

مقایسه پراکندگی نانو ذرات اکسید آهن مغناطیسی در دو محیط نفت و آب

تهمینه گیوه کی^۱، ابراهیم قاسمی^۲، سعید باغشاهی^۳

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات،

^۲ موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ،

^۳ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

eghasemi@iust.ac.ir

چکیده: در این مقاله، نانو ذرات مگنتیت (Fe_3O_4) به روش هم‌رسوبی سنتز شد. برای این کار، از آمونیاک به عنوان عامل رسوب‌دهنده، و از کلریدهای آهن (II) و (III) به عنوان منابع آهن استفاده شد. وضعیت پراکندگی نانو ذرات در دو محیط آبی و آلی (نفت) با استفاده از فعال کننده‌های سطح اسید اولئیک و اسید لوریک بررسی گردید و تاثیر غلظت آنها بر پراکندگی و اندازه ذرات مطالعه شد. از روش‌های پراش اشعه ایکس (XRD)، پراکنش لیزری دینامیک (DLS) طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) اندازه‌گیری نیروی گرادیانی متغیر (AGFM) به ترتیب برای تشخیص فاز، اندازه و توزیع ذرات، استقرار فعال کننده سطح بر روی ذرات، و خواص مغناطیسی استفاده شد. نتایج به دست آمده از روش تفرق پراکنش دینامیک لیزری (DLS) نشان داد که میانگین اندازه متوسط هیدرودینامیکی ذرات در محیط نفت و در محیط آبی به ترتیب در محدوده ۱۸ - ۴۶ nm و ۶۸ - ۸۹ nm نانومتر تغییر می‌کند. در ضمن بررسی خواص مغناطیسی نشان داد که با افزایش غلظت فعال کننده سطح، خواص مغناطیسی به ویژه مغناطیس‌اشباع کاهش می‌یابد.

کلید واژه: نانو ذرات، مگنتیت، فعال کننده سطح، خواص مغناطیسی، پایداری.

۱- مقدمه

نانو ذرات مگنتیت (Fe_3O_4) به علت خواص ویژه مغناطیسی و زیست سازگاری در حال حاضر تا حد زیادی مورد توجه محققین قرار گرفته است. این ماده دارای ساختار اسپینلی معکوس است و در ابعاد نانومتری خواص ویژه ابر پارامغناطیسی از خود نشان می‌دهد [۱]. نانو ذرات مگنتیت به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف از جمله رسانش دارو [۲]، درمان گرمایی بافت‌های سرطانی [۳]، فتوکاتالیست‌ها [۴] و غیره کاربرد دارد. همه این کاربردها مستلزم این است که این ذرات، دارای وضعیت پراکندگی مناسبی داشته باشند به عبارت دیگر، اندازه آگلومرها تا حد امکان به اندازه ذرات نزدیک باشد [۵]. در سوسپانسیون‌های حاوی نانو ذرات مگنتیت، نانو ذرات در اثر نیروی واندروالسی ممکن است به هم چسبیده و تشکیل آگلومره دهند که در این صورت، پایدار بودن سوسپانسیونی سیستم مختل می‌شود. برای جلوگیری از این حالت، سطح نانو ذرات به وسیله مقادیر مختلف فعال کننده سطح پوشانده می‌شود. رایج ترین راه سنتز این ذرات، روش هم رسوبی^۱ یون‌های نمک آهن هیدراته دو و سه ظرفیتی در

^۱ coprecipitation

حضور یک باز قوی می باشد [۶]. واکنش شیمیایی تشکیل آن بصورت زیر است:



طبق این واکنش، برای تولید مگنتیت، نسبت مولی اولیه ۲:۱، از $\text{Fe}^{2+}:\text{Fe}^{3+}$ نیاز است. اما وقتی آماده سازی در معرض هوا انجام می شود، Fe^{2+} به Fe^{3+} اکسید می شود [۷]. برای جلوگیری از این واکنش ناخواسته، معمولاً از اتمسفر خنثی برای سنتز استفاده می گردد. گفته می شود که فعال کننده سطح نیز با پوشاندن سطح، تاثیر مثبتی در این رابطه دارد.

با توجه به کاربردهای این نانوذرات، پایدار بودن در محیط های آبی و آلی در کنترل ویژگی های محصولات نهایی نقش ضروری دارد [۸]. برای ایجاد پایداری در نانو ذرات روش های مختلفی وجود دارد یکی از روش ها اصلاح سطح ذرات توسط فعال کننده سطح های مختلف می باشد.

فعال کننده های سطح معمولاً ترکیبات آلی هستند که دارای گروه های آبدوست و آبگریز می باشند. گروه های آبگریز نقش دم و دنباله را دارد و شامل ترکیباتی از فلزات قلیایی یا بنیان های دیگر است و گروه های آبدوست، نقش سر فعال کننده سطح را دارد که شامل رادیکال هیدروکربن است. وجود طبیعت دو گانه سبب ویژگی های خاصی در این مولکول ها می شود به طوری که می توانند در آب حل شده و در سطح مشترک آب- هوا یا بین دو سطح از دو فاز مختلف تجمع یافته و سبب کاهش کشش سطحی شوند. یکی از کاربردهای فعال کننده های سطح، استفاده از آن ها در سوسپانسیون های کلوییدی است. از آنجا که در سوسپانسیون های حاوی نانوذرات با کاهش اندازه ذرات حرکت براونی افزایش می یابد از این رو ذرات شانس زیادی برای نزدیک شدن به یکدیگر و تشکیل آگلومره دارند. استفاده از این مواد باعث می شود یکی از دوسر آنها به کلویید متصل شده و سر دیگرشان به محلول نزدیک شود. بنابراین سرهایی که در محلول قرار دارند همانم بوده و سبب دافعه بین کلوییدها می شوند و در نتیجه از تجمع و بهم پیوستن آنها ممانعت می کنند.

در این تحقیق، تاثیر عواملی مانند نوع و مقدار فعال کننده های سطح بر پراکندگی نانو ذرات مگنتیت در محیط نفت و آبی مورد بررسی قرار گرفته است و برای این کار از اسید های چرب اولئیک^۱ و لوریک^۲ استفاده شده است. قبل از این، بررسی های متعددی در زمینه سنتز و پایداری سازی این نانوذرات با استفاده از عوامل سطحی فوق و دیگر عوامل سطحی انجام شده است و محدوده غلظت مناسب برای پایداری بطور تقریبی مشخص شده است [۸ و ۹] ولی در خصوص مقایسه عملکرد این دو فعال کننده سطحی بر توزیع اندازه ذرات و ویژگی های مغناطیسی درمقادیر مختلف، مطلبی منتشر نشده است.

۲- روش کار تجربی

۲-۱- مواد اولیه

کلریدهای آهن دو ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) و سه ظرفیتی ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)، هیدروکسید آمونیوم (NH_4OH)، اسید اولئیک و اسید لوریک ساخت شرکت مرک^۳ و با خلوص بالاتر از ۹۹٪ و آب دی یونیزه استفاده شد.

^۱ Oleic

^۲ Lauric

^۳ Merck

۲-۲- روش ساخت فروسیال

برای تهیه نانوذرات مغناطیسی مگنتیت از روش همرسوبی استفاده شد. ابتدا با حل کردن مقادیر مشخص از نمک‌های آهن (II) و آهن (III) به عنوان منابع تولید یون‌های آهن (II) و آهن (III) در ۵۰ cc آب، محلول‌های یک مولار از هر یک از نمک‌ها تهیه شد. محلول‌های حاصل با نسبت وزنی ۲:۱ از آهن (II): آهن (III) در یک راکتور شیشه‌ای چند دهانه با هم مخلوط شده و با استفاده از همزن مکانیکی به مدت ۵ min در دمای انتخاب شده هم‌زده شد. در این مرحله، رنگ محلول نارنجی رنگ بود (در تمام مراحل سنتز برای جلوگیری از اکسید شدن Fe^{2+} به Fe^{3+} از اتمسفر خنثی استفاده شد و برای این کار در تمام مراحل سنتز، به طور پیوسته گاز نیتروژن به داخل راکتور و محلول‌های اولیه دمیده شد. در هر نمونه مقدار و نوع مشخصی از فعال کننده سطح (طبق جدول ۱) افزوده و بطور مجدد به مدت ۱۰ min (۵ min با سرعت ۲۰۰ rpm و ۵ min با سرعت ۵۰۰ rpm) هم‌زده و در نهایت با استفاده از افزودن سریع ۷۰ ml محلول ۲۵٪ بازی هیدروکسید آمونیوم و افزایش دور هم‌زن، pH محلول به ۱۱ رسانیده شد. به محض افزودن باز، رنگ محلول سیاه رنگ شد. بعد از گذشت زمان لازم جهت به هم‌زدن محلول و یکنواختی آن (به مدت ۲۰ min)، عمل هم‌زدن متوقف و رسوب سیاه حاصل به روش ته‌نشینی به کمک آهنربا از محلول جدا و محلول باقی مانده از آن سرریز گردید. برای جدا کردن کامل آمونیاک و پایین آوردن pH به حدود ۷، عملیات شستشو چندین بار با آب مقطر تکرار شد و در نهایت به منظور پراکنده کردن ذرات در سیال مورد نظر رسوب به دست آمده در مقدار ۱۵ cc آب مقطر یا نفت ریخته شد. نمونه‌هایی که در آب یا نفت ریخته شد به مدت ۵ min عمل التراسونیک انجام شد.

توزیع اندازه ذرات با استفاده از آنالیز تفرق لیزری دینامیک انجام شد برای این کار، از دستگاه Brookhaven مدل 90PLUS با دقت اندازه‌گیری بین ۶۰۰-۱ nm استفاده گردید. برای انجام این آزمون ابتدا نمونه‌ها تا حد لازم برای عبور نور، رقیق و قبل از اندازه‌گیری به مدت ۱-۲ min توسط همگن‌ساز^۱ همگن شدند.

برای بررسی مقدار پوشش سطحی موجود در نمونه‌ها، مقداری از سوسپانسیون حاصل از سنتز در یک ظرف شیشه‌ای ریخته و به مدت ۵ ساعت در دمای ۷۰°C در آون خشک و برای انجام تست FTIR به کار گرفته شد. برای بررسی نوع فازهای تشکیل شده از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شد. برای این کار از دستگاه مدل فیلیپس PW3710 با لامپ Cu-K α استفاده گردید. برای کاهش اثر جذب و خطا از سیستم تکفام‌ساز^۲ استفاده شد. برای سنجش اندازه بلورک‌ها از روش شرر استفاده شد:

$$D = 0.9\lambda / (\beta \cos\theta) \quad (2)$$

که در آن β عرض پیک در نصف ارتفاع بر حسب رادیان، λ طول موج اشعه ایکس بر حسب نانومتر، D متوسط اندازه بلورک بر حسب نانومتر و θ نصف زاویه تفرق بر حسب رادیان است.

جهت بررسی خواص مغناطیسی از دستگاه AGFM مدل ۱۵۰ متعلق به شرکت مغناطش دقیق کاشان استفاده شد.

¹ Homogenizer

² Monochromator

۳- نتایج و بحث

جدول ۱ نمونه‌های مختلف آماده شده و شرایط تهیه آنها را نشان می‌دهد. پس از آماده‌سازی، وضعیت پایداری به صورت چشمی مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس این جدول، نمونه D که دارای ظاهر ناپایدار بود حذف و سایر نمونه‌ها مورد بررسی دستگاهی قرار گرفت.

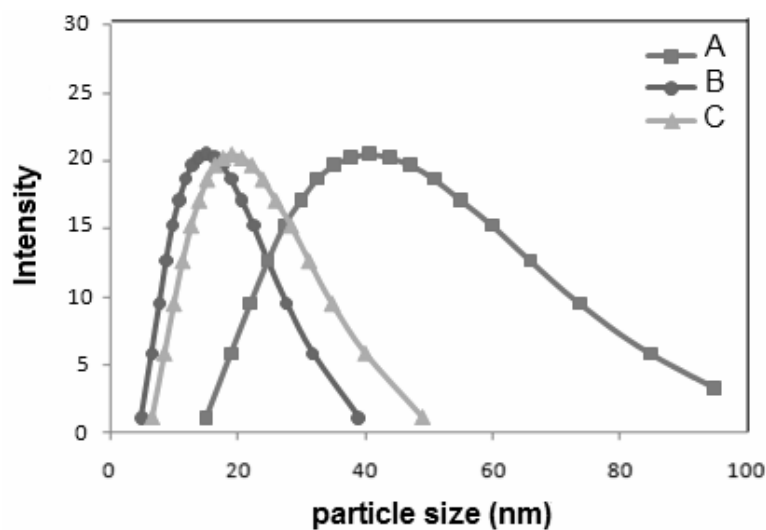
جدول ۱- شرایط آماده سازی نمونه‌های مختلف

نمونه	نوع محیط	نوع فعال کننده سطح	غلظت فعال کننده سطح (wt%)	وضعیت ظاهری
A	نفت	اسیداولییک	۲	پایدار
B	نفت	اسیداولییک	۵	پایدار
C	نفت	اسیداولییک	۸	پایدار
D	آبی	اسید لوریک	۲	ناپایدار
E	آبی	اسید لوریک	۵	پایدار
F	آبی	اسید لوریک	۸	پایدار

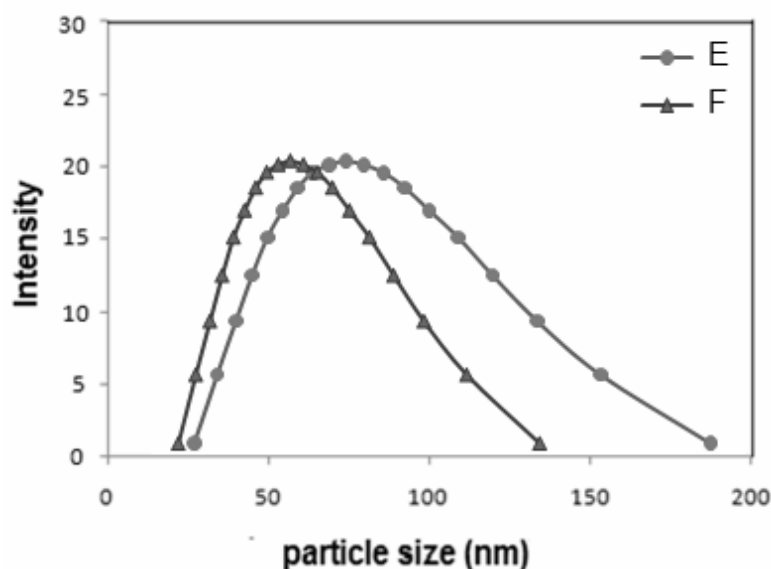
۳-۱- آنالیز DLS

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به وضعیت توزیع اندازه ذرات نمونه‌های پایدار شده با مقادیر ۲، ۵ و ۸ درصد وزنی اسید اولییک در محیط نفت و مقادیر ۵ و ۸ درصد وزنی اسید لوریک در محیط آبی می‌باشد. همان‌طور که از این شکل پیداست بین مقادیر مختلف اسید اولییک و اسید لوریک نمونه‌های B و F نسبت به سایر نمونه‌ها دارای توزیع اندازه باریک‌تر و اندازه متوسط ذرات کمتر می‌باشند که نشان دهنده مقدار مناسب اسید اولییک و اسید لوریک اضافه شده به نانو ذرات و ایجاد اندازه ذرات کوچک‌تر می‌باشد. می‌توان گفت که هر چقدر مقدار پوشش سطحی ذرات مناسب‌تر باشد فروسیال حاصل از پایداری بیشتری برخوردار است چون افزایش ضخامت پوشش فعال کننده سطحی موجب پیشگیری از رشد ذرات و در نهایت ایجاد پایداری بهتر می‌شود. در کارهای قبلی گزارش شده است که غلظت فعال کننده سطحی دارای یک حد بهینه است [۱۰]. به عبارت دیگر به کمک عوامل سطحی تا یک اندازه مشخص بحرانی از غلظت عامل سطحی، اندازه ذرات کاهش و در بالاتر از آن افزایش می‌یابد. در اینجا نیز نتایج به دست آمده این موضوع را تایید می‌کند. این مقدار بحرانی از فعال کننده سطحی در محیط نفت، ۵ درصد وزنی از اسید اولییک و در محیط آبی ۸ درصد وزنی از اسید لوریک است. با کاهش مقدار عامل سطحی از حد بحرانی، به دلیل عدم وجود دافعه استریک، نانو ذرات به یکدیگر نزدیک شده و آگلومره ایجاد می‌شود و با افزایش عامل‌های سطحی به بیش از حد بحرانی نیز احتمالاً به دلیل درگیر شدن شاخه‌های عوامل سطحی با یکدیگر، تشکیل میسل‌ها و پدیده دپلشن^۱ آگلومره ایجاد شده و ذرات بزرگ می‌شوند [۱۱]. نحوه قرارگیری فعال کننده سطح بر روی سطح نانو ذرات در شکل ۳ به صورت یک مدل فرضی نشان داده شده است. اگر غلظت از حدی بیشتر شود، شاخه‌های فعال کننده سطح به هم متصل شده و میسل تشکیل می‌دهند. در این صورت، ذرات به جای دور شدن از هم به یکدیگر نزدیک شده و اندازه ذرات به دلیل تشکیل ساختارهای کلوخه‌ای، بزرگ‌تر می‌شود.

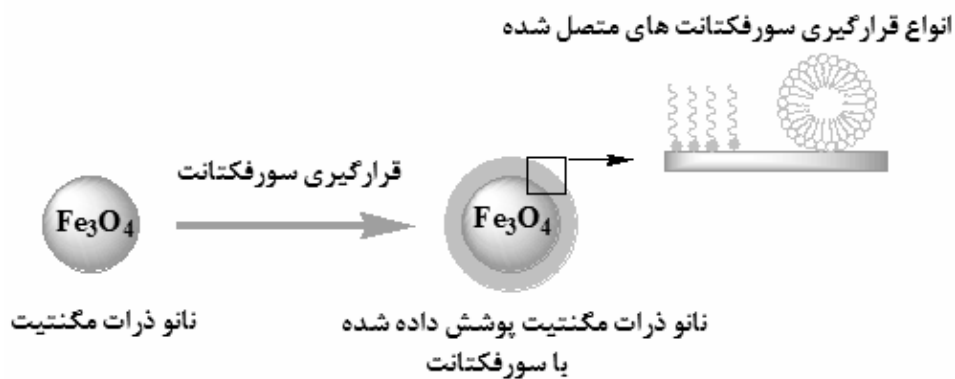
¹ Depletion



شکل ۱- مقایسه توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های پایه نفت با مقادیر مختلف اسید اولئیک



شکل ۲- مقایسه توزیع اندازه ذرات در نمونه‌های پایه آبی با مقادیر مختلف اسیدلوریک



شکل ۳- نحوه قرارگیری فعال کننده سطح بر روی سطح نانو ذرات مگنتیت

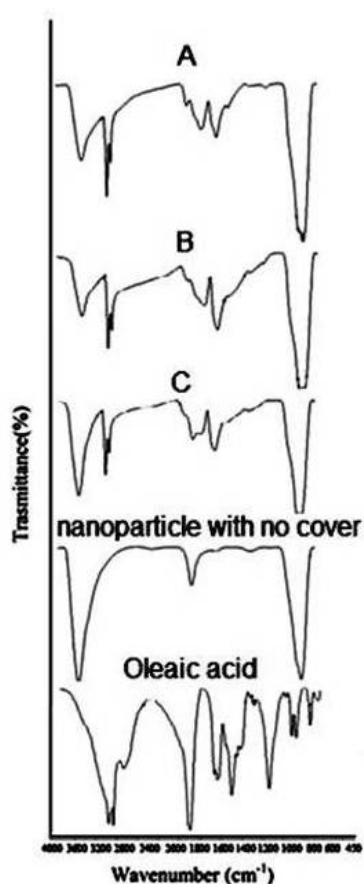
از بین مقادیر مختلف اسید لوریک در محیط نفت در نمونه D به علت کم بودن مقدار عامل سطحی نسبت به نمونه E و F، عامل سطحی نتوانست به طور کامل بر روی سطح نانو ذرات قرار گیرد و نیز کوتاه بودن طول شاخه اسید لوریک نسبت به اسید اولئیک باعث ایجاد دافعه کم تر و در نتیجه ته نشینی نانوذرات شد (جدول ۲ اندازه متوسط هیدرودینامیکی ذرات را نشان می دهد).

جدول ۲- اندازه متوسط ذرات نمونه های پایدار شده

نمونه	نوع پوشش سطحی	میانگین اندازه هیدرودینامیکی ذرات (nm)
A	اسید اولئیک	۱۸
B	اسید اولئیک	۲۲
C	اسید اولئیک	۴۴
E	اسید لوریک	۸۹
F	اسید لوریک	۶۸

۳-۲- آنالیز FTIR

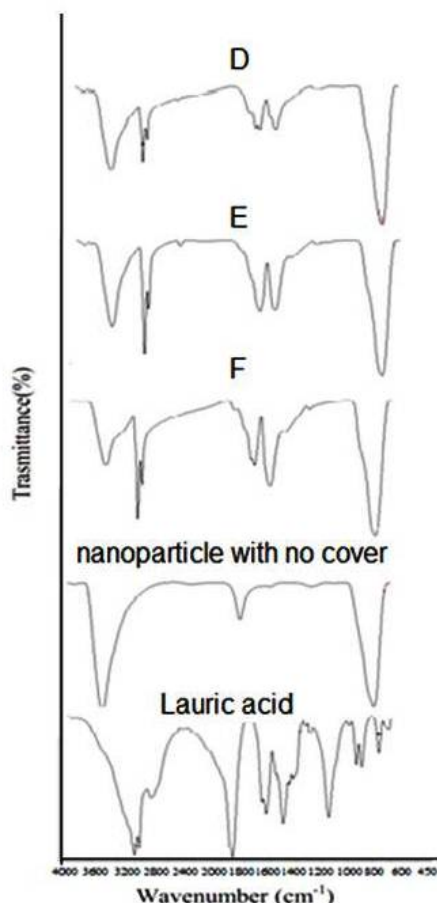
بر روی نمونه های پایدار شده توسط مقادیر مختلف، اسید اولئیک در محیط نفت و اسید لوریک در محیط آبی آزمون طیف سنجی مادون قرمز انجام شد. نتایج حاصل از جذب پرتو مادون قرمز (FTIR) برای اسید اولئیک خالص، نانو ذرات مگنتیت فاقد



عوامل سطحی و نمونه های A، B و C در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به نمودارهای FTIR اسید اولئیک و مگنتیت خالص می توان چنین نتیجه گیری کرد که پیک های نسبتاً قوی و دوقلوی موجود در اعداد موج $2849-2924 \text{ cm}^{-1}$ برای سه نمونه A، B، C مربوط به ارتعاشات کششی پیوند (C-H) نفتاتیک و پیک های ضعیف در اعداد موج بالای 3000 cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کششی پیوند (C-H) نفتینی است. پیک موجود در اعداد موج $1415-1412-1414$ برای هر سه نمونه نشان دهنده ارتعاشات کششی پیوند (C-O) ناشی از CO_2 موجود در هوا است. پیک های موجود در محدوده $1536-1624$ نشان دهنده ارتعاشات کششی (COOH-) است که نشان دهنده آن است که اسید اولئیک با سطح نانو ذرات کمپلکس تشکیل داده است. پیک های موجود در $584-630$ برای نمونه های مگنتیت دارای عوامل سطحی و نمونه های بدون فعال کننده سطح نشان دهنده پیوند (Fe-O) در مواضع چهاروجهی می باشد. با توجه به این که پیک های مربوط به (C-H) اسید اولئیک در نمونه های A، B، C به ترتیب جذب بیشتری را نشان می دهند، این نتیجه حاصل می شود که اسید اولئیک در این جا نیز به ترتیب به مقدار بیشتری بر روی سطح ذرات این نمونه ها قرار گرفته است. با توجه به ساختار اسید اولئیک می تواند باعث ایجاد پایداری در محیط نفت شود.

شکل ۴- الگوی FTIR نانو ذرات پوشیده با مقادیر مختلف اسید اولئیک در محیط نفت

همان طور که در شکل ۵ مشاهده می شود اسید لوریک خالص نیز دارای دو پیک جذب تیز در عدد موج ۲۹۲۱-۲۸۵۲ است. این دو پیک به ارتعاشات کششی پیوند (C-H) نفتناتیک مربوط است [۱۲]. مشخصه اسید لوریک پیک جذبی در عدد موج ۱۶۹۸ است که نشان دهنده پیوند (C=O) می باشد. پیک های موجود در عدد موج ۱۴۳۲ مربوط به پیوند خمشی (C-H) است. با توجه به این که پیک های مربوط به C-H اسید لوریک در نمونه های D، E و F به ترتیب جذب بیشتری را نشان می دهند، این نتیجه حاصل می شود که اسید لوریک به ترتیب به مقدار بیشتری بر روی سطح ذرات نمونه ها قرار گرفته و با توجه به ساختار اسید لوریک می تواند باعث ایجاد پایداری بهتر در محیط آبی شود.



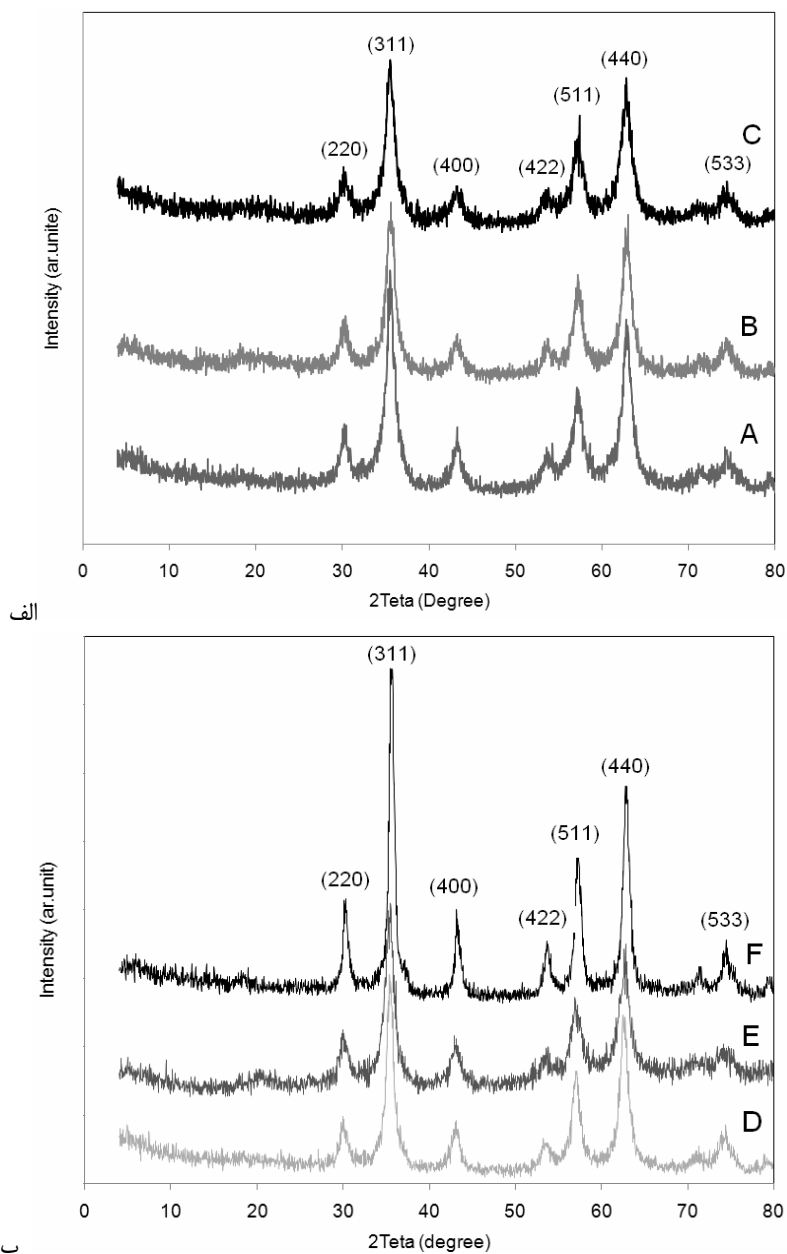
شکل ۵- الگوی FTIR نانو ذرات پوشیده با مقادیر مختلف اسید لوریک در محیط آب

۳-۳- آنالیز پراش اشعه ایکس

نتایج حاصل از بررسی فازی (XRD) نمونه های خشک شده سه فروسیال A، B، C در شکل (۶-الف) و سه فروسیال D، E، F در شکل (۶-ب) نمایش داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود هر شش نمونه از یک فاز تشکیل شده اند و با مقایسه این شکل ها با کارت مگنتیت (۱۹-۰۶۲۹) مشخص می شود که تمامی پیک ها منطبق با پیک مربوط به مگنتیت هستند. لازم به ذکر است که دو فاز مگنتیت و مگمیت^۱ به دلیل دارا بودن ساختار بلوری یکسان دارای پیک های مشابه هم

^۱ Maghemite

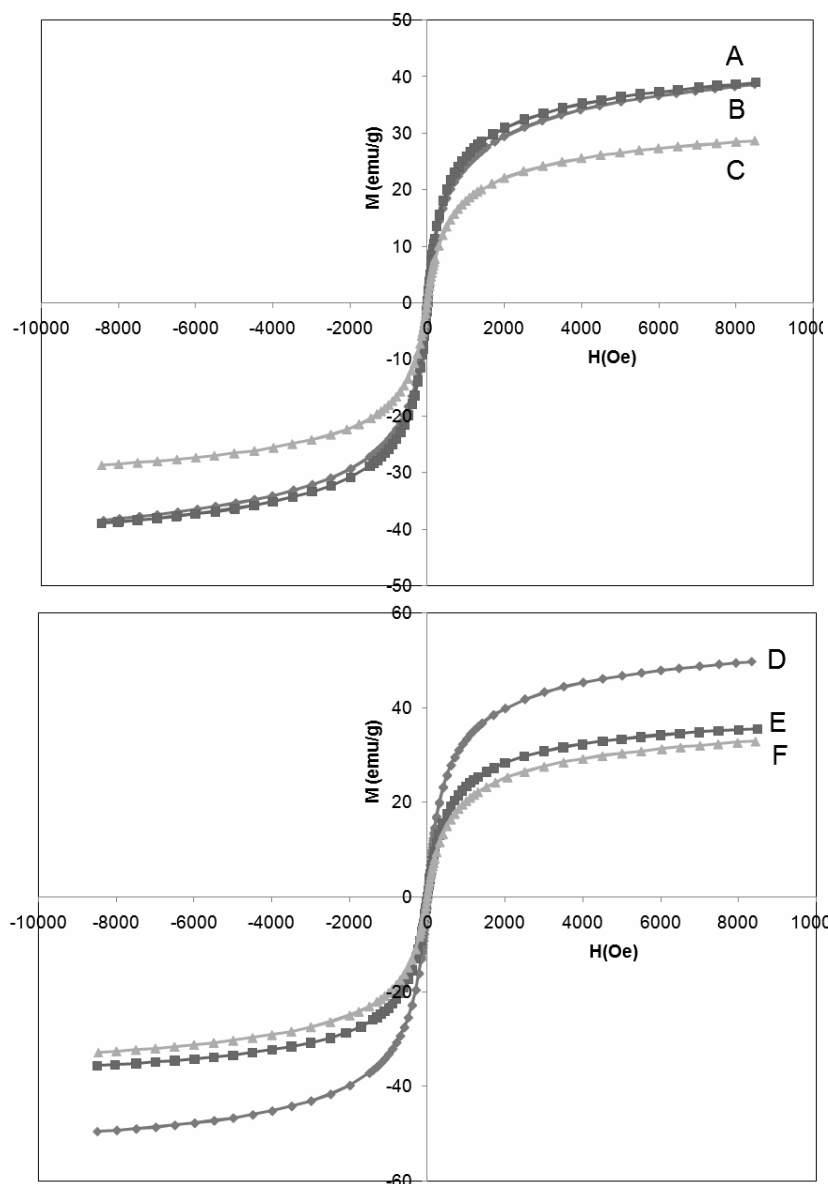
هستند و با وجود این که این موضوع در برخی مراجع مورد تاکید واقع شده است، با این حال در بسیاری از مراجع تنها به استناد به شکل ساده‌ای از الگوی پراش اشعه ایکس و بدون ارائه بررسی‌های تکمیلی‌تر به وجود فاز مگنتیت یا مگمیت اشاره شده است. مشخص شده است که در صورت تماس سطح ذرات مگنتیت با اکسیژن امکان اکسید شدن و تبدیل آن به مگمیت ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) وجود دارد، از این رو برای اطمینان از عدم اکسیداسیون مگنتیت، فرآیند سنتز در محیط عاری از اکسیژن انجام می‌شود [۱۲ و ۷]. پس با توجه به این که ذرات اکسید آهن در مجاورت گاز نیتروژن تهیه شدند می‌توان گفت که احتمال اکسیداسیون و تبدیل فازی آنها کمتر است و نانوذرات بدست آمده عمدتاً از نوع مگنتیت می‌باشند.



شکل ۶- الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه‌هایی از نانو ذرات مغناطیسی
(الف) در محیط نفت با اسید اولئیک (ب) در محیط آبی با اسید لوریک

۳-۴- آنالیز AGFM

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در منحنی هیستریزیس مغناطیسی، حلقه هیستریزیس خاصی مشاهده نمی‌شود، همچنین مقدار M با افزایش شدت میدان به حد اشباع نمی‌رسد. این رفتار، مشابه رفتار ابرپارامغناطیسی می‌باشد [۱۳ و ۱۴]. البته برای اثبات این رفتار، نیاز به انجام آزمون‌های تکمیلی‌تر وجود دارد.



شکل ۷- منحنی هیستریزیس مغناطیسی برای نمونه‌های نانو ذرات مغناطیسی (الف): در محیط نفت و (ب): در محیط آب

برای محاسبه اشباع مغناطیسی، نمودار M بر حسب $1/H$ رسم شد و محل برخورد امتداد منحنی با محور مغناطیسی شدن به عنوان اشباع مغناطیسی در نظر گرفته شد [۱۵]. نتایج اندازه‌گیری‌های مغناطیسی در جدول ۳ آورده شده است. این جدول نشان

¹ Alternating Gradient Force Magnetometer

می‌دهد که با افزایش مقدار عامل سطحی، مقدار مغناطیس اشباع و پذیرفتاری مغناطیسی برای هر دو نوع ماده فعال سطحی کاهش می‌یابد. فو^۱ و همکاران [۱۶] در تحقیقی که به مقایسه اثر عوامل سطحی به صورت دولایه و تک لایه بر پایداری فروسیال حاوی نانوذرات مگنتیت پرداخته‌اند مشاهده کردند که با افزایش لایه‌های عوامل سطحی، مغناطیسی شدن کاهش می‌یابد که علت آن را کاهش مقدار ذرات مغناطیسی در وزن‌های مساوی از فروسیال با افزایش مقدار عوامل سطحی مطرح کردند. بنابراین به طور مشابه می‌توان چنین استنباط نمود که با افزایش پوشش سطح ذرات توسط عوامل سطحی، میزان نفوذ مغناطیسی کاهش یافته و خواص مغناطیسی دچار افت می‌شود. باید توجه داشت که روند افت اشباع مغناطیسی برای عوامل سطحی اسید لوریک و اسید اولئیک یکسان و خطی است که علت آن به ویژگی ذاتی عوامل سطحی مانند طول شاخه فعال کننده سطح و تعداد کربن مربوط می‌شود. نکته قابل توجه دیگر این است که مقدار افت اشباع مغناطیسی برای مقدار غلظت ۸ درصد وزنی اسید لاریک در مقابل ۸ درصد وزنی اسید اولئیک تا حد قابل توجهی بیشتر است. علت این موضوع می‌تواند به تشکیل ساختارهای میسل توسط ماده فعال سطح مربوط شود که نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد.

جدول ۳- ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات مگنتیت حاصل از آنالیز AGFM

نمونه	پوشش سطحی	غلظت (wt%)	X_i	$H_c(Oe)$	$M_r(emu/g)$	$M_s(emu/g)$
S5	اسید اولئیک	۲	۳۱	۴/۳	۰/۴	۴۶
S7	اسید اولئیک	۵	۲۹	۲/۱	۰/۲	۴۴
S9	اسید اولئیک	۸	۱۸	۱/۳	۰/۱	۳۲
S10	اسید لوریک	۲	۳۴	۵/۵	۰/۶	۵۶
S11	اسید لوریک	۵	۲۸	۱/۳	۰/۰۸	۳۹
S12	اسید لوریک	۸	۲۰	۱/۵	۰/۰۸	۱۱

۴- نتیجه‌گیری

نانو ذرات اکسید آهن با استفاده از روش هم‌رسوبی شیمیایی در جو اتمسفر معمولی و با استفاده از روش هم‌رسوبی سنتز شد. تاثیر فعال کننده‌های سطحی اسید اولئیک و اسید لوریک به ترتیب در محیط نفت و آب بر پراکندگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که غلظت فعال کننده سطح دارای یک حد بهینه بوده و کمترین اندازه متوسط ذرات ایجاد شده با ۵ درصدوزنی اسیداولئیک ۱۸ نانومتر و با ۸ درصد وزنی اسیدلوریک ۶۸ نانومتر می‌باشد. نتایج نشان داد که در هر دو محیط نفت و آب، از نظر غلظت ماده فعال کننده سطح یک حد بهینه باید رعایت شود. با این حال، دستیابی به پایداری مطلوب، در محیط نفت نسبت به محیط آب، مناسب تر و آسان تر است. همچنین مشخص شد که مقدار فعال کننده سطحی بر اشباع مغناطیسی اثر دارد بطوریکه با افزایش این مقدار، اشباع مغناطیسی کاهش می‌یابد.

¹ Fu

1. R. M. Cornell, U. Schwertmann, "The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses", VCH, New York, (1996), pp. 28–29.
2. U. Hafeli, G. Pauer, S. Failing, G. Tapolsky, "Radiolabeling of magnetic particles with rhenium-188 for cancer therapy" J. Magn. Mater. 225 (2001) 73.
3. K. L. Ang, S. Venkatraman, R. V. Ramanujan, "Magnetic PNIPA hydrogels for hyperthermia applications in cancer therapy" Mater. Sci. Eng. C 27 (2007) 347.
4. D. Beydoun, R. Amal, G. K. Low, S. McEvoy, "Novel photocatalyst: titania-coated magnetite. activity and photodissolution" J. Phys. Chem. B 104 (2000) 4387.
5. S. Odenbach, "Ferrofluids-magnetically controlled suspensions" Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 217 (2003) 171-178.
6. T. Tsuchiya, Y. Miyake, T. Shigehisa, A. Tomita, M. Watanabe, "Kinetics of Magnetite Formation in a Three-Phase System", J. Chem. Eng. Jpn. 38 (2005) 509.
- A. K. Gupta, M. Gupta. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications, Biomaterials 26 (2005) 3995–4021.
۷. ابراهیم قاسمی، بررسی خواص ریولوژی فروسیال مغناطیسی بر پایه اکسید آهن، پایان نامه دکترا، دانشگاه علم و صنعت ایران ۱۳۷۸.
۸. تهمینه گیوه کی، ابراهیم قاسمی، فرهود نجفی، سعید باغشاهی، علی نعمتی، علم و مهندسی سرامیک جلد ۱، شماره ۱، ۱۳۹۱.
9. Amir Masoud Arab, Farhoush Najafi, "The Function of Nano-polystyrene Template and Comb Polycarboxylic Acid Surfactant in Synthesis of ZnS Nanoparticles via Hydrothermal Method", Iranian Polymer Journal, (2011) pp559-569.
10. Ahmet Sarı, Ali Karaipekli, Cemil Alkan, "Preparation, characterization and thermal properties of lauric acid/expanded perlite as novel form-stable composite phase change material", Chemical Engineering Journal, (2009) pp895-904.
11. M. T. Lopez- Lopez, J. D. G. Duran, A. V. Delgado, F. Gonzalez- Caballero, "Stability and magnetic characterization of oleate-covered magnetite ferrofluids in different nonpolar carriers" J. colloid and surface science, 291, (2005), pp. 144-151.
12. P. Gurdia, B. Betlle- Brugal, A. G. roca, O. Iglesias, M. P. Morales, C. J. Sema, A. Labarta, X.

- Battle; "Surfactant effects in magnetite nanoparticles of controlled size", Journal of magnetism and magnetic materials. (2007)316, e756-e759.
13. D. Bikka, L. vekas, M. J. Rasa, "Preparation and magnetic properties of concentrated magnetic fluids on alcohol and water carrier liquids", journal of magnetism and magnetic material, (2002); 252, pp.10.
14. Tevhide Ozkaya, Muhammet S. Toprak, Abdulhadi Baykal, Hussein Kavas, Yuksel Koseoglu, Bekir Aktas; (2009); Journal of magnetism and magnetic materials 472.pp.18-23.
15. Lei. Fu, Vinayak P. Dravid, D. Lynn Johnson; (2001); self- assembled bilayer molecular coating on magnetic nanoparticles; Applied surface science 181.pp. 173-178.