

## سنتز و شناسایی ترکیبات آلی نانوذرات مغناطیسی به همراه حامل داروی آسپرین و بررسی رهش آن

اکبر حسن پور اقدم<sup>۱</sup>، حسین سفر دوست<sup>۲</sup>، مینا قادری تکانتبه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند

<sup>۲</sup> استاد دانشگاه آزاد اسلامی

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد شیمی دارویی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرند

### چکیده

در گذشته اخیر، داروسازی هدفمند بسیار مورد توجه بوده است. یکی از تکنیک‌های تحویل هدفمند که در سال‌های اخیر شهرت یافته است، استفاده از نانوذرات مغناطیسی (MNP) است. در این سیستم‌ها، ترکیبات درمانی به نانوذرات مغناطیسی زیست سازگار متصل می‌شوند و میدان‌های مغناطیسی تولید شده در خارج از بدن را بر روی اهداف خاص در داخل بدن متمرکز می‌کند. نانوذرات مغناطیسی به دلیل اهداف منحصربه‌فرد در پزشکی و دارورسانی بسیار اهمیت دارد. اهمیت تحویل داروهای هدفمند و درمان دارویی هدفمند، انتقال یک دارو به‌طور مستقیم به مرکز بیماری تحت شرایط مختلف است و به‌این ترتیب آن را عمداً درمان می‌کند و هیچ تأثیری بر بدن ندارد. خصوصیات نانوذرات مغناطیسی به فرآیندهای آماده‌سازی در شرایط مطلوب و تغییر سطح آن‌ها دارد. این پژوهش سنتز و شناسایی نانو ذرات مغناطیسی‌ها و استفاده آن‌ها در تحویل دارویی هدفمند آسپرین و بررسی رهش آن در درمان هدفمند را بررسی می‌کند. نانوذرات مغناطیسی  $ZnFe_2O_4$  و  $NiFe_2O_4$  به روش هم‌رسوبی و هیدروترومال با حلال‌های مختلف و همچنین با عامل‌های پوشاننده مختلف سنتز شد. همچنین نانو ذرات گرافن کوانتوم دات دوپ شده با نیتروژن جهت تهیه نانو کامپوزیت سنتز شد. آنالیزهای مختلف مانند طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (XRD) و اسپکترومتری مادون قرمز تبدیل فوری (FT-IR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به‌منظور مشخصه یابی نانو ذرات تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت. آسپرین بر روی نانوکامپوزیت تهیه شده بارگزاری شده و میزان رهش دارو در زمان‌های مختلف با دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد بررسی قرار گرفت.

**واژه های کلیدی:** داروسازی هدفمند، نانوذرات مغناطیسی، نانو کامپوزیت، آسپرین

## مقدمه

به استفاده از مواد در ابعاد اتمی، مولکولی و فرامولکولی در کاربردهای صنعتی گفته می‌شود. اولین توصیف گسترده از نانو تکنولوژی، «اهداف فناورانه خاص برای دستکاری دقیق اتم‌ها و مولکول‌ها برای ساخت محصولاتی با ابعاد ماکرو» بود، که اکنون به عنوان نانو تکنولوژی مولکولی شناخته می‌شود. متعاقباً توصیف کلی تری از فناوری نانو توسط طرح ملی فناوری نانو (آمریکا) ایجاد شد که فناوری نانو را به عنوان «دستکاری ماده که حداقل یک بعد آن از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد»، تعریف کرد.

نانو ریشه یونانی «نانوس»<sup>۱</sup> S به معنی کوتوله<sup>۲</sup> می‌باشد. نانو یک پیشوند علمی است که به معنی یک میلیارد (مقیاس کوچک) است و حوزه نانو تکنولوژی در حدود میلیارد متر است. ابعادی که در آن اتم‌ها با هم ترکیب شده و مولکول‌ها روی هم اثر متقابل دارند [۱].

## نانوذرات مغناطیسی

واژه مغناطیس کلمه‌ای یونانی است که به بعضی سنگ‌های طبیعی اکسید آهن اطلاق می‌شد. این سنگ‌ها از این خاصیت برخوردارند که بر یکدیگر و بر ذرات آهن یا فولاد نیرو وارد می‌آورند. یونانیان باستان، بیش از ۲۵۰۰ سال پیش با پدیده‌ی آهنربایی آشنا بودند. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، ماده‌ی کانی مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) که آهن را می‌رباید، می‌شناخت. این کانی بیشتر در مگنزا (ترکیه امروزی) یافت می‌شده است و نام مگنتیت نیز از همین اسم گرفته شده است. چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربا آشنایی داشتند و تکه‌هایی از این سنگ‌ها را به صورت قطب نماهای ساده در دریانوردی به کار می‌بردند [۴].

## دارورسانی هدفمند

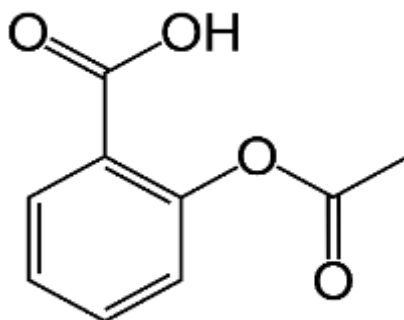
تحقیقات دارورسانی هدفمند بیش از سی سال پیش آغاز شد از آن زمان پیشرفت‌های عمده‌ای در سنتز و شناسایی ذرات حاصل شده است در این پژوهش سنتز و شناسایی نانو ساختارهای عامل داروی آسپرین و بررسی رهش آن مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سنتز و شناسایی و آنالیزهای مختلف برای نانو ذره و تاثیر اثر آسپرین به کار گرفته خواهد شد. آنالیزهای مختلف برای مشخص شدن نانو ذرات‌های تهیه شده به کار گرفته خواهد شد. خواص مغناطیسی و خواص نانو ذرات را با استفاده از آنالیز و دستگاه‌های  $^{3}UV-VIS$ ،  $^{5}SEM$ ،  $^{4}FTIR$ ،  $^{3}XRD$  بررسی خواهند شد تا امکان انجام شناسایی و سنتز و اثر آسپرین بررسی گردد که مقدار و تغییر رنگ، دمای ذوب، واکنش پذیری و شفافیت تهیه شود.

آسپرین<sup>۷</sup>

آسپرین (شکل ۱) یک سالیسیلات و داروی ضدالتهاب غیر استروئیدی است و از آن برای کاهش تب و تسکین دردهای خفیف و متوسط استفاده می‌شود؛ مواردی مثل دردهای عضلانی، دندان درد و سردرد یکی دیگر از موارد مصرف آسپرین و کاهش ورم و تسکین دردهای آرتروزی است [۴۸]. آسپرین به سرعت در دستگاه گوارش فوقانی جذب می‌شود و منجر به مهار قابل اندازه گیری عملکرد پلاکت در طی ۶۰ دقیقه می‌شود [۴۹]. این دارو بدون نسخه پزشک قابل تهیه است و یکی از پر طرفدارترین

<sup>1</sup> Nanos<sup>2</sup> Dwarf<sup>3</sup> X-ray Powder Diffraction<sup>4</sup> Fourier-transform infrared spectroscopy<sup>5</sup> Scanning Electron Microscopy<sup>6</sup> Ultraviolet-visible spectroscopy<sup>7</sup> Aspirin

داروها در دنیاست. هر سال ۵۰۰۰۰ میلیون قرص آسپرین در جهان مصرف می‌شود. در بریتانیا هر فرد سالانه ۷۰ قرص آن را جدا یا همراه با مسکن‌های دیگر، کافئین یا ویتامین «ث» مصرف می‌کند. آسپرین علاوه بر خاصیت تسکین دهنده‌گی، تب بر و ضد التهاب هم هست، ضمن اینکه اثرهایی نظیر ایجاد زخم‌های گوارشی و جلوگیری از لخته شدن خون را نیز از خود نشان می‌دهد [۵۱، ۵۰]. مصارف امروزه آسپرین عبارتند از: پیشگیری از بیماری‌های قلبی ۳۷/۶٪، ورم مفاصل ۲۳/۳٪، سردرد ۱۳/۸٪، بدن درد ۱۲/۲٪ و دردهای دیگر ۱۴/۱٪. آسپرین به صورت قرص‌های سفید یا بلورهای سوزنی شکل یا به صورت پودرهای بلورین موجود می‌باشد. وزن مولکولی آن ۱۸۰ می‌باشد و نقطه ذوب آن ما بین ۱۳۵ تا ۱۳۷ درجه سلسیوس می‌باشد. نقطه جوش آن ۱۴۰ درجه سلسیوس است که در این درجه حرارت تجزیه می‌گردد [۵۱]. آسپرین در آب به مقدار کم و در الکل به مقدار زیاد محلول می‌باشد. مصرف این دارو در موارد زیر منع پزشکی دارد یا لازم است با احتیاط صورت گیرد: در موارد مصرف طولانی مانند آرتريت روماتوئید و پروفیلاکسی بیماری‌های قلبی عروقی مصرف این دارو به علت افزایش احتمال خونریزی شدید ناشی از اثر مهار تجمع پلاکتی آسپرین، حداقل یک هفته قبل از انجام عمل جراحی باید قطع شود. خونریزی سفیدی چشم مخصوصاً پس از عمل چشم که بعد از قطع مصرف دارو تا یک هفته هم ممکن است ادامه داشته باشد در موارد وجود زخم معده یا اختلالات انعقادی خونریزی دهنده بیماران مبتلا به بیماری‌های تنفسی همچون آسم یا بیماری‌های کلیوی پولیپ بینی در کودکان مبتلا به آنفلوآنزا، آبله مرغان و فاویسم همراه با وارفارین به هیچ وجه نباید استفاده شود. در کودکان زیر ۱۱ سال احتمال وقوع سندروم کشنده رای (نشانگان رای) را بسیار بالا می‌برد. مصرف بیش از اندازه ی داروی آسپرین ممکن است موجب بروز عواملی چون سوزش و درد گلو و معده، گیجی، تغییرات خلق، غش، ضعف، وزوز گوش، تب، تنفس سریع، تغییر در میزان ادرار، تشنج و از دست دادن هوشیاری شود [۴۸]. آسپرین جزء اولین داروهای شیمیایی ساخت بشر است و کاربردهای مختلفی دارد. بیش از یک قرن به عنوان مسکن و تب بر استفاده شده است ولی امروزه مصرف اصلی آسپرین به عنوان جلوگیری از لخته شدن خون در رگ‌ها می‌باشد. آساور یکی از برندهای این دارو است [۵۲].



شکل ۱- ساختار داروی آسپرین

### مکانیسم اثر آسپرین

این دارو آنزیم سیکلواکسیژناز را مهار می‌کند. پلاکت‌ها بخصوص به این اثر خیلی حساسند. همچنین اثرات ضد التهابی آن از طریق مهار تولید آنتی‌بادی، مهار آزاد شدن هیستامین بوسیله آنتی‌ژن و تثبیت نفوذپذیری مویرگ‌ها طی واکنش‌های ایمنولوژیکی اعمال می‌گردد [۵۲].

## فارماکوکینتیک آسپرین

آسپیرین پس از تجویز به فرم خوراکی به خوبی از دستگاه گوارش جذب می شود. دارو به میزان ۹۰-۸۰٪ به پروتئین های پلاسما متصل می شود. نیمه عمر دارو ۲-۳ ساعت است و به طور وسیعی در کبد متابولیزه می شود. دارو توانایی عبور از جفت و شیر را دارد [۵۳].

## هدف از انجام پژوهش

با توجه به اینکه تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از سیستم های دارورسانی هدفمند بر اساس سنتز و شناسایی نانوساختارهای حامل داروی آسپیرین انجام نشده است، لذا در این پروژه با استفاده از نانوذرات آهن و نیکل و عصاره هل و نعناع استخراج شده سعی شد تا امکان بارگذاری این دارو در شبکه های پلیمر طبیعی مغناطیسی انجام بگیرد و همچنین میزان رهایش دارو در شرایط شبیه سازی شده بدن در محیط آزمایشگاه بررسی شود.

## تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده

الگوهای پراش اشعه ایکس توسط دستگاه پراش اشعه X مدل X'PertPro متعلق به شرکت Philips با استفاده از پرتونگاری  $Cu K\alpha$  فیلتر شده با Ni، ثبت شد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) توسط میکروسکوپ الکترونی مدل XL-30ESEM متعلق به شرکت Philips ثبت شد که مجهز به یک طیف نگار پراکنده کننده انرژی اشعه X می باشد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) توسط میکروسکوپ الکترونی مدل XL-30ESEM متعلق به شرکت Philips ثبت شد که مجهز به یک طیف نگار پراکنده کننده انرژی اشعه X می باشد.

طیف انعکاسی پراکنده ی ماوراءبنفش - مرئی محصولات با استفاده از طیف نگار ماوراءبنفش - مرئی Shimadzu مدل UV-1800 گرفته شد.

همزن مغناطیسی یا استیرر، کوره آزمایشگاهی، میکروتیوب، اسپاتول، بشر، ترازوی، دیجیتال، مگنت، استوانه مدرج، کاغذ تورنسل، گیره و پایه، قطره چکان، پارافیلیم، لوله موین، ترازو

## تست دارویی

### تست دارویی آسپیرین

۵۰ عدد داروی آسپیرین ۱۰۰ در هاون به طور یکنواخت پودر شد و در بشر با ۱۰۰ میلی لیتر اتانول ۹۹٪ حل شد. محلول روی استیرر به مدت ۲ ساعت گذاشته شد. سپس محلول با استفاده از کاغذ صافی صاف شد (البته صاف شدن تست دارویی به نسبت به نانوذره زمان بیشتری نیاز دارد).

داروی ناخالص باقی مانده در روی کاغذ صافی را لازم نداریم (داروی ناخالص باقی مانده در روی کاغذ صافی). حلال و داروی خالص شده شفاف زیر قیف برای آزمایش تست دارویی مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور داروی خالص شده را درون بالن ریخته و به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه تقطیر قرار داده شد. پس از گذشت ۱۵ دقیقه درون بالن رسوبی از دارو تشکیل شد. ۱۰ سی سی از حلال اتانول (۹۹٪) بر روی رسوب اضافه شد (رسوب به راحتی از درون بالن خارج نمی شود). با تکان دادن رسوب جدا شده و در

درون ظرف شبیه ریخته شد. برای اطمینان از خالص بودن دارو از TLC<sup>۸</sup> استفاده شد. برای این منظور حلال کلروفرم را داخل تانک ریخته و با استفاده از لوله موئین مقداری از داروی خالص شده را روی کاغذ TLC علامت گذاری شد و درون تانک قرار داده و تانک را در جایی گذاشته شد که نور و روشنایی نباشد. پس از گذشت چند ساعت کاغذ TLC را از تانک خارج کرده و برای دیدن حرکت داروی خالص شده از لامپ UV استفاده شد (چون با چشم قابل مشاهده نیست). زیر لامپ UV به خوبی میزان حرکت داروی خالص شده قابل مشاهده بود.

### بارگذاری دارو بر نانوذره

مقدار ۰/۰۵ گرم از داروی خالص شده را با ترازو وزن کرده و در بشر ریخته و مقدار ۲۰ میلی لیتر آب مقطر به همان بشر اضافه شد. سپس مقدار ۰/۳۰۵ گرم از نانوذره ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> تهیه شده به روش همرسوبی را وزن کرده داخل بشر ریخته و با پارافیلیم روی بشر را پوشانده و به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با دور ۱۲۰ قرار داده شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت رسوب نانو ذره داخل بشر (برای این آزمایش رسوب ته نشین شده لازم است) را به لوله آزمایش انتقال داده و در دستگاه سانتریفوژ با دور ۳۰۰ و مدت ۲۰ دقیقه سانتریفوژ شد. سپس آب مقطر داخل لوله آزمایش را دور ریخته و رسوب را روی شیشه ساعت ریخته و درآون به مدت ۱۲ ساعت و دمای ۵۱ سانتی گراد قرار داده شد. روز بعد با استفاده از اسپاتول رسوب خشک را از شیشه ساعت برداشته و به میکروتیوپ انتقال داده شد.

### تهیه محلول استوک

۰/۲۵ گرم داروی خالص شده همراه با ۵۰ سی سی (اتانول ۹۹٪) در بشر سایز کوچک همراه با مگنت روی استیرر قرار داده شد. هنگامی که دارو خالص شده حل شد آن را به بالن ۵۰۰ اضافه کرده و داخل بالن مجدد مگنت انداخته و روی استیرر گذاشته شد. سپس آرام آرام بالن ۵۰۰ با آب مقطر به حجم رسانده شد و وقتی تکه های ریز دارو خالص شده در بالن حل شد بالن را از روی استیرر برداشته و کنار گذاشتیم. ۷ عدد ظرف دارویی شیشه ای کامل شسته و خشک شد و محلول هایی با ۷ غلظت متفاوت از دارو با استفاده از محلول استوک و آب مقطر تهیه و در یخچال نگه داری شد. باقی مانده محلول استوک در بالن ۵۰۰ در یخچال نگهداری شد.

### روش تهیه محلول بافر

۵/۹ گرم دی سدیم هیدروژن فسفات (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) و ۱۱/۱۷ گرم سدیم دی هیدروژن فسفات (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) در یک بشر در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. الکتروود pH متر و یک مگنت در بشر گذاشته شد و روی همزن مغناطیسی و با محلول های یک مولار سود و اسید کلریدیک، pH محلول در عدد ۹ تنظیم شد. سپس حجم کل با آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. این روش برای تهیه ی سایر بافرها با pH های ۳ تا ۸ مورد استفاده قرار گرفت.

### بررسی رهش دارو

میزان رهش دارو از نانوذره با تکنیک انتشار غشایی بررسی گردید. ۰/۰۵ گرم از داروی بارگذاری شده روی نانوذره را در کیسه دیالیز حاوی ۰/۲۵ میلی لیتر محلول بافر (pH=۷/۴) ریخته و درون بشری با محتوی ۵۰ میلی لیتر از همان بافر بصورت معلق قرار داده شد، محتوی بشر با استفاده از همزن مغناطیسی تا انتهای عمل رهش هم زده شد. با گذشت زمان بافر درون کیسه به نانو ذره نفوذ کرده و موجب رهش تدریجی دارو از نانوذرات و به دنبال آن افزایش غلظت آن در محلول بافر گردید. در فواصل زمانی یک ساعت مقدار ۲ میلی لیتر از محلول حاصل جهت اندازه گیری جذب در دستگاه UV-Vis برداشته شد. لازم به توضیح

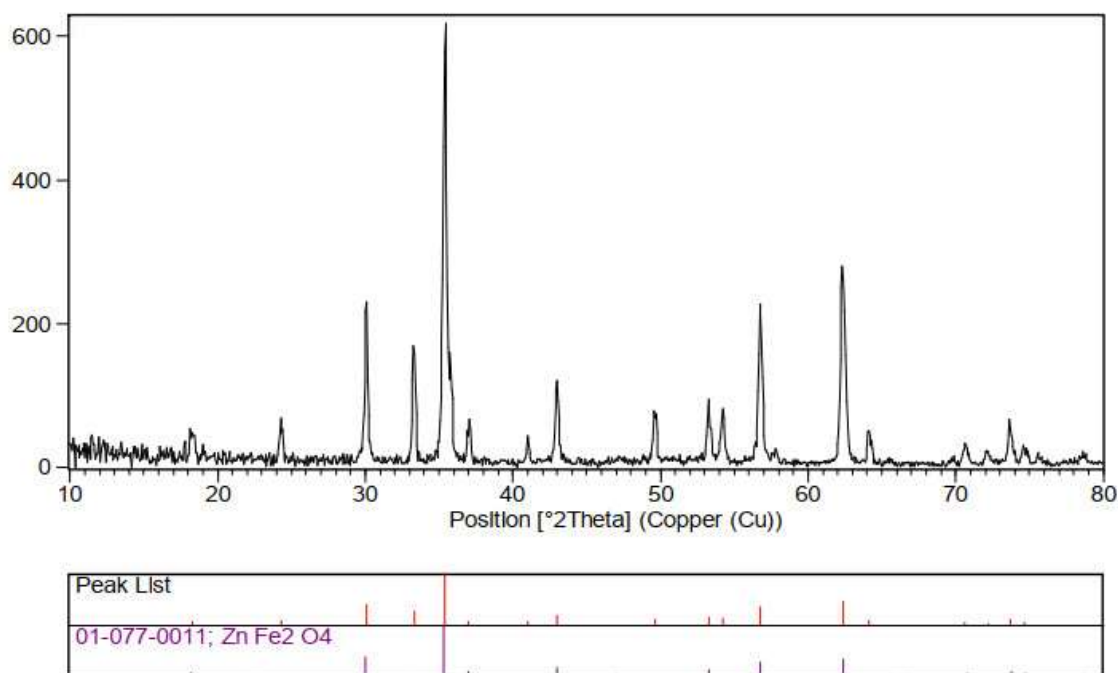
<sup>8</sup> Thin-layer chromatography

است حجم کسر شده از محتویات بشر با افزودن بافر تازه جبران شد، بدین ترتیب حجم بافر در طول نمونه گیری ثابت باقی ماند. در ادامه، با استفاده از منحنی کالیبراسیون که از قبل رسم شده بود، غلظت داروی آزاد شده در هر زمان محاسبه، و با استفاده از اطلاعات بدست آمده نمودار آزادسازی دارو بر حسب زمان رسم گردید.

### بررسی خصوصیات نانوذره $ZnFe_2O_4$ به روش هیدروترومال در دمای $170^\circ$ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت

#### بررسی الگوی پراش اشعه X ( $ZnFe_2O_4$ XRD)

نوع فاز، ساختار کریستالی و خلوص محصول به دست آمده به وسیلهی آنالیز XRD تعیین می شود. الگوی XRD در شکل ۲ نشان داده است. همان گونه که از الگوی XRD محصول مشخص است موقعیت پیکها نشان دهندهی فاز مکعبی  $ZnFe_2O_4$  (JCPDS: 01-077-0011) با ثابتهای شبکه ( $a=b=c=8.4160$ ) می باشد. از معادلهی شرر می توان اندازه بلورها را توسط الگوی XRD تعیین کرد. در این معادله  $D=0.9\lambda/\beta\cos\theta$ ،  $\beta$  پهنای پیک پراش در نصف ارتفاع و  $\lambda$  طول موج منبع اشعه ایکس مورد استفاده در XRD می باشد؛ که در مورد منبع مس این مقدار  $1/5418 \text{ \AA}$  می باشد. طبق معادلهی شرر اندازهی کریستالها در حدود  $43/7$  نانومتر برای نانو ذرات  $ZnFe_2O_4$  محاسبه شد.

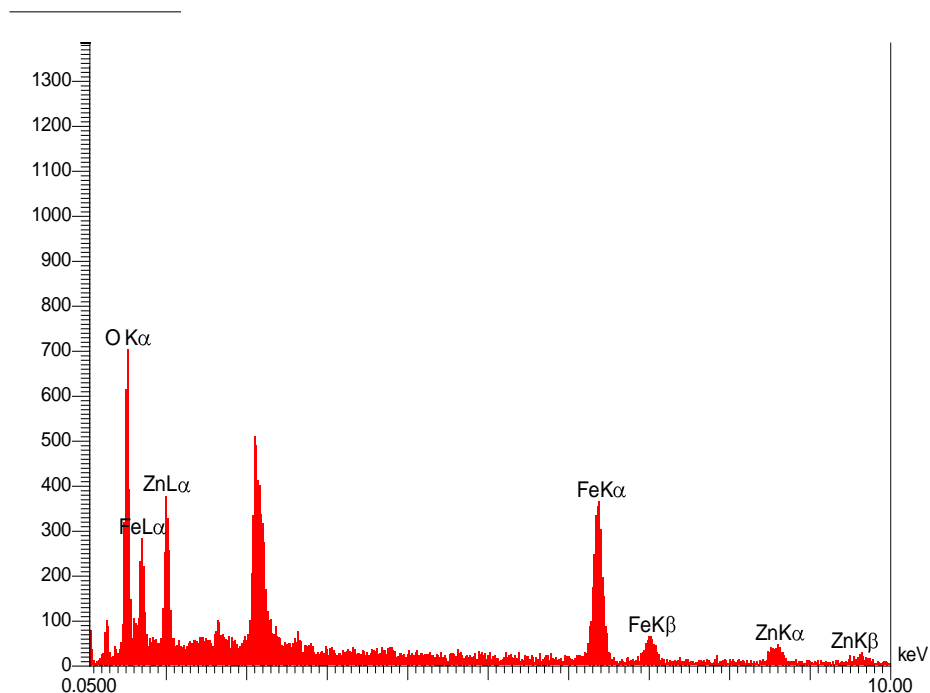


شکل ۲- الگوی پراش XRD نانوذرات روی فریت به روش هیدروترومال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای  $170^\circ$  درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

#### طیف EDS مربوط به نانوذرات $ZnFe_2O_4$ سنتز شده

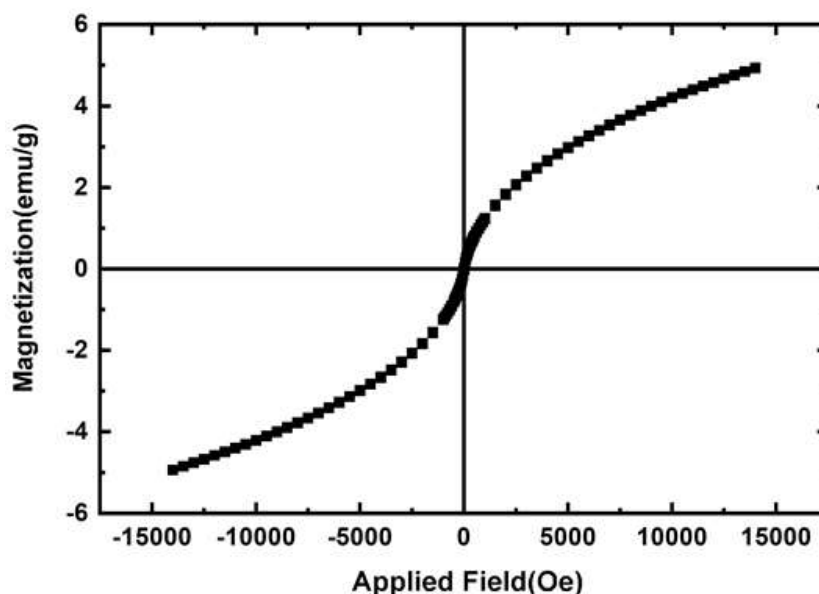
در شکل ۳-۲ طیف EDS مربوط به نمونه تهیه شده به روش هیدروترومال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب (دما  $170^\circ$  درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ ساعت) نشان داده شده است. طیف نشان دهنده وجود گونه های Fe و Zn و O در محصول است لذا طیف EDS نیز نشانگر تشکیل محصول با خلوص بالا می باشد.

شکل ۳- آنالیز EDS نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.



### نتیجه‌ی آنالیز VSM برای نانوذرات $ZnFe_2O_4$ سنتز شده

خواص مغناطیسی به اندازه، مورفولوژی و جهت‌گیری مغناطیسی بستگی دارد. برای نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  رفتار سوپر پارامغناطیسی با مغناطش اشباع ۵ emu/g گزارش شد. این خاصیت مغناطیسی به دلیل اندازه‌ی کوچک نانوذرات می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار مغناطش باقیمانده رفتار نانو ذرات سنتز شده نزدیک به رفتار سوپر پارامغناطیس است که با توجه به کوچک شدن اندازه ی ذرات این انتظار می رود. نمودار M-H برای این نانوذره در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- منحنی پسماند نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

#### تصاویر SEM نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> سنتز شده

شکل ۵ (a,b) تصاویر SEM نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت را نشان می دهد. همان گونه که مشخص می باشد به دلیل تشکیل ذرات بسیار ریز و افزایش واکنش پذیری در کنار رشد ذرات، برخی ذرات به صورت کلوخه ای درمی آیند و مورفولوژی نانو ذرات به سمت شکل کروی و اندازه ی ذرات بزرگ تر می رود. به دلیل کلوخه ای شدن سطح ویژه ی نانو ذرات کاهش می یابد. با استفاده از نرم افزار دیجیمایزر، میانگین اندازه ذرات ۴۹ نانومتر اندازه گیری شد.

#### طیف DRS مربوط به نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> سنتز شده

برای بررسی خصوصیات نوری محصول ساخته شده از آنالیز DRS در دمای اتاق استفاده شد. برای بررسی خصوصیات نوری محصول ساخته شده از آنالیز DRS در دمای اتاق استفاده شد. برای مواد با انرژی نوار مستقیم ضریب جذب از رابطه ی زیر حساب می شود:

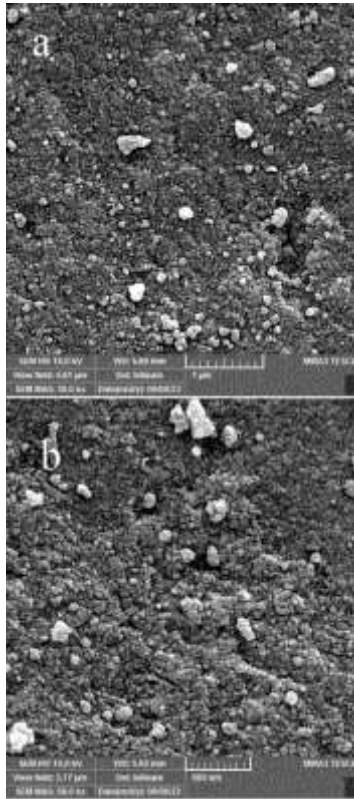
$$\alpha = A(h\nu - E_g)^n / h\nu \quad (3-1)$$

$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (3-2)$$

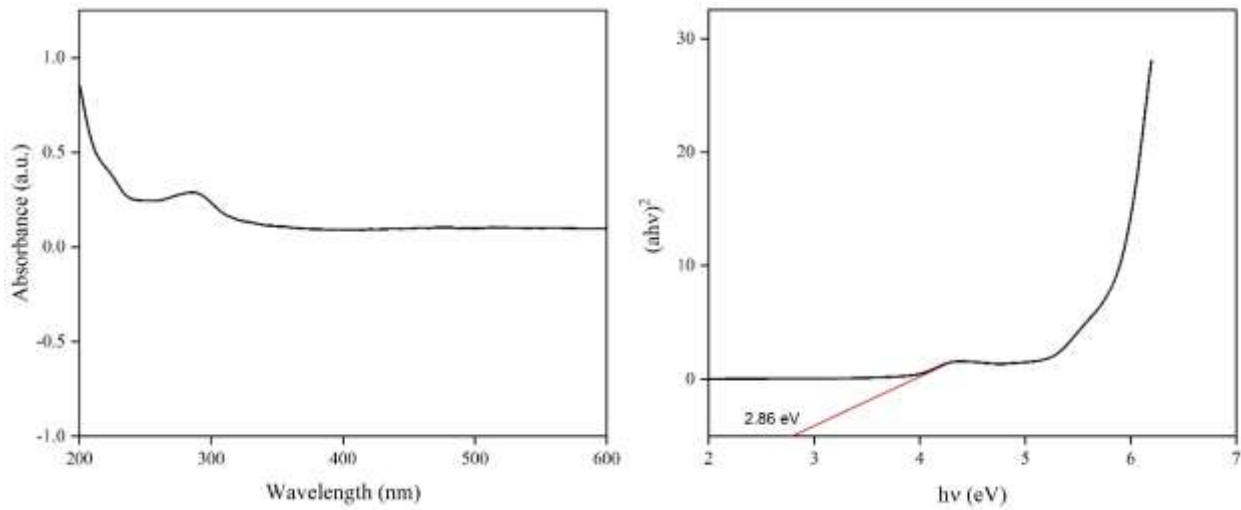
$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (3-3)$$

که A ثابت و E<sub>g</sub> انرژی نوار است. n برای شکاف مستقیم برابر ۱/۲ و برای شکاف غیرمستقیم ۲ است؛ بنابراین انرژی نوار نوری E<sub>g</sub> از تقریب خطی منحنی  $(\alpha h\nu)^2$  در برابر hν به دست می آید. شکل ۳-۵ طیف DRS مربوط به نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت را نشان می دهد. شکل ۳-۵ نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  بر حسب hν برای محاسبه ی انرژی نوار نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> رسم شده است. انرژی نوار اندازه گیری شده مربوط به نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> تهیه شده در حدود ۲/۸۶ الکترون-ولت محاسبه شده است.





شکل ۵- تصاویر SEM نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

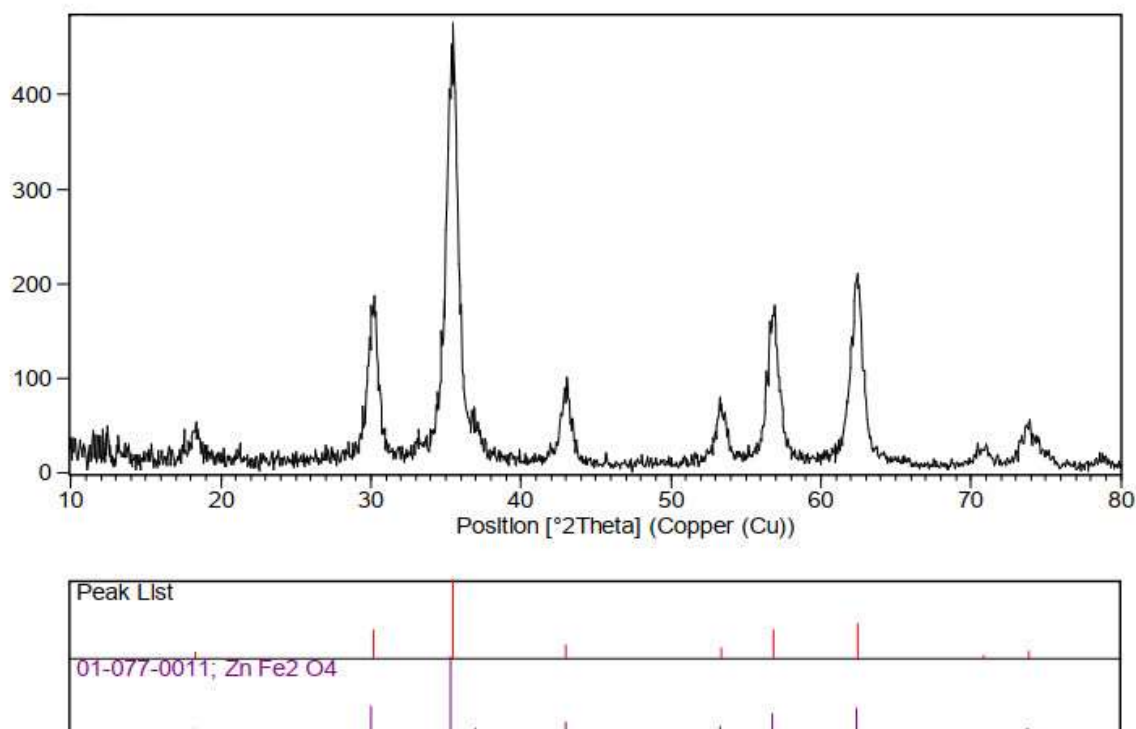


شکل ۶- (a) طیف DRS (b) نمودار  $(ahv)^2$  برحسب  $hv$  برای محاسبه انرژی نوار نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

### بررسی خصوصیات نانوذره $ZnFe_2O_4$ به روش هیدروترمال در دمای $130^\circ C$ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت

#### بررسی الگوی پراش اشعه X ( $ZnFe_2O_4$ XRD)

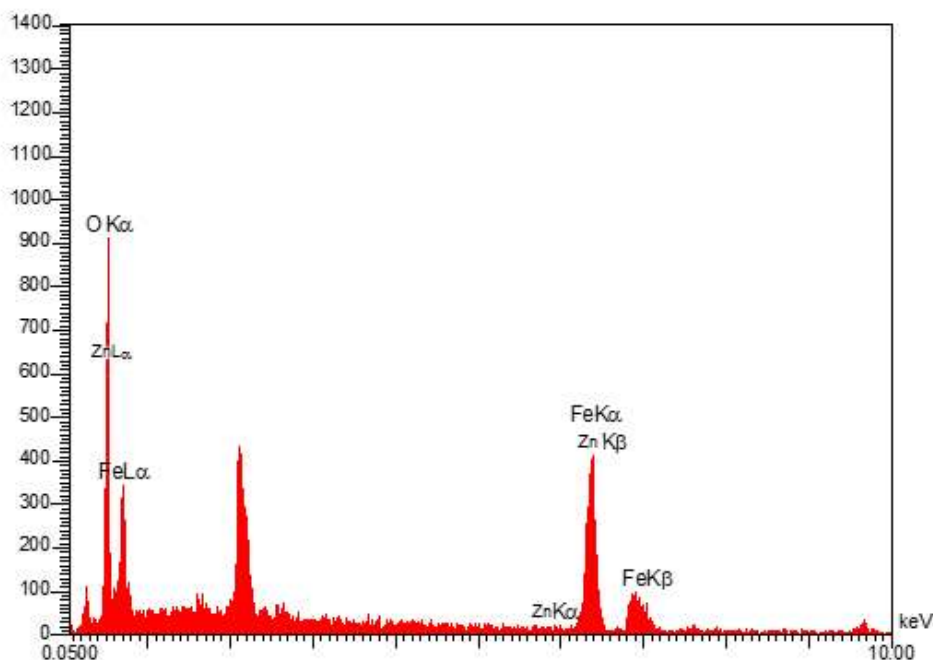
الگوی پراش XRD نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای  $130^\circ C$  درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت در شکل (۷) نشان داده شده است. در مقایسه با نمونه ی سنتز شده در دمای  $170^\circ C$  درجه سانتی گراد، پیک ها پهن تر شده اند که نشان دهنده ی کاهش اندازه ی دانه می باشد. با استفاده از محاسبات انجام شده بوسیله معادله دبای شرر اندازه دانه برای نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول  $30/5$  نانومتر محاسبه شد. این کاهش اندازه ی دانه به دلیل دمای پایین تر مورد استفاده می باشد. افزایش دما باعث تسریع فرایند کلوخه گی و افزایش اندازه ی ذرات می شود.



شکل ۷- الگوی پراش XRD نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای  $130^\circ C$  درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

#### طیف EDS مربوط به نانوذرات $ZnFe_2O_4$ سنتز شده

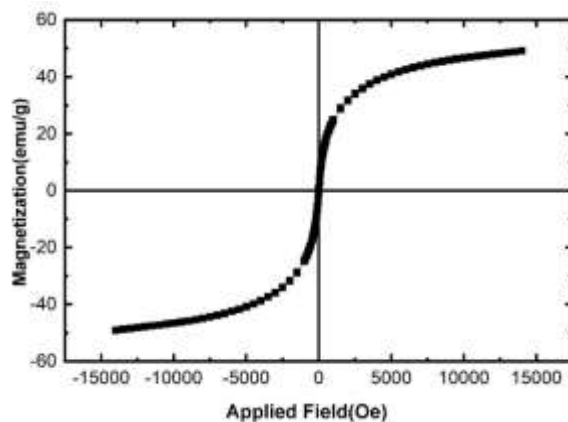
در شکل (۸) طیف EDS مربوط به نمونه تهیه شده با روش هیدروترمال سبز نشان داده شده است. طیف نشان دهنده وجود گونه های Fe و Zn و O در محصول است لذا طیف EDS نیز نشانگر تشکیل محصول با خلوص بالا می باشد.



شکل ۸- طیف EDS مربوط به نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت

#### نتیجه‌ی آنالیز VSM برای نانوذرات $ZnFe_2O_4$ سنتز شده

برای نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  رفتار سوپر پارامغناطیسی با مغناطش اشباع ۴۹ emu/g گزارش شد. مغناطش باقیمانده ۰/۶۴ emu/g به دست آمد. با توجه به پایین بودن مقدار مغناطش باقیمانده رفتار نانو ذرات سنتز شده نزدیک به رفتار سوپر پارامغناطیس است که با توجه به کوچک شدن اندازه‌ی ذرات این انتظار می‌رود. نمودار M-H برای این نانوذره در شکل (۹) نشان داده شد.

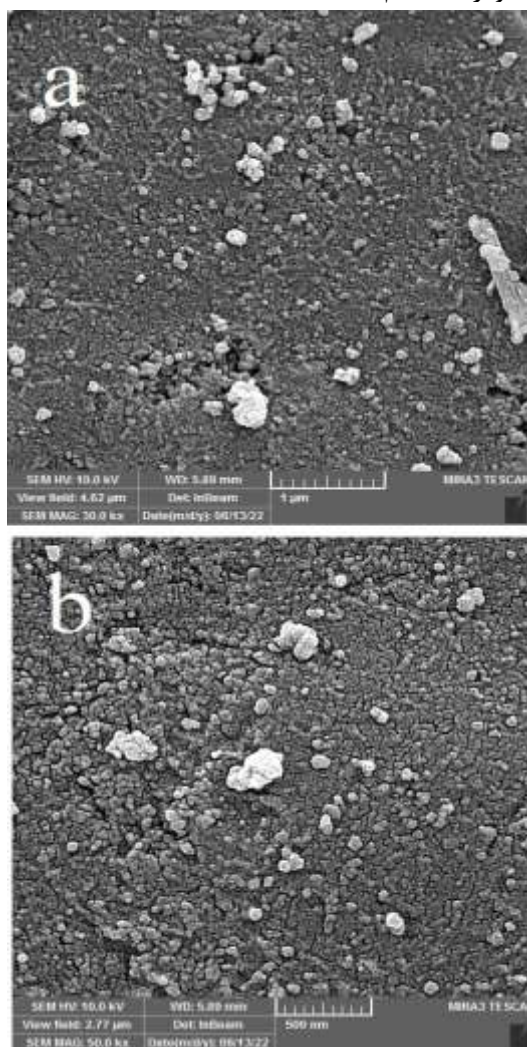


شکل ۹- منحنی پسماند نانوذرات نانوذرات روی فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

#### تصاویر SEM نانوذرات $ZnFe_2O_4$ سنتز شده

شکل ۱۰ (a,b) تصاویر SEM نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت را با دو بزرگنمایی مختلف نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص می‌باشد مورفولوژی

یکنواخت کروی شکل از نانوذرات تهیه شده است. قطر این نانوذرات بسیار کوچک می باشد. دلیل کلوخگی مشاهده شده می تواند به انرژی سطحی بالا و تمایل به چسبیدن نانوذرات به هم باشد.

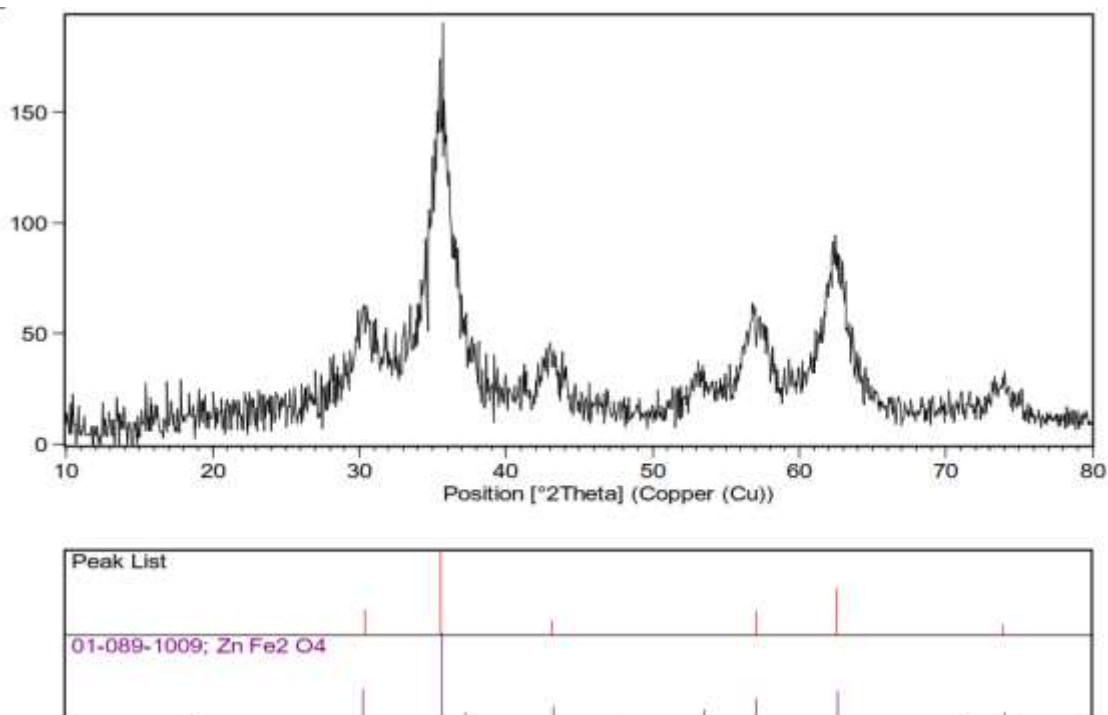


شکل ۱۰ تصاویر SEM نانوذرات کبالت فریت تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال آب در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد و زمان ۱۵ ساعت.

### بررسی خصوصیات نانوذره $ZnFe_2O_4$ به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول

#### بررسی الگوی پراش اشعه X ( $ZnFe_2O_4$ XRD)

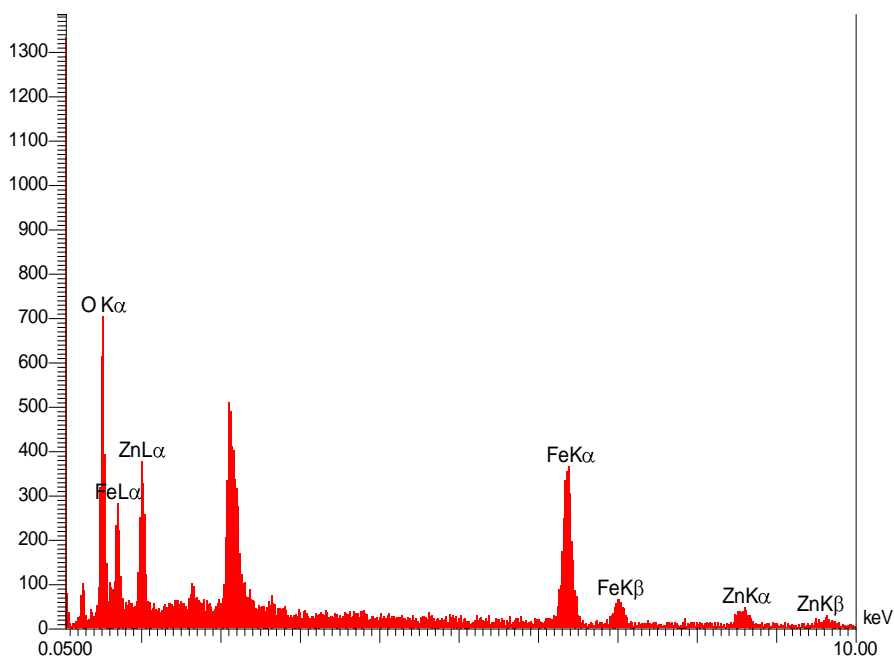
الگوی پراش XRD نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول در شکل (۱۱) نشان داده شده است که با کد 01-089-1009 مطابقت دارد. با استفاده از محاسبات انجام شده بوسیله معادله دبای شرر اندازه نمونه برای XRD نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول ۲۲/۴ نانومتر محاسبه شد که نسبت به نمونه تهیه شده در آب اندازه کوچکتری دارند. نتایج نشان می دهد که اتانول حلال مناسب تری نسبت به آب جهت سنتز نانوذرات روی فریت می باشد.



شکل ۱۱- الگوی پراش XRD نانوذرات روی فریت به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

### طیف EDS مربوط به نانوذرات ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> سنتز شده

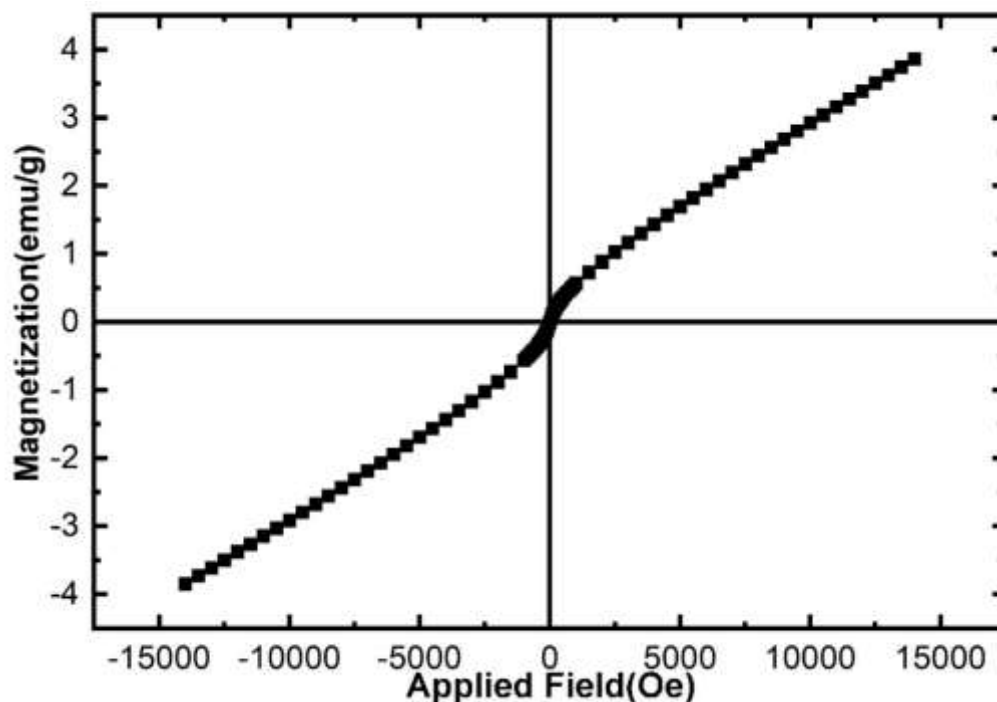
در شکل ۱۲ طیف EDS مربوط به نمونه تهیه شده با روش هیدروترمال سبز نشان داده شده است. طیف نشان‌دهنده وجود گونه‌های Fe و Zn و O در محصول است لذا طیف EDS نیز نشانگر تشکیل محصول با خلوص بالا می‌باشد.



شکل ۱۲- آنالیز EDS نانوذرات روی فریت به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

نتیجه‌ی آنالیز VSM برای نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  سنتز شده

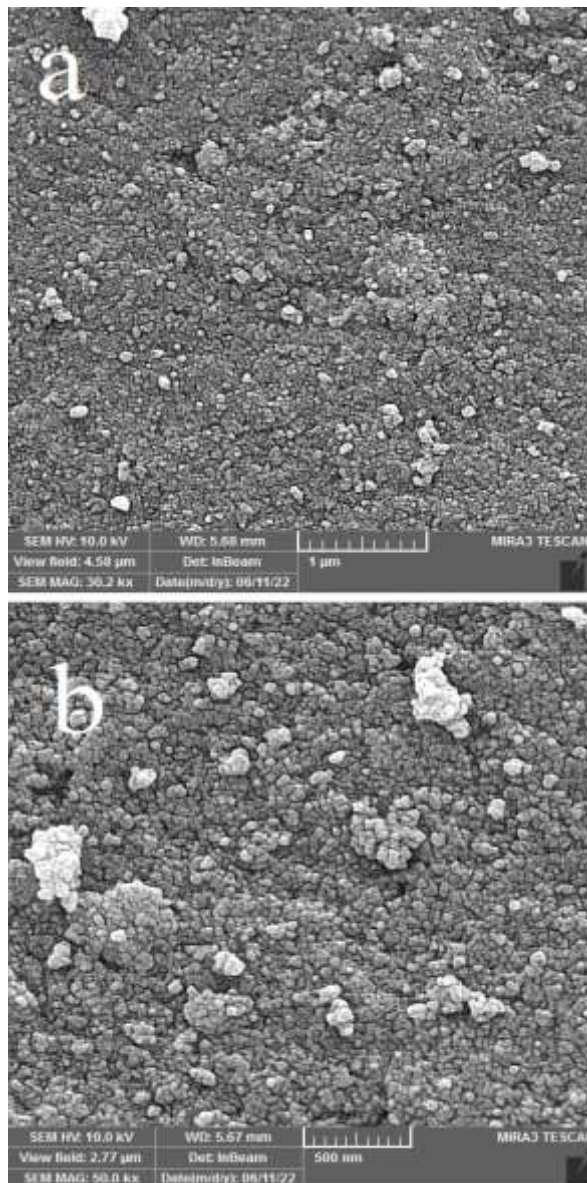
خواص مغناطیسی به اندازه، مورفولوژی و جهت‌گیری مغناطیسی بستگی دارد. برای نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  رفتار سوپر پارامغناطیسی با مغناطش اشباع  $4/1$  emu/g گزارش شد. این خاصیت مغناطیسی به دلیل اندازه‌ی کوچک نانوذرات می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار مغناطش باقیمانده رفتار نانو ذرات سنتز شده نزدیک به رفتار سوپرپارامغناطیس است که با توجه به کوچک شدن اندازه‌ی ذرات این انتظار می‌رود. نمودار M-H برای این نانو کامپوزیت در شکل (۱۳) نشان داده شد.



شکل ۱۳- منحنی پسماند نانوذرات روی فریت به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

تصاویر SEM نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  سنتز شده

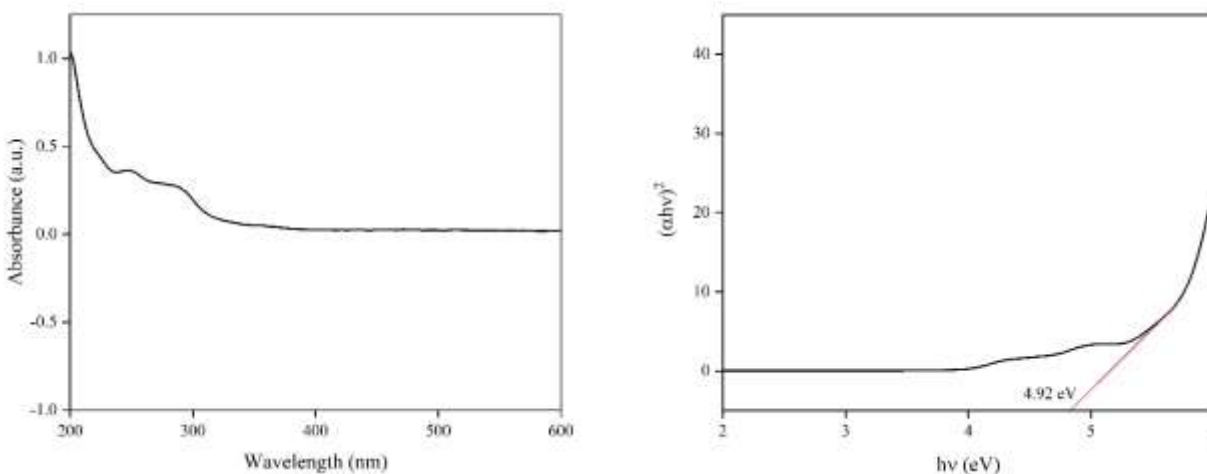
شکل (۱۴) (a,b) تصاویر SEM نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه‌شده به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص می‌باشد با مقایسه با روش‌های دیگر، اندازه‌ی ذرات در روش سنتز سبز کوچک‌تر و یکنواخت‌تر می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که حلال اتانول توانسته با موفقیت نقش یک حلال مناسب را در سنتز نانوذرات مغناطیسی  $ZnFe_2O_4$  را ایفا کند.



شکل ۱۴- تصاویر SEM نانوذرات روی فریت به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

#### طیف DRS مربوط به نانوذرات $ZnFe_2O_4$ سنتز شده

شکل (۱۵) نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  برحسب  $h\nu$  برای محاسبه‌ی انرژی نوار نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  رسم شده است. انرژی نوار اندازه‌گیری شده مربوط به نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده در حدود  $4/92$  الکترون-ولت محاسبه شده است.

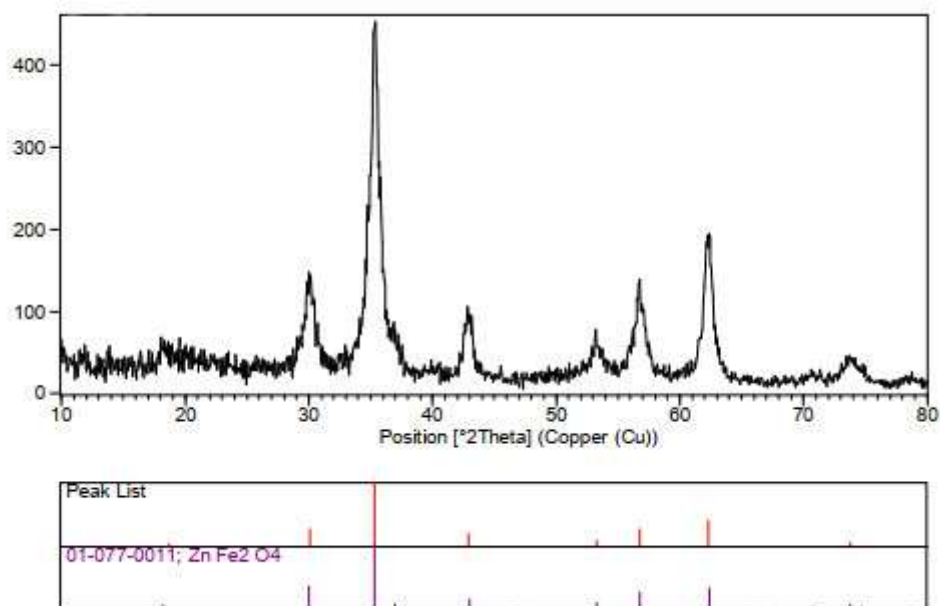


شکل ۱۵- (a) طیف DRS (b) نمودار  $(\alpha hv)^2$  بر حسب  $h\nu$  برای محاسبه‌ی انرژی نوار نانوذرات روی فریت به روش هیدروترمال با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

### بررسی خصوصیات نانوذره $ZnFe_2O_4$ به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول

#### بررسی الگوی پراش اشعه X ( $ZnFe_2O_4$ XRD)

الگوی پراش XRD نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول در شکل (۱۷) نشان داده شده است. همان‌گونه که از الگوی XRD محصول مشخص است موقعیت پیک‌ها نشان‌دهنده‌ی فاز مکعبی  $ZnFe_2O_4$  (JCPDS: 01-077-0011) با ثابت‌های شبکه  $(a=b=c=8.4160)$  می‌باشد. با استفاده از معادله دبای شرر (معادله ۳-۱) اندازه نانوذرات محاسبه شد. با استفاده از محاسبات انجام شده بوسیله معادله دبای شرر اندازه نمونه برای XRD نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول  $27/8$  نانومتر محاسبه شد.

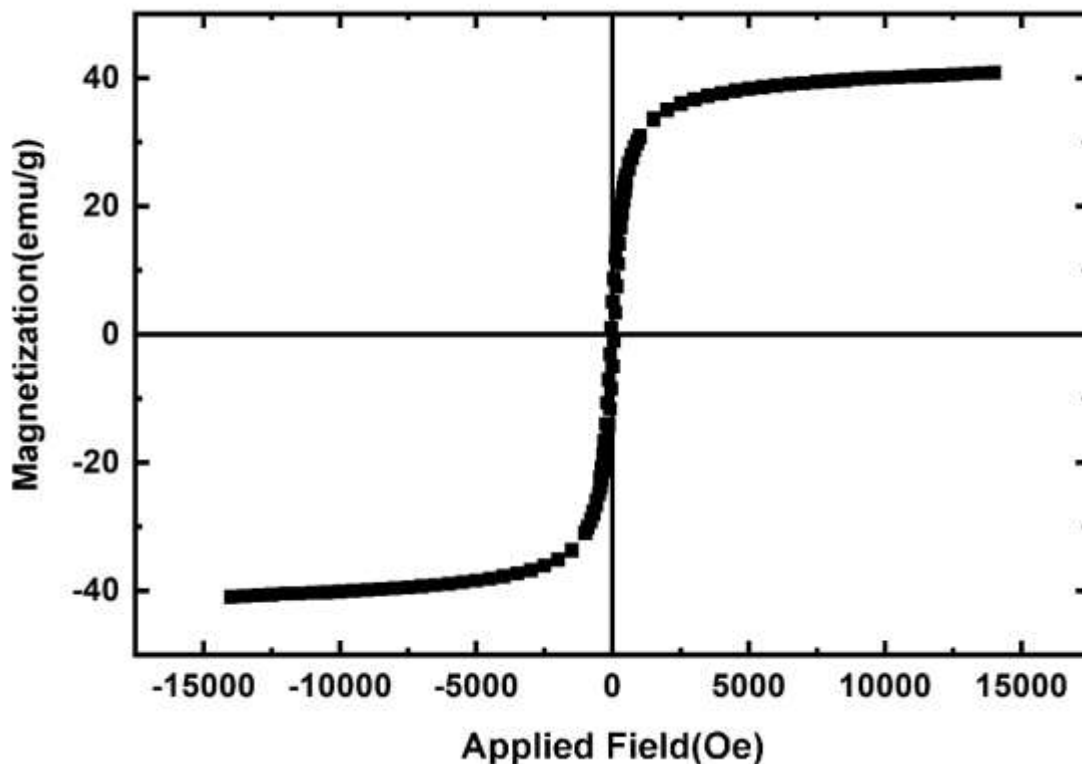


شکل ۱۶- الگوی پراش XRD نانوذرات روی فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.



## نتیجه‌ی آنالیز VSM برای نانوذرات روی فریت سنتز شده

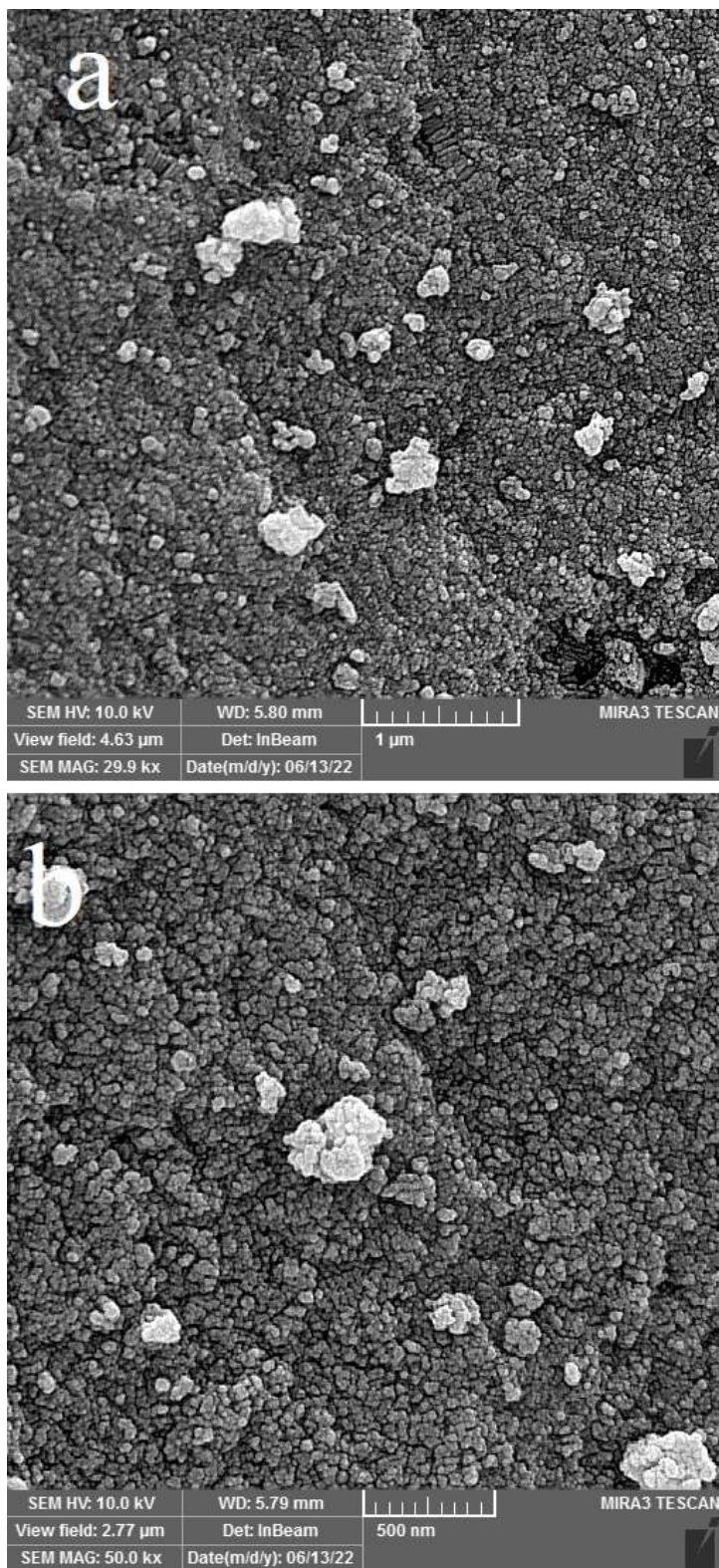
برای نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  رفتار سوپر پارامغناطیسی با مغناطش اشباع  $40 \text{ emu/g}$  گزارش شد. مغناطش باقیمانده  $2/30 \text{ emu/g}$  به دست آمد. این خاصیت مغناطیسی به دلیل اندازه‌ی کوچک نانوذرات می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار مغناطش باقیمانده رفتار نانو ذرات سنتز شده نزدیک به رفتار سوپر پارامغناطیس است که با توجه به کوچک شدن اندازه‌ی ذرات این انتظار می‌رود. نمودار M-H برای این نانوذره در شکل (۱۷) نشان داده شد.



شکل ۱۷- منحنی پسماند نانوذرات روی فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

## تصاویر SEM نانوذرات روی فریت سنتز شده

شکل ۱۸ (a,b) تصاویر SEM نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول را با دو بزرگ‌نمایی مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص می‌باشد مانند نانو ساختارهای دیگر ذرات بسیار ریزی تشکیل شده‌اند. به دلیل انرژی سطحی بالا در نانوذرات ریز، ذرات ریز به هم متصل شده و ذرات بزرگ‌تر تشکیل داده‌اند. به دلیل کلوخه‌ای شدن سطح ویژه‌ی نانو ذرات کاهش می‌یابد. با استفاده از نرم‌افزار دیجی‌مایزر، میانگین اندازه ذرات  $39 \text{ nm}$  نانومتر اندازه‌گیری شد.

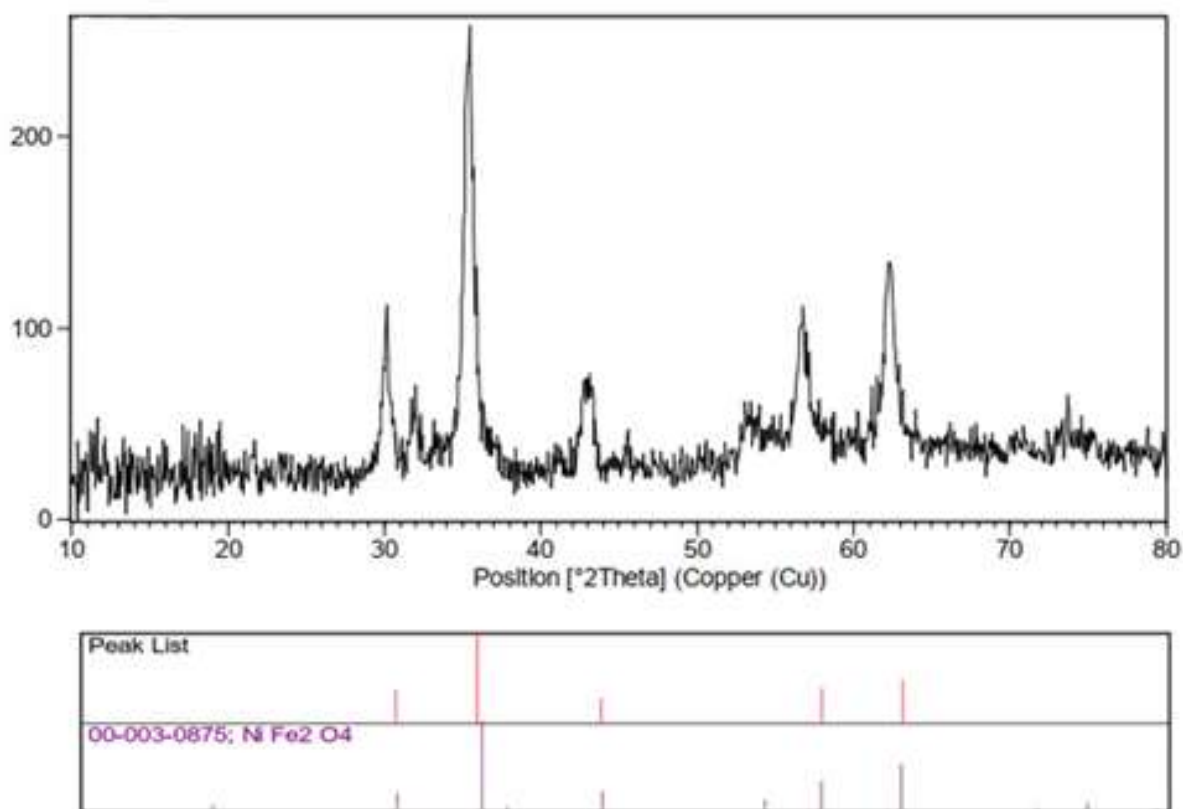


شکل ۱۸- تصاویر SEM نانوذرات روی فریت به روش همرسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال اتانول.

### بررسی خصوصیات نانوذره $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب

#### بررسی الگوی پراش اشعه X ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ XRD)

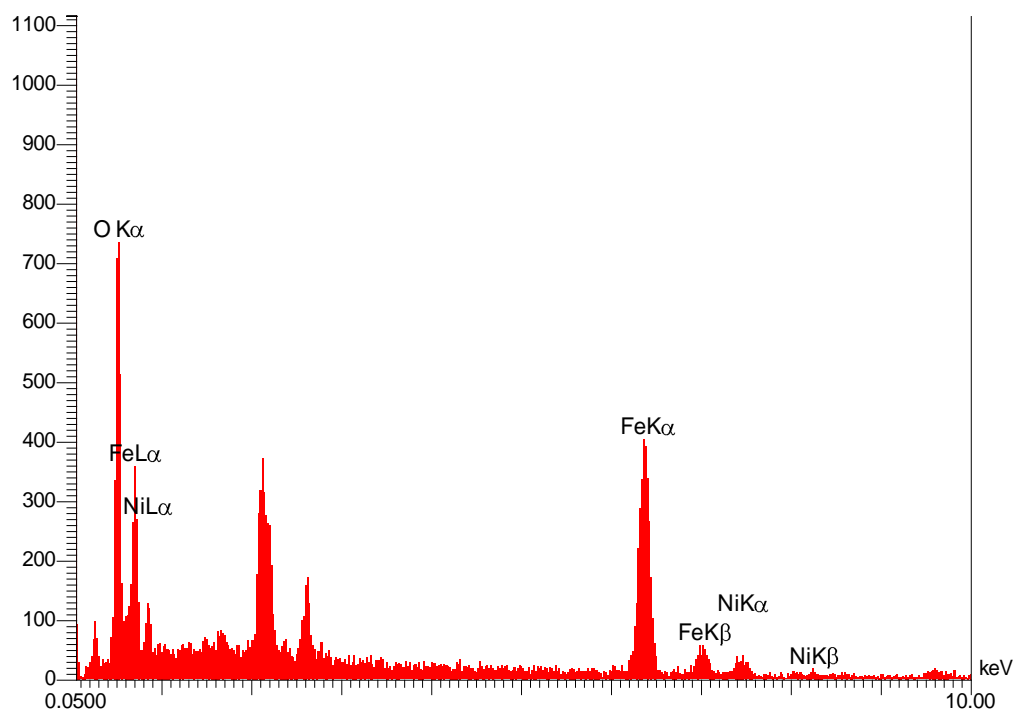
الگوی XRD در شکل ۲۰ نشان داده است. همان‌گونه که از الگوی XRD محصول مشخص است موقعیت پیک‌ها نشان‌دهنده‌ی فاز مکعبی ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  (JCPDS: 00-003-0875) با ثابت‌های شبکه ( $a=8.3400$   $b=8.3400$   $c=8.3400$ ) می‌باشد. طبق معادله‌ی شرر اندازه‌ی کریستال‌ها در حدود  $32/7$  نانومتر برای نانو ذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده محاسبه شد.



شکل ۱۹- الگوی پراش XRD نانوذرات نیکل فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب.

#### طیف EDS مربوط به نانوذرات $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ سنتز شده

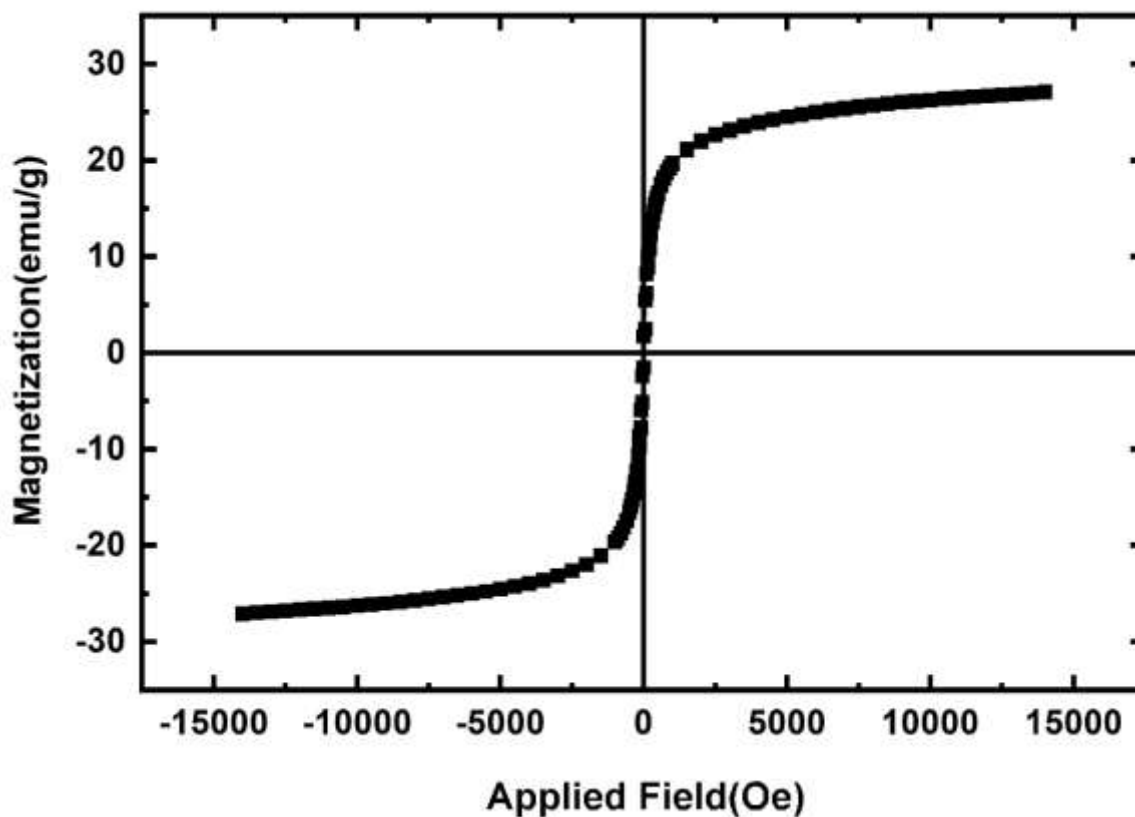
در شکل ۲۱ طیف EDS مربوط به نمونه تهیه‌شده با روش هم‌رسوبی در دمای  $90^\circ\text{C}$  نشان داده شده است. طیف نشان‌دهنده وجود گونه‌های Fe و Ni و O در محصول است لذا طیف EDS نیز نشانگر تشکیل محصول با خلوص بالا می‌باشد.



شکل ۲۰- آنالیز EDS نانوذرات نیکل فریت به روش همرسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب.

#### نتیجه‌ی آنالیز VSM برای نانوذرات $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ سنتز شده

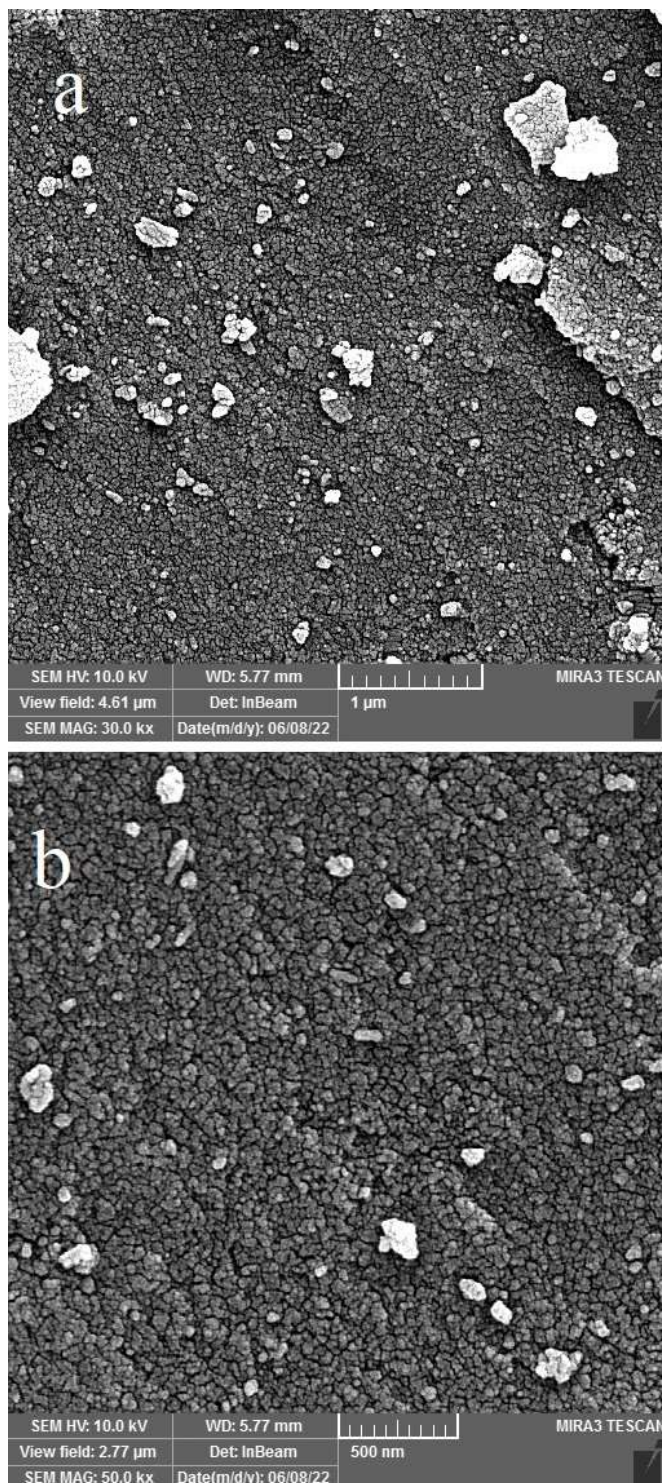
خواص مغناطیسی به اندازه، مورفولوژی و جهت‌گیری مغناطیسی بستگی دارد. برای نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  رفتار سوپر پارامغناطیسی با مغناطش اشباع  $27/09 \text{ emu/g}$  گزارش شد. مغناطش باقیمانده  $0/99 \text{ emu/g}$  به دست آمد. این خاصیت مغناطیسی به دلیل اندازه‌ی کوچک نانوذرات می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار مغناطش باقیمانده رفتار نانو ذرات سنتز شده نزدیک به رفتار سوپر پارامغناطیس است که با توجه به کوچک شدن اندازه‌ی ذرات این انتظار می‌رود. نمودار M-H برای این نانوذره در شکل ۲۱ نشان داده شد.



شکل ۲۱- منحنی پسماند نانوذرات نیکل فریت به روش همرسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب.

#### تصاویر SEM نانوذرات $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ سنتز شده

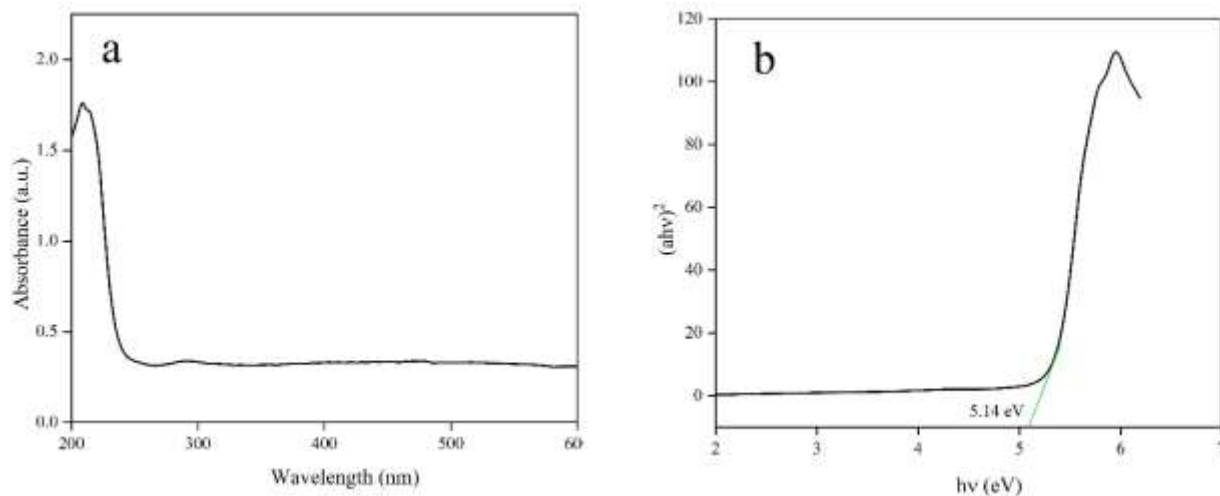
شکل ۲۲ (a,b) تصاویر SEM نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  تهیه شده به روش همرسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب را با دو بزرگ‌نمایی مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص می‌باشد ذرات بسیار ریزی تشکیل شده‌اند. به دلیل انرژی سطحی بالا در نانوذرات ریز، ذرات ریز به هم متصل شده و ذرات بزرگ‌تر تشکیل داده‌اند. به دلیل کلوخه‌ای شدن سطح ویژه‌ی نانو ذرات کاهش می‌یابد. با استفاده از نرم‌افزار دیجیمایزر، میانگین اندازه ذرات ۴۱ نانومتر اندازه‌گیری شد.



شکل ۲۲- تصاویر SEM نانوذرات نیکل فریت به روش همرسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب.

طیف DRS مربوط به نانو ذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده

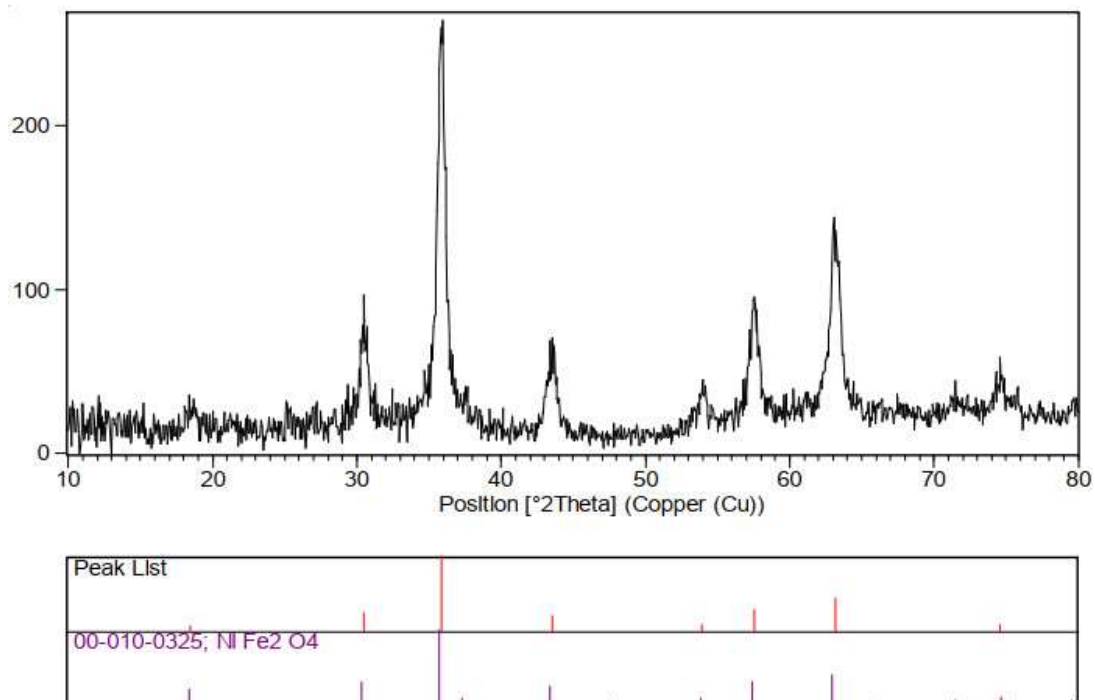
شکل ۲۳ طیف DRS مربوط به نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  تهیه شده به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب را نشان می‌دهد. شکل نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  برحسب  $h\nu$  برای محاسبه انرژی نوار نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  رسم شده است. انرژی نوار اندازه‌گیری شده مربوط به نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  تهیه شده در حدود  $5/14$  الکترون-ولت محاسبه شده است.



شکل ۲۳- (a) طیف DRS (b) نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  برحسب  $h\nu$  برای محاسبه انرژی نوار نانوذرات نیکل فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده PVP و حلال آب.

بررسی خصوصیات نانوذره  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آببررسی الگوی پراش اشعه X ( $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  XRD)

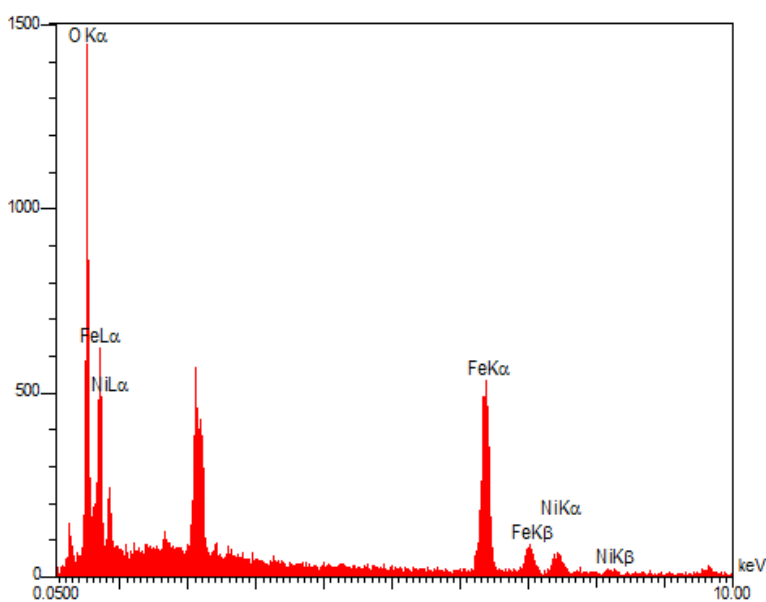
الگوی XRD نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  سنتز به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب در شکل ۲۵ نشان داده است. همان‌گونه که از الگوی XRD محصول مشخص است موقعیت پیک‌ها نشان‌دهنده فاز مکعبی  $\text{ZnFe}_2\text{O}_4$  (JCPDS: 00-010-0325) با ثابت‌های شبکه  $(a=8.339 \text{ b}=8.339 \text{ c}=8.339)$  می‌باشد. طبق معادله شرر اندازه‌ی کریستال‌ها در حدود  $26/5$  نانومتر برای نانو ذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  محاسبه شد. همان‌گونه که مشخص می‌باشد به هنگام استفاده از عصاره ی هل به عنوان عامل پوشاننده اندازه ی دانه ها کوچک تر بوده و نمونه ی به دست آمده دارای خلوص بالا می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که عصاره ی هل به خوبی نقش عامل پوشاننده را ایفا کرده است.



شکل ۲۴- الگوی پراش XRD نانوذرات نیکل فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب.

#### طیف EDS مربوط به نانوذرات $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ سنتز شده

در شکل ۲۵ طیف EDS مربوط به نمونه تهیه‌شده با روش هم‌رسوبی در دمای  $90^\circ\text{C}$  نشان داده شده است. طیف نشان‌دهنده وجود گونه‌های آهن، نیکل و اکسیژن در محصول است لذا طیف EDS نیز نشانگر تشکیل محصول با خلوص بالا می‌باشد.

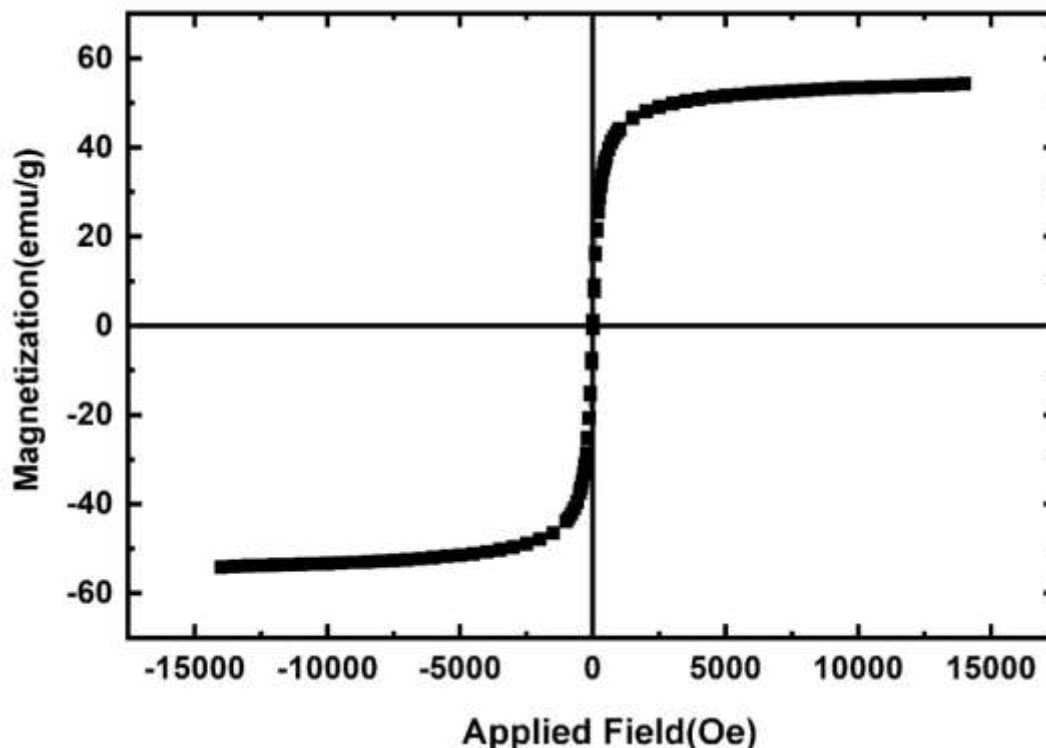


شکل ۲۵- آنالیز EDS نانوذرات نیکل فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب.



نتیجه‌ی آنالیز VSM برای نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده

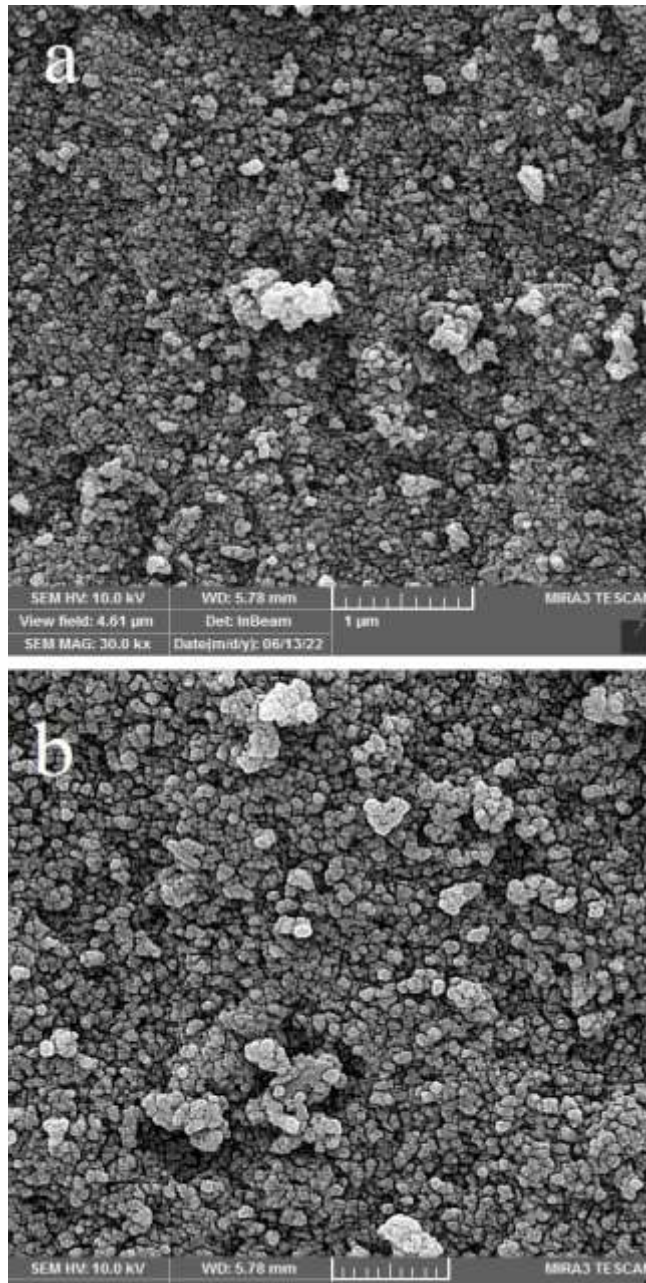
خواص مغناطیسی به اندازه، مورفولوژی و جهت‌گیری مغناطیسی بستگی دارد. برای نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  رفتار سوپر پارامغناطیسی با مغناطش اشباع ۶  $\text{emu/g}$  گزارش شد. این خاصیت مغناطیسی به دلیل اندازه‌ی کوچک نانوذرات می‌باشد. با توجه به پایین بودن مقدار مغناطش باقیمانده رفتار نانو ذرات سنتز شده نزدیک به رفتار سوپرپارامغناطیس است که با توجه به کوچک شدن اندازه‌ی ذرات این انتظار می‌رود. نمودار M-H برای این نانوذره در شکل ۲۶ نشان داده شد.



شکل ۲۶- منحنی پسماند نانوذرات نیکل فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب.

تصاویر SEM نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  سنتز شده

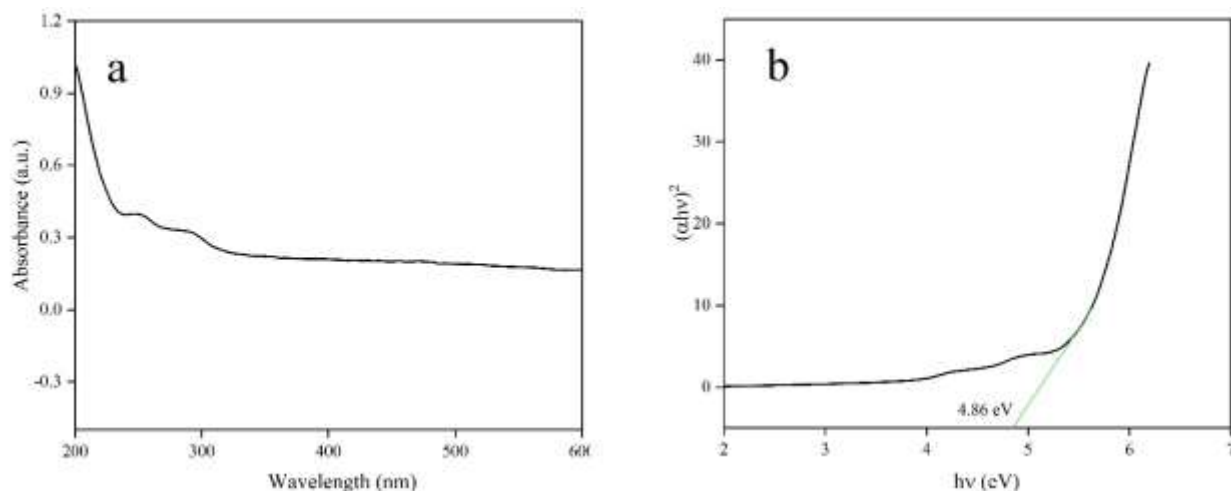
شکل ۲۷ (a,b) تصاویر SEM نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  تهیه‌شده به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب را با دو بزرگ‌نمایی مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص می‌باشد ذرات بسیار ریزی نسبت به روش شیمیایی هم‌رسوبی تشکیل شده‌اند. همچنین تصاویر SEM تأیید کننده‌ی مورفولوژی یکنواخت با توزیع اندازه‌ی باریک برای نانوساختارهای تهیه‌شده می‌باشد. با استفاده از نرم‌افزار دیجیمایزر، میانگین اندازه ذرات ۴۵ نانومتر اندازه‌گیری شد.



شکل ۲۷- تصاویر SEM نانوذرات نیکل فریت به روش همرسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب.

#### طیف DRS مربوط به نانوذرات $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ سنتز شده

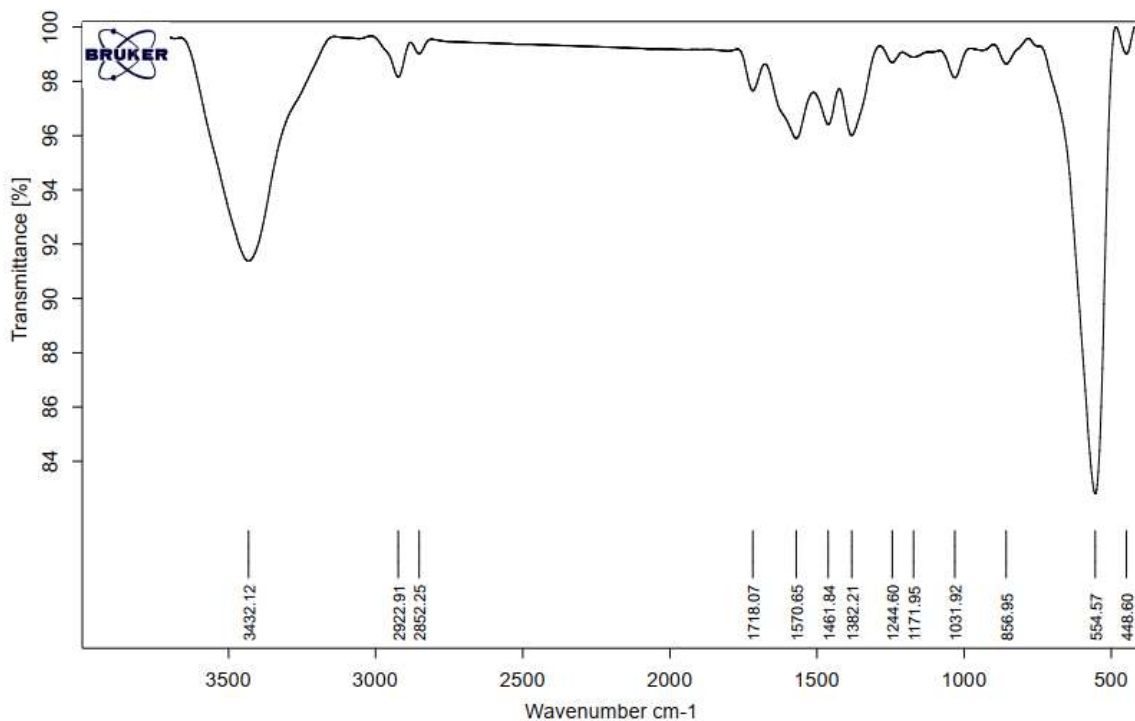
شکل (۲۸) طیف DRS مربوط به نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  تهیه شده به روش همرسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب را نشان می دهد. شکل ۳-۲۵ نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  بر حسب  $h\nu$  برای محاسبه انرژی نوار نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  رسم شده است. انرژی نوار اندازه گیری شده مربوط به نانوذرات  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  تهیه شده در حدود ۴/۸۶ الکترون-ولت محاسبه شده است.



شکل ۲۸- (a) طیف DRS (b) نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  بر حسب  $h\nu$  برای محاسبه‌ی انرژی نوار نانوذرات نیکل فریت به روش هم‌رسوبی با عامل پوشاننده عصاره هل و حلال آب.

### بررسی طیف FT-IR نانوذره $ZnFe_2O_4$ تهیه شده به روش هم‌رسوبی با حلال اتانول به همراه آسپرین

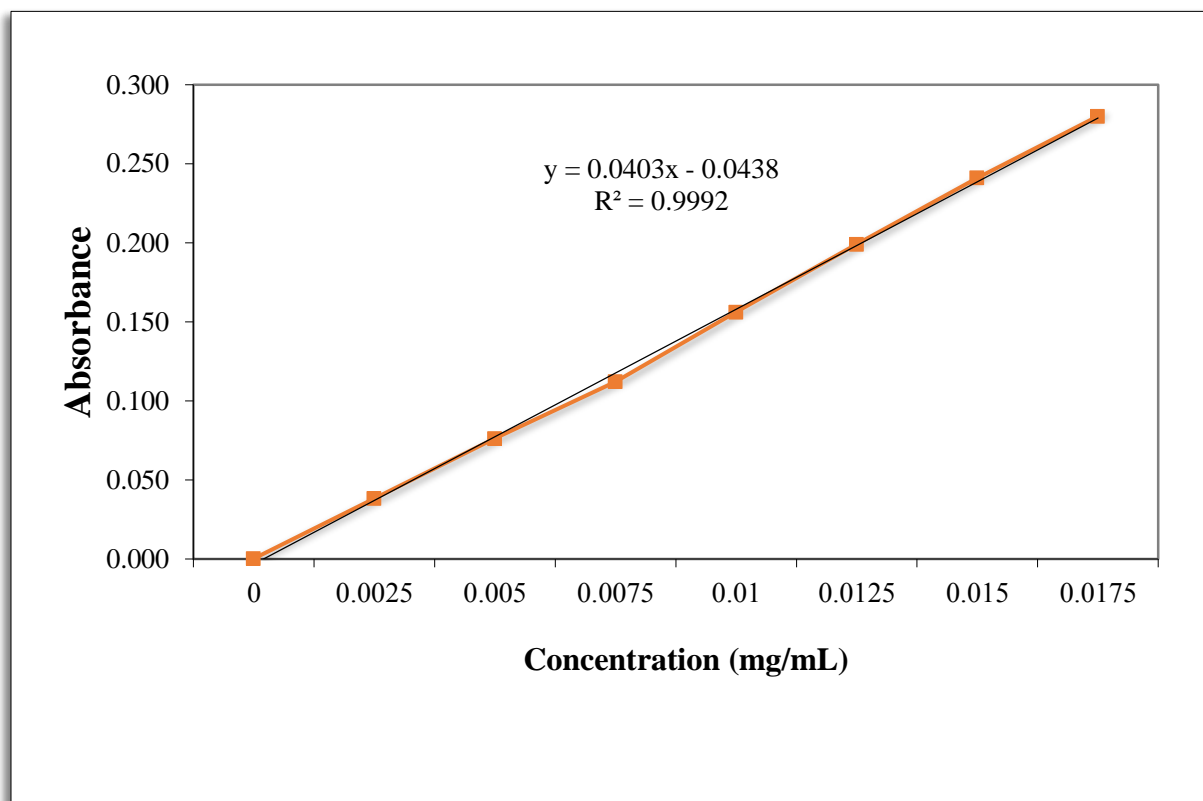
به منظور اطمینان از سنتز و بررسی ساختار مولکولی و گروه‌های عاملی، طیف FT-IR نانوذرات  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش هم‌رسوبی با حلال اتانول به همراه آسپرین مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲۹). پیکی که در  $3432\text{cm}^{-1}$  ظاهر شده به ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل نسبت داده می‌شود. پیک ظاهر شده در  $2852\text{cm}^{-1}$  نشان دهنده ارتعاش کششی C-H است. قله  $1718\text{cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات کششی C=O و پیک ظاهر شده در  $1570\text{cm}^{-1}$  مربوط به پیوند دوگانه کربن-کربن C=C حلقه آروماتیک مربوط به آسپرین است. پیک موجود در  $1031\text{cm}^{-1}$  نشان دهنده پیوند کربن-کربن C-C می‌باشد. همچنین پیک ظاهر شده در  $554\text{cm}^{-1}$  نشان دهنده وجود پیوند فلز-اکسیژن (Fe-O) باشد [۵۵]. نتایج به دست آمده از طیف FT-IR تاییدی بر سنتز نانو ذره دارد و همچنین ساختار و وجود گروه‌های عاملی موجود در آسپرین بارگزاری شده بروی نانوذره را تایید می‌کند.



شکل ۲۹- طیف FT-IR نانوذره  $ZnFe_2O_4$  تهیه شده به روش همرسوبی با حلال اتانول به همراه آسپرین

### بررسی منحنی کالیبراسیون

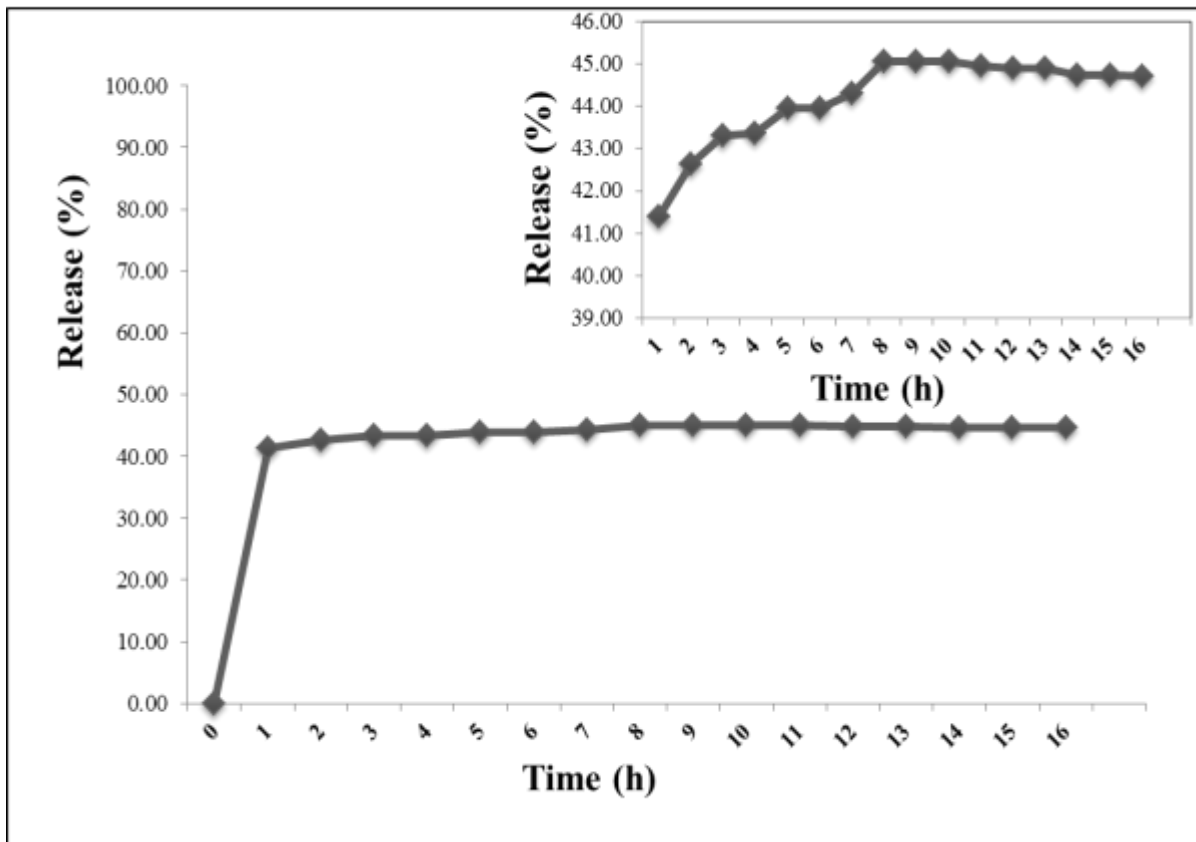
شکل (۳۰) نمودار کالیبراسیون جذب بر حسب غلظت های مختلف داروی خالص شده را نشان می دهد. معادله خط و درجه خطای واکنش نیز آورده شده است. همانطور که در نمودار قابل مشاهده است میزان ضریب رگرسیون ۰/۹۹ بدست آمده می باشد که بیانگر دقت بالای کار در مراحل آماده سازی نمونه ها است.



شکل ۳۰- منحنی کالیبراسیون غلظت های مختلف داروی آسپرین

### بررسی تاثیر زمان در رهش دارو

نمودار شکل (۳۱) آزاد سازی داروی آسپرین به دام انداخته شده در نانوکامپوزیت درون محلول شبیه ساز پلاسمای خون (بافر فسفات pH= 7/4) را با گذشت نشان می دهد. در فواصل زمانی یک ساعت مقدار ۲ میلی لیتر از محلول حاصل جهت اندازه گیری جذب در دستگاه UV-Vis برداشته شد. جذب نمونه ها هر یک ساعت به مدت ۱۶ ساعت ثبت شد. مقدار رهش دارو در ۴ ساعت اول روند صعودی داشته و پس از آن شیب رهش با دامنه ی ملایمتری به مدت ۸ ساعت ادامه پیدا کرد و پس از آن تا ۱۶ ساعت بصورت ثابت باقی ماند.



شکل ۳۱- تاثیر زمان در رهش داروی آسپرین

### پیشنهادات

در این پژوهش نانوساختارهای جدیدی جهت جذب و رهایش داروی آسپرین معرفی گردید. به دلیل اینکه خواص ساختاری و مورفولوژیکی نانو ساختارها شدیداً به روش سنتز اعمالی و پیش ماده‌های مورد استفاده وابسته است، لذا در آینده می‌توان نانوساختارهای مورد استفاده در این پروژه را با پیش ماده‌ها و روش‌های مختلفی سنتز کرد. این امر می‌تواند در کنترل شکل و اندازه‌ی نانوساختار و نهایتاً در رهایش بهتر داروی آسپرین مؤثر باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که عصاره گیاهان تأثیر بسیار مثبتی در کنترل اندازه و مورفولوژی نانو ساختارهای روی فریت و نیکل فریت دارد. لذا پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های آینده عصاره های گیاهی مختلفی در سنتز انواع نانومواد به کار گرفته شوند و نانوذرات تهیه شده نهایتاً در فرآیند جذب و رهایش داروهای مختلف به کار گرفته شوند. همچنین در این پژوهش از عامل اتصال دهنده ی دارو و نانوساختار استفاده نگردید، می‌توان برای بررسی آتی، پژوهش را با اتصال دهنده های مختلف دارو به نانوساختار انجام و تاثیر آن در رهایش دارو را بررسی کرد.

منابع

- [1] H. Haroon, A. Hunter, Z. Farhangrazi, S. Moghimi, *Advanced Drug Delivery Reviews*, (2022) 114396.
- [2] G.A. Ozine, A.C. Arsenault, L. Cademartiri, *Nanochemistry: "A Chemical Approach to Nanomaterials"*, Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry: (2005).
- [3] G. Coa, "Nanostructures and Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications" .: Imperial College Press, London,( 2004).
- [4] C. Sun, J.S. Lee, M. Zhang, *Advanced drug delivery reviews*, 1252-1265 (2008) 60.
- [5] R.B. Lindsay, *American Journal of Physics*, 8 (1940) 271-282.
- [6] A.N. Andriotis, M. Menon, R.M. Sheetz, L. Chernozatonskii, *Physical review letters*, 90 (2003) 026801.
- [7] F. Oldfield, L. Yu, *Sedimentology*, 41 (1994) 1093-1108.
- [8] M.F. Barnothy, *Biological effects of magnetic fields*, Springer2013.
- [9] K. Shankramma, S. Yallappa, M. Shivanna, J. Manjanna, *Applied Nanoscience*, 6 (2016) 983-990.
- [10] C. Holm, J.-J. Weis, *Current opinion in colloid & interface science*, 10 (2005) 133-140.
- [11] S. Behrens, I. Appel, *Current opinion in biotechnology*, 39 (2016) 89-96.
- [12] V. Labhasetwar, C. Song, R.J. Levy, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 24 (1997) 63-85.
- [13] T. Vangijzegem, D. Stanicki, S. Laurent, *Expert opinion on drug delivery*, 16 (2019) 69-78.
- [14] V.I. Shubayev, T.R. Pisanic II, S. Jin, *Advanced drug delivery reviews*, 61 (2009) 467-477.
- [15] A.E. Nadimi, S.Y. Ebrahimipour, E.G. Afshar, S.K. Falahati-Pour, Z. Ahmadi, R. Mohammadinejad, M. Mohamadi, *European journal of medicinal chemistry*, 157 (2018) 1153-1163.
- [16] J.K. Patra, G. Das, L.F. Fraceto, E.V.R. Campos, M.d.P. Rodriguez-Torres, L.S. Acosta-Torres, L.A. Diaz-Torres, R. Grillo, M.K. Swamy, S. Sharma, *Journal of nanobiotechnology*, 16 (2018) 1-33.
- [17] J. Yoo, C. Park, G. Yi, D. Lee, H. Koo, *Cancers*, 11 (2019) 640.
- [18] T. Yih, M. Al-Fandi, *Journal of cellular biochemistry*, 97 (2006) 1184-1190.
- [19] F. Masood, *Materials Science and Engineering: C*, 60 (2016) 569-578.
- [20] J. Dobson, *Drug development research*, 67 (2006) 55-60.
- [21] T. Indira, P. Lakshmi, *International Journal of Pharmaceutical sciences and nanotechnology*, 3 (2010) 1035-1042.
- [22] Liangwu L., Li X., Yu W., Sanlin L., Xiaofeng D., Zhipeng L., Wei C., Xiongying M., *Active Targeting of Nano-Photosensitizer Delivery Systems for Photodynamic Therapy of Cancer Stem Cells*, *J. Biomed Nanotechnol.* 11 (2015) 531-554.
- [23] Tian, W., *The Development of Sustained Release Formulation for Pharmaceutical Proteins based on Vesicular Phospholipid Gels*. 2010.
- [24] Nallamothu, R., C. Wood, G., F. Kiani, M., M. Moore, B., P. Horton, F., A. Thoma, L. A *Targeted Liposome Delivery System for Combretastatin A4: Formulation Optimization through Drug Loading and In Vitro Release Studies*. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 2006. 60: p. 144-155.

- [25] Shekunov B.Yu., Taylor P. Grossmann JG, Proceeding of the annual Conference of AAPS, Pharm Res., 1997, 14: 711.
- [26] Calderón M., Strumia M., Hyperbranched and Hiperfunctionalized Materials from Dendritic Chemistry, Rev. LatinAm. Metal. Mat. 33 (2013) 2-14.
- [27] Buhleier E., Wehner W., Vogtle F., Cascade-chain-like and nonskid-chain-like syntheses of molecular cavity topologies, Synthesis-Stuttgart, 2 (1978) 155-158.
- [28] Padilla D., Jesús O. L., Ihre H. R., Gagne L., Fréchet J. M., & Szoka F. C., Polyester dendritic systems for drug delivery applications: in vitro and in vivo evaluation, Bioconjug Chem. 13 (2002) 453-461.
- [29] Bertrand N., Wu J., Xu X., Kamaly N., Farokhzad O. C., Cancer nanotechnology: The impact of passive and active targeting in the era of modern cancer biology, Adv Drug Deliv Rev. 66 (2014) 2-25.
- [30] Wada K., Arima H., Tsutsumi T., Chihara Y., Hattori K., Hirayama F., Uekama K., Improvement of gene delivery mediated mannosylated dendrimer/ $\alpha$ -cyclodextrin conjugates, J. Control Release. 104 (2005) 397-413.
- [31] T. Sun, Y.S. Zhang, B. Pang, D.C. Hyun, M. Yang, Y. Xia, Nanomaterials and Neoplasms, (2021) 31-142.
- [32] H. Zhang, J. Li, Y. Hu, M. Shen, X. Shi, G. Zhang, Journal of ovarian research, 9 (2016) 1-8.
- [33] C. Alexiou, R.J. Schmid, R. Jurgons, M. Kremer, G. Wanner, C. Bergemann, E. Huenges, T. Nawroth, W. Arnold, F.G. Parak, European biophysics journal, 35 (2006) 446-450.
- [34] R. Tietze, J. Zaloga, H. Unterweger, S. Lyer, R.P. Friedrich, C. Janko, M. Pöttler, S. Dürr, C. Alexiou, Biochemical and biophysical research communications, 468 (2015) 463-470.
- [35] Scott H M., EH El-Sayed M., Dendrimers as carriers for delivery of chemotherapeutic agents, Chem. Rev. 109 (2009) 3141-3157.
- [36] Chauhan A. S., Svenson S., Reyna L., Tomalia., D. A. Solubility enhancement propensity of PAMAM nanoconstructs, Mater Matters Nanomater. 2 (2007) 24-27.
- [37] Faraji, M., Yamini, Y., Rezaee, M. (2010). "Magnetic nanoparticles: synthesis, stabilization, functionalization, characterization, and applications." Journal of the Iranian Chemical Society, Vol. 7, pp. 1-37.
- [38] Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L., Muller, R. N. (2008). "Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications." Chemical reviews, Vol. 108, pp. 2064-2110.
- [39] Davis M. E., Nanoparticle therapeutics: an emerging treatment modality for cancer, Nat. Rev. Drug. Discov. 7 (2008) 771-782.
- [40] Kumar M., Yigit M., Dai G., Moore A., Medarova Z., Image-guided breast tumor therapy using a small interfering RNA nanodrug, Cancer research. 70 (2010) 7553-7561.
- [41] Unsoy G., Yalcin S., Khodadust R., Mutlu P., Chitosan magnetic nanoparticles for pH responsive Bortezomib release in cancer therapy, Biomedicine & Pharmacotherapy.1 (2014) 641-648.
- [42] Sheng L., Ren J., Miao Y., Wang J., Wang E., PVP-coated graphene oxide for selective determination of ochratoxin A via quenching fluorescence of free aptamer, Biosens Bioelectron. 26 (2011) 3494-3499.
- [43] Sanchez S. Drug delivery device with a rotatable drive mechanism. Google Patents; .2018.



- [44] Yun YH, Lee BK, Park K. Controlled drug delivery: historical perspective for the next generation. *Journal of Controlled Release*. 2015,7. 219.2.
- [45] Strebhardt K, Ullrich A. Paul Ehrlich's magic bullet concept: 188years of progress. *Nature Reviews Cancer*. 2008;8(6): .473
- [46] Lee PI, Li JX. Evolution of oral controlled release dosage forms. *Oral Controlled Release Formulation Design and Drug Delivery* John Wiley & Sons, Inc.2010,31.21.
- [47] Kreye O., Kugele D., Faust L., Meier M. A., Divergent Dendrimer Synthesis via the Passerini Three Component Reaction and Olefin CrossMetathesis, *Macromol Rapid Commun*. 35 (2014) 317-322.
- [48] K.D. Rainsford, *Aspirin and the Salicylates*, Elsevier2013.
- [49] G. Weissmann, *Scientific American*, 264 (1991) 84-91.
- [50] M.R. Montinari, S. Minelli, R. De Caterina, *Vascular pharmacology*, 113 (2019) 1-8.
- [51] A. Gringauz, *Journal of Medicinal Chemistry*, 11 (1968) 611-612.
- [52] C. Patrono, *New England Journal of Medicine*, 330 (1994) 1287-1294.
- [53] G. Levy, *Pediatrics*, 6. (1978) 867-872.
- [54] S. Ferreira, S. Moncada, J. Vane, *British journal of pharmacology*, 49 (1973) 86.
- [55] Kasapoğlu N., Baykal A, Köseoğlu Y, Toprak M. Microwave-assisted combustion synthesis of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  with urea, and its magnetic characterization. *Scripta Materialia*. 2007; 57(5):p. 4-441.