی شدند. فاز کریستالی مورد نظر در هستهی مگنتیت (Fe₃O₄) و نانو ذرات هسته-پوسته به روش آنالیز تفرق اشعه ایکس (XRD) تایید شد. نانوذرات هسته-پوسته با درصدهای ۱ تا ۳، به زمینه پلی یورتانی اضافه شدند. خواص حرارتی و مغناطیسی نانوکامپوزیتهای سنتز شده به ترتیب با روشهای آنالیز وزن سنجی حرارتی(TGA) و آنالیز خواص مغناطیسی (VSM) مورد مطالعه قرار گرفت. نتیجهها حاکی از این بود که اضافه شدن نانو ذرات هسته-پوسته تا ۲ درصد سبب بهبود خواص حرارتی فومهای سخت پلی یورتانی می شود و افزایش این درصد تا ۳، بهبود قابل توجهی را سبب نمی شود. آنالیز خواص مغناطیسی نشان داد، نانوکامپوزیت سنتز شده خواص سور پارامغناطیسی و اندکی خواص فرومغناطیسی از خود نشان داد که قابلیت کاربرد در حوزههای مختلفی را داراست.

کلمات کلیدی: نانو کامپوزیتهای فرومغناطیس، فومهای سخت پلی یورتان، فرایند سل-ژل، اکسید آهن

مقدمه

ماتریس پلی یورتان حاوی ذرات مغناطیسی در ابعاد نانو باعث پیدایش کاربردهای ویژه این دسته از نانو کامپوزیتها شده است. نانو ذرات مغناطیسی تهیه شده به روش هسته- پوسته به دلیل ایجاد پیوندهای کوالانسی با زنجیره پلیمری به ویژه پیوندهای هیدروژنی باعث تشکیل نانو کامپوزیت هایی با کارایی بالا و ویژگیهای مغناطیسی می شوند. از طرف دیگر بهبود ساختار نانو ذرات اکسید آهن با استفاده از دی اکسید سیلیسیم بدون اثر

بخشی در کاهش خاصیت مغناطیسی این ترکیب باعث افزایش پایداری گرمایی، بهبود مقاومت در مقابل اسیدها و نیز جلوگیری از تغییرات فازی این ترکیب می شود. با توجه به کاربردهای منحصر به فرد فومهای سخت پلی یورتان به ویژه به دلیل داشتن ضریب انتقال حرارتی بسیار پایین، از این دسته از فوم ها در عایق کاری سامانههای گرمایی و سرمایی، خطوط انتقال نفت و گاز، مبل و دکوراسیون منازل و مراکز تجاری استفاده می شود. با به کار گیری ذرات اکسید آهن در تهیه فومهای پلی یورتانی میتوان از خصلت

> Drmm.alavi@gmail.com عهدهدار مكاتبات: www.SID.ir

دوگانه عایق بودن و مغناطیس بودن این دسته از نانو ذرات به طور یک جا بهره جست [۱-۵] . از جمله مزایای قرار گرفتن پوشش ₂SiO حول نانوذرات ₄Fe₃O می توان به ماندگاری ساختار بلوری این نانوساختارها در دماهای بالا اشاره کرد. نانو ذرات بدون پوشش SiO₂ با قرار گرفتن در معرض دماهای بالا (حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد) به دلیل تبدیل Fe₃O₄ به Fe₂O₄ متحمل تغییر فاز و در نهایت تغییر ساختار شده و ساختار بلوری مورد نظر را حفظ نمی کنند، در حالی که با قرار گرفتن پوشش SiO حول این نانوذرات، مقاومت ترکیب بالا رفته و همچنان ساختار بلوری خود را تا دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد حفظ می کنند که این حفظ ساختار بلوری به نوبهی خود سهم به سزایی در ویژگیها نهایی کامپوزیتهای تهیه شده با این اکسید ایفا می کند. مطالعات نشان می دهد که استفاده از این روش و به کار گیری این نانو ذرات در ماتریسهای پلیمری باعث پیدایش کاربردهای تحقیقاتی و فنی گسترده پلیمرهای تهیه شده گردیده است [۶٫ ۷]. همچنین بررسیهای دقیق نشان داد که گزارش حاضر نخستین گزارش در تهیه نانو کامپوزیتهای پلی یورتانی مغناطیس بوده و میتواند در مواردی نظیر تهیه فومهای قابل اتصال به فلزات، دکوراسیون منازل و مراکز تجاری و نيز در توليد قطعات صنعتي و اتصال أنها به فلزات بدون به کارگیری چسب و عوامل پیوندی مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه پژوهش های خود در زمینه تهیه نانو کامیوزیتهای پلی یورتانی با ویژگیهای کاربردی، در این پژوهش بر آن شدیم تا برای

یورنانی با ویژ کی های کاربردی، در این پژوهش بر آن شدیم نا برای اولین بار اقدام به تهیه نانوکامپوزیتهای پلی اورتانی مغناطیسی نموده و برخی ویژگی آن ها را مورد مطالعه قرار دهیم [۸–۱۰].

بخش تجربى

کلرید آهن (II) چهار آبه (FeCl2•4H2O, 99.7%)، کلرید آهن (III) شش آبه (FeCl3•6H2O, 99.0%)، محلول آمونیاک (NH3.H2O, 25%)، اتانول (FeCl3•6H2O)، تترا اتیل اورتو سیلیکات (NH3.H2O, 25%) و سیتریک اسید همگی از شرکت مرک تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند. پلی ال و ایزوسیانات استفاده شده در این تحقیق از شرکت Hantsmann و با مشخصات زیر تهیه گردیدند: پلی اتر پلی ال (با نام تجاری ۵۲۶۰ سانتی به صورت مایع ویسکوز زرد کمرنگ، ویسکوزیته ۵۲۶۰ سانتی

پواز، درصد آب ۲٫۳ و عدد هیدروکسیل ۴۳۰± ۲۰) و متیلن دی فنیلن دی ایزوسیانات، MDI (با نام تجاری 5005 suprasec به صورت مایع قهوهای تیره با ویسکوزیته ۲۲۰ سانتی پواز در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد).

سایز و مورفولوژی نانو ذرات مگنتیت با استفاده از میکروسکوپ الكتروني كسيل ميداني (FE-SEM, Hitachi, SE4160) مورد ارزیابی قرار گرفت. شناسایی پوشش سیلیکایی حول نانو ذرات مگنتیت به وسيله طيف سنج مادون قرمز (FTIR, Bruker, Tensor 27) به دست آمد. سایز و مورفولوژی نانو ذرات Fe₃O₄@SiO₅ با دستگاه ميكروسكوپ الكتروني عبوري (TEM, Philips, CM120) ساخت کشور هلند با ولتاژ شتاب دهنده ۱۲۰ Kv بدست آمد. نمونه نانو ذرات _{Fe3}O₄@SiO₂ به وسیله حمام التراسونیک در آب پراکنده شد و سپس بر روی یک شبکهی مسی و به منظور تهیه تصویر TEM چکانده شد. شناسایی فاز و ساختار کریستالی نانو ذرات مگنتیت و نانو ذرات هسته-یوسته به وسیله آنالیز پراش پرتو ایکس (X-Ray diffractometer, Philips, PW 1800) و با دستگاه مجهز به لامپ مس با تابش ویژه (۲۵ Ka: ۱٬۵۴۱۸ Å) تولید شده در ۴۰Kv و ۳۰mA انجام شد. آنالیز وزن سنجی حرارتی با دستگاه در جو نيتروژن و (Perkin-Elmer, Pyris Diamond TG/DTA) در محدوده دمای اتاق تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و با نرخ افزایش دمای C/min انجام شد. آنالیزهای خواص مغناطیسی با دستگاه (VSM-ساخت شرکت مغناطیس دقیق کویر-کاشان) به دست آمد.

 Fe_3O_4 سنتز نانوذرات

نانوذرات Fe_3O_4 به روش هم رسوبی و با پیش مادههای کلریدهای آهن III , III با نسبت (mol/mol ۲:۱) سنتز شدند. ابتدا محلولی آهن III , III با نسبت (mol/mol ۲:1) سنتز شدند. ابتدا محلولی به حجم یک لیتر از نمک FeCl₃.6H₂O (۵ میلی مول) و نمک FeCl₂.4H₂O (۵ میلی مول) در یک بشر تهیه شد. محلول تا دمای $0^\circ + 8$ گرم شد و پس از آن گاز N_2 به منظور خارج کردن اکسیژن محلول و جلوگیری از فرایندهای اکسایش به مدت ۳۰ دقیقه در محلول دمیده شد. پس از آن محلول آمونیاک (۳۰ میلی لیتر) به صورت قطره-قطره افزوده شد تا H در گستره 9 تا ۱۰ ثابت بماند. قطره-قطره افزودن آمونیاک سبب کاهش قطر و توزیع اندازه نانوذرات می شود. سپس محلول به مدت 8 ساعت به وسیله همزن مکانیکی

همزده شد. رسوب ایجاد شده ۲ مرتبه با آب مقطر شسته شد. به منظور عمل آوری نانوذرات، به رسوب بهدست آمده سیتریک اسید (۵۰۰ میلی مول اسید ۲/۲ مولار) افزوده شد و به مدت ۱۰ دقیقه در حمام التراسونیک قرار داده شد تا پراکنش آن کامل شود. نانو ذرات سنتز شده با استفاده از فیلتراسیون از اسید اضافی جدا شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای C° ۴۰ در آون خشک شدند. نانوذرات به دست آمده رنگ مشکی داشتند و به وسیله مگنت جذب می شدند.

سنتز نانو ساختارهای Fe₃O₄@SiO₂

نانوساختارهای ${}_{2}\operatorname{GsiO}_{2}\operatorname{GsiO}_{2}$ با تکنیک سل-ژل و به روش اشتوبر سنتز شد. نانوذرات $\operatorname{Fe}_{3}O_{4}$ تهیه شده در بخش قبلی (۱/۰ گرم) آب مقطر (۱۰۰ میلی لیتر) و اتانول (۵۰۰ میلی لیتر) به مدت ۱۵ دقیقه در حمام التراسونیک پراکنده شد. سپس محلول آمونیاک (۱۲ میلی لیتر) و تترا اتیل اورتوسیلیکات (۱/۵۴ گرم) به آن افزوده و به مدت ۵ ساعت و با استفاده از همزن مکانیکی همزده شد. نانو ذرات تهیه شده به روش سل– ژل با استفاده از دستگاه سانتریفوژ و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه از محلول جداشده و پس از شستشو با آب مقطر (۲× ۱۰۰) به مدت ۲۴ ساعت و دمای 2° ۰۴ در آون خشک و شناسایی شدند.

سنتز نانو کامپوزیت Fe₃O₄@SiO₂/Polyurethane

فومهای سخت پلی یورتانی با درصدهای ٪ ۳–۱ از نانوساختار Fe $_{3}O_{4}$ @SiO $_{2}$ به ترتیب زیر سنتز شد. ابتدا ۱۰ گرم از پلی ال سیستم شده و تجاری درون یک لیوان کاغذی توزین شده و

مقادیر ۲۰٬۱۱ و ۲۰٬۳ گرم از Fe₃O₄@SiO₂ برای سنتز نمونههای حاوی ۲٬۳۰۰ ۲٬۰۹ و Fe₃O₄@SiO₂ به آن افزوده شد. به منظور پخش یکنواخت این نانوساختارها در پلی ال از التراسونیک به مدت ۴ دقیقه استفاده شد. پس از اطمینان از پخش این نانوذرات در پلی ال، جزء ایزوسیانات (۱۲ گرم) به محتویات لیوان افزوده شد و تا رسیدن به نقطه کرم شدن با یک همزن چوبی همزده شده و تشکیل فوم در مدت ۲ دقیقه کامل شد. فومهای تشکیل شده پس از سپری شدن ۲۴ ساعت و اطمینان از پخت کامل مورد ارزیابی قرار گرفته و مشخصات فیزیک و شیمیایی آنها بررسی شد.

نتيجه ها و بحث

بررسی ریخت شناسی نانو ذرات ₄،Fe₃O به وسیله FE-SEM و TEM

بررسی ریخت شناسی و اندازه نانو ذرات مغناطیسی سنتز شده نشان می دهد که متوسط اندازه قطر ذرات ۶۰–۵۰ نانومتر بوده و توزیع اندازه آن ها وسیع نیست. همچنین عدم تجمع ذرات، که یکی از معیارهای عملکرد مناسب ذرات نانو است، در این نانو ساختارها مشاهده نشد، که نشان دهنده سنتز موفق آنها است (شکل ۱). در شکل ۲ تصاویر TEM نانو ساختارهای ${\rm Pe}_3O_4 @SiO_2$ نشان داده شده است. همانطور که در تصاویر مشاهده می شود پوشش SiO₂ حول نانودرات قطری حدود ۳۵ نانومتر و نانوساختارها سایزی در حدود ۱۰۰–۱۰۰ نانومتر دارند. همچنین همانطوری که در تصاویر مشاهده می شود نانوساختارها هیچ گونه تجمعی ندارند. نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن به طور مستقیم با سیلیکا اتصال



شکل ۱ تصاویر ${\rm FE}_{\rm SEM}$ نانوذرات ${\rm Fe}_{\rm 3}{\rm O}_{\rm 4}$ سنتز شده به روش هم رسوبی

ایجاد شده و این پیوند باعث تشکیل پوسته اکسید سیلسیوم در اطراف ذرات اکسید آهن می شود. فرایندی که باعث تشکیل هسته/ پوسته می شود از طریق آبکافت یک پیش ماده سل-ژل کامل می شود. به دلیل اینکه سطح اکسید آهن دارای تمایل شدیدی به سیلیس است به هیچ واسطی برای چسبیدن سیلیکا به نانو ذرات آهن احتياج نيست. رشد پوشش سيليكاتي بر نانوذرات اكسيد آهن شامل واکنش هیدرولیز کاتالیز-بازی TEOS و در پی آن فشردگی سیلیکا بر سطح هستههای اکسید آهن است. اگر چه چندین پارامتر را (از قبیل زمان رشد ساختار هسته/ پوسته و غلظت آمونیاک یا آب) می توان برای کنترل ضخامت پوشش سیلیکاتی حول نانو ذرات کنترل کرد ولی راه آسان تر و تکرارپذیر تر برای کنترل ضخامت پوشش، تغییر غلظت پیش ماده تترا اتیل اورتو سیلیکات است. تجمع میان نانو ذرات اکسید آهن قبل و در حین فرآیند پوشش دهی سبب به دام افتادن دو یا چند هسته در یک پوشش سیلیکایی می شود. کاهش در شمار ساختارهای دو یا چند هسته ای و افزایش در تعداد ساختارهای تک هسته ای را میتوان با پخش بختر نانوذرات قبل از پوشش دهی با التراسونیک میسر کرد.

شناسایی نانوساختارهای Fe₃O₄@SiO با FE

برای مطالعه دقیق تر ساختار نانو ذرات مغناطیسی تهیه شده به روش هسته/ پوسته، از روش اسپکتروسکوپی مادون قرمز نیز FT-IR هسته/ پوسته، از روش اسپکتروسکوپی مادون قرمز نیز استفاده شد. طیف FT-IR نانوذرات Pe_3O_4 و نانوساختارهای Pe_3O_2 و نانوساختارهای باندهای Pe_3O_4 و IFO حr آورده شده است. در این تصویر باندهای Pe_3O_4 و SiO و SiO و Perror cm آورده شده است. در این تصویر کششی و خمشی H-O-H آب جذب سطحی شده روی نمونه Fe_3O4 به نانوذرات Pa_3O_4 مد Ga (The section of the section of th

الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) برای نانوذرات Fe₃O₄ و نانوساختارهای Fe₃O₄@SiO

شناسایی فاز یکی از مهمترین کاربردهای روش XRD است. بدین منظور ابتدا الگوی پراش پرتو ایکس از نمونه به دست آمد و سپس دادهها با استانداردهای شناخته شده برای تعیین فاز نمونه مقایسه شد. شکل ۴، الگوی تفرق اشعه ایکس (XRD) نانوذرات Pe_3O_4 و نانوساختارهای Pe_3O_4 آنشان می دهد. مقایسه الگوی تفرق به دست آمده برای نانو ذرات Pe_3O_4 و مقایسهی الگوی تفرق به دست آمده برای نانو ذرات Pe_3O_4 و مقایسهی نانوذرات است. همان طور که در الگوی تفرق برای نانوذرات فاز دیگری در نمونه باشد مشاهده نشد. شکل ۴ به وضوح نشان Pe_3O_4 مشاهده می شود هیچ گونه پیک اضافی که ناشی از وجود فاز دیگری در نمونه باشد مشاهده نشد. شکل ۴ به وضوح نشان Pe_3O_4 می دهد که الگوی تفرق اشعه ایک (Pe_3O_4 می دهد که الگوی تفرق اشعه که برای نانو ساختارهای Pe_3O_4 می دهد که الگوی تفرق اشعه که برای نانو ساختارهای Pe_3O_4 نورات Pe_3O_4 است به بیان دیگر ساختار بلور نانو درات Po_3O_4 است به بیان دیگر ساختار بلور نانو درات Po_3O_4 است به بیان دیگر ساختار بلور نانو درات Po_3O_4 است به بیان دیگر ساختار بلور نانو درات Po_3O_4 استناط می شود که تغییر نشده است. همچنین از شکل ۴ استنباط می شود که پوشش $_2SiO_3$ دول نانوذرات Po_3O_4 آمورف بوده و بلوری نیست.



شکل ۲ تصاویر TEM از نانوساختارهای $\mathrm{Fe_3O_4}(\widehat{O}\mathrm{SiO_2})$ تهیه شده به روش سل-ژل

طيف ATR-FTIR نانو كامپوزيت ATR-FTIR نانو كامپوزيت Fe₃O₄@SiO₂/PU

طیف ATR-FTIR برای فوم پلی یورتان و نانوکامپوزیت Fe₃O₄@SiO₂/PU در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به طیفهای مادون قرمز نانو کامپوزیتهای بر پایه پلی یورتان به طور موفقیت آمیزی تهیه شدهاند.

بررسی مقاومت گرمایی نانو کامپوزیت ها

شکل شماره ۶ گراف تجزیه حرارتی تفاضلی نانو کامپوزیتهای تهیه شده را نشان میدهد. با توجه به تموگرام، با افزایش مقدار نانو ذره مقاومت حرارتی نانو کامپوزیتها افزایش یافته و به همان میزان نیز باقیمانده کربن آنها روند صعودی نشان میدهد. افزایش مقاومت حرارتی با افزایش مقدار نانو ذره بهدلیل ایجاد پیوندها بین گروههای هیدروکسیل Fe₃O₄@SiO₂ و گروه

هیدروکسیل پلی ال میباشد که گرم شدن ظرف در حین پخش نانوذرات هسته-پوستهی ${}_{2}SiO_{4}@SiO_{2}$ در پیش ماده پلی الی دلیلی بر این مدعاست. با افزایش محتوای نانو ذرات در ماتریس پلیمری، مقدار تشکیل ماده قیری (Char Formation) افزایش می یابد. میزان مادهی قیری باقیمانده پس از آنالیز در نمونه شاهد، نمونهی با ۱ درصد، ۲ درصد و ۳ درصد از ${}_{2}SiO_{2}@SiO_{2}$ به ترتیب ۲۱٬۵ ، ۲۲٬۵ ۲ و ۲۷٬۲ درصد از وزن اولیه نانوکامپوزیت بوده. بنابراین درصد بهینه برای میزان ${}_{2}SiO_{4}@SiO_{2}$ در نانوکامپوزیت نهایی۲ درصد در نظر گرفته شد، زیرا افزایش این میزان تا ۳ درصد افزایش قابل توجهی در میزان ماده قیری و پایداری نهایی نانوکامپوزیت بر جای نگذاشت. درصدهای بالاتر از تر درصد نیز تهیه شد ولی به دلیل ایجاد اختلال در فرمولاسیون فوم پلی یورتان از جمله اختلال در بالا آمدن و عمل آوری فوم



سال ششم، شماره ۱، بهار ۹۱

نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی (JARC) *www.SID.ir*

میر محمد علوی نیکجه و محمد امین فرهمند نژاد



000 3800 3600 3400 3200 3000 2800 2600 2400 2200 2000 1800 1600 1400 1200 1000 800 Wavenumber (1/cm)

شكل ۵ طيف FT-IR نانوكامپوزيت Fe₃O₄@SiO₂/PU

مورد بررسی و آنالیز قرار نگرفت.

آناليز مغناطيس سنجي (VSM)

Fe₂O₄ تغييرات خواص مغناطيسي نانو ذرات و نانوکامپوزیت $Fe_3O_4@SiO_2-PU$ و نانوکامپوزیت $Fe_3O_4@SiO_2$ میدان مغناطیسی اعمال شده در دمای اطاق در شکل ذیل آورده شده است. یارامترهای مغناطیسی استخراج شده از منحنیها، از جمله خاصیت مغناطیسی اشباع (M_s)، میزان پسماند یا پایداری مغناطیسی (M₁) و نیروی خنثی کننده یا برگشت دهنده قهری (H_c) در جدول ۱ آورده شدهاند. ظاهر منحنیهای مغناطیسی برای Fe₂O₄ و Fe₂O₄@SiO₂ بشان میدهد که آنها دارای خواص سوپرپارامغناطیسی (به دلیل مقادیر M کوچک) و نیز اندکی خواص فرومغناطيسي هستند(به دليل وجود حلقه هيسترزيس باریک) و همانطور که در منحنیها نشان داده شده است میزان قرار گرفتن پوشش سیلیکایی حول نانوذرات Fe₃O₄ سبب کاهش خواص مغناطیسی آن شده است به طوری که میزان خاصیت مغناطیسی اشباع برای Fe_3O_4 از Fe_3O_4 به ۲۶٬۶۷ emu/g مغناطیسی ا کاهش یافته است و این کاهش به ضخامت پوشش سیلیکایی حول نانوذرات Fe₃O₄ وابسته است به گونهای که هر چه این پوشش سیلیکایی ضخیمتر باشد این کاهش در میزان خاصیت

مغناطیسی اشباع بیشتر است. منحنیهای خواص مغناطیسی برای نانوکامپوزیت منحنیهای خواص مغناطیسی برای نانوکامپوزیت قرومغناطیسی را نشان میدهد. میزان نانوذرات Fe₃O₄@SiO₂-PU فرومغناطیسی را نشان میدهد. میزان نانوذرات ۲۰۳۵ و اندکی در این نمونه نانوکامپوزیت ۱٫۳۵ درصد است که میزان خاصیت مغناطیسی اشباع برای این نانوکامپوزیت ۳۰٫۳۶ emu/g، برآورد میشود که با توجه به عدد بدست آمده (۰٫۳۴ emu/g) نشان میدهد که راندمان جایگیری نانوذرات Fe₃O₄@SiO₂ در زمینه پلی یورتانی در حدود %۹۴٫۴۴ است. (جدول ۱ و شکل ۷)

نتيجه گيري

با استفاده از فرایند سل– ژل سطح نانوذرات مگنتیت سوپرپارامغناطیس (Fe_3O_4) توسط نانو سیلیکا بهبود یافته و این ذرات در تهیه نانوکامپوزیتهای فوم سخت پلی یورتان مغناطیسی مورد استفاده قرار گرفتند. مقاومت حرارتی ایده ال نمونهها بدلیل ظرفیت گرمایی بالای نانو ذرات هسته-پوسته بوده و برهمکنش بین ماتریس پلیمری و گروههای هیدروکسیل سطح نانو ذرات است که باعث عملکرد مناسب حرارتی آن شده است بهطوری که نمونه کامپوزیتهای تهیه شده از خواص حرارتی آید. با

نشریه پژوهش های کاربردی در شیمی (JARC) *www.SID.ir*

سال ششم، شماره ۱، بهار ۹۱



شکل ۲ منحنی ویژگیهای مغناطیسی برای نانو ذرات ${
m Fe}_3{
m O}_4$ ، Fe $_3{
m O}_4$ @SiO $_2$ -PU و نانوکامپوزیت Fe $_3{
m O}_4$ @SiO $_2$

نانوکامپوزیتهای مغناطیسی با خواص منحصر به فرد را باز میکند.

تقدير وتشكر

با توجه به این که انجام این طرح تحقیقاتی با حمایت مالی و معنوی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) و با استفاده از اعتبار تحقیقاتی صورت گرفته است، لذا به دلیل این حمایت از دانشگاه مذکور تقدیر و تشکر ویژه به عمل میآید.

[1] Guo, Z., Park, S., Hahn, H. T., Wei, S., Moldovan, M., Karki, A. B. and Young, D. P.; J. Appl. Phys; 101, 511-513, 2007.

[2] Lattuada, M. and Hatton, T. A.; Langmuir; 23, 2158-2168, 2007.

[3] Zhang, L., He, R. and Gu, H. C.; Appl. Surf. Sc.; 253, 2611-2617, 2006.

[4] Roca, A. G., Morales, M. P., O'Grady, K. and Serna, C. J.; Nanotech.; 17, 2783-2788, 2006.

[5] Cornell, R. M. and Schwertmann, U.; The Iron Oxides, VCH, Weinheim-NY, 1996.

| $\mathrm{Fe_3O_4}$ لیسی برای نانو ذرات | ی مغناہ | ٔ پارامترها | جدول ۱ |
|---|----------|----------------------------------|--------|
| ميوزيت Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ -PU | و نانوکا | Fe ₃ O ₄ @ | SiO, |

| Sample | H _c (Oe) | M _r (emu/g) | M _s (emu/g) |
|--|---------------------|------------------------|------------------------|
| Fe ₃ O ₄ | ۵۷٫۲۲ | ۶,۸۹ | 80,V9 |
| Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ | ۵۷/۱۲ | ۲,۵۶ | 7 <i>9,</i> 9V |
| Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ -PU | ۵۵٫۷۰ | •,•٣٢ | • ,٣۴ |



شکل ۶ ترموگرام تجزیه حرارتی تفاضلی نمونه شاهد و نانوکامپوزیتها

افزایش مقدار نانو ذره به میزان ۲ درصد ویژگیهای حرارتی و نیز باقیمانده کربن بهبود یافته و این میزان به عنوان مقدار بهینه در سنتز نانو کامپوزیت انتخاب شد. سنتز نانوکامپوزیت پلی یورتانی فوم سخت سوپرپارامغناطیسی Fe₃O₄@SiO₂-PU به روش درجا روشی آسان برای سنتز نانو کامپوزیتهای مغناطیسی با خواص حرارتی و مغناطیسی ایدهآل است. همچنین پوشش سیلیکایی حول نانوذرات مگنتیت قابلیت اتصال با عوامل جفت شونده را دارد که این امر دریچهای به سوی سنتز

مراجع

[6] Alma, C. H., Dario, B. B., Oliverio, S. R. F., Ronald, F. Z.; Mater. Sci. Forum.; 644, 29-32, 2010.

[7] Guyomar, D., Matei, D. F., Guiffard, B., Belouadah, Q. Le, R.; Mater. Lett.; 63, 611–613, 2009.
[8] Alaxii Nilia. M. M. Marshari, Tahrani, Z. Ba

[8] Alavi Nikje, M. M., Mazaheri Tehrani, Z., Bagheri Gharmarudi, A.; Polym. Plast. Tech. Eng.; 48, 891-896, 2009.

[9] Alavi Nikje, M. M., Mazaheri Tehrani, Z., Des. Monom. Polym.; 13, 249-260, 2010.

[10] Alavi Nikje, M. M., Bagheri Gharmarudi, A.; Adv. Compos. Mater.; 20, 79-81, 2011.

سال ششم، شماره ۱، بهار ۹۱

۸۱

نشریه پژوهشهای کاربردی در شیمی (JARC) *www.SID.ir*