

مقدمه ای بر نانوذرات مغناطیسی، روش های سنتز و کاربردهای آنها

اطهر مهدیه^۱، علیرضا مهدویان^۱، حسن فرهادنژاد^۲، حمید صالحی مبارکه^۳

۱- پژوهشکده علوم، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران، ایران

۲- دانشگاه علوم پزشکی دزفول، دزفول، ایران

۳- گروه فارماسیوتیکس و نانوتکنولوژی دارویی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

امروزه نانوذرات مغناطیسی توجه بسیاری از محققان را جلب کرده اند به علت کاربردهای بسیاری که در زمینه های مختلف مثل سیالات مغناطیسی، کاتالیست ها، تصفیه آب، تصاویر رزونانس مغناطیسی، ذخیره داده، بیوتکنولوژی، بیوپزشکی، سیستم های دارورسانی و غیره دارند. روشهای سنتز متنوعی برای سنتز نانوذرات مغناطیسی وجود دارد که در این مقاله به بررسی روشهای سنتز نانوذرات مغناطیسی و کاربرد آنها خواهیم پرداخت.

واژه های کلیدی: نانومواد، نانوذرات مغناطیسی، کاربردهای نانوذرات مغناطیسی

a.mahdieh90@gmail.com

۱- مقدمه

نانوتکنولوژی، فناوری ساخت و بررسی خواص مواد و وسایل، در مقیاس اتمی و مولکولی می باشد و علمی است که به بشر توانایی ساخت موادی را می دهد که با دقت اتمی مرتب و رشد داده شده اند. برای اولین بار پرفسور ریچارد فاینمن در سال ۱۹۵۹ در طی یک سخنرانی با بیان این مطلب که فضای بسیاری در دنیای پایین وجود دارد آینده علم نانو را بنیان نهاد. او بر این اعتقاد بود که می توان مواد را با چیدن آجرهای ساختمانی، در مقیاس اتمی و مولکولی باز سازی نمود و از آنها خواص و کاربردهای جدیدی استخراج کرد. امروزه با گذشت چندین دهه از زمانی که فاینمن رویای خود را بیان داشت، بشر توانسته در طراحی و ساخت مواد در ابعاد بسیار ریز و با خصلت های جدید و همچنین ایجاد وسایل در ابعاد نانومتری به موفقیت های بزرگی دست یابد. همچنین در زمینه فناوری و علم نانو مرزهای نسبتاً شفافی که در گذشته میان علوم مختلف از قبیل شیمی، بیولوژی مولکولی، علم مواد و فیزیک ماده چگال وجود داشت، درهم ریخته است به گونه ای که برای فهم خواص جدید ساختارهای ریز نانویی نیاز به همه این علوم می باشد. از جمله نانوذراتی که کاربردهای فراوان در زمینه های مختلف دارند، می توان به نانوذرات فلزی، لایه های گرافیتی، نانولوله های کربنی، نانوسیلیس و نانوذرات مغناطیسی اشاره کرد. نانوذرات به دلیل داشتن خواص منحصر به فردشان از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند. در واقع کوچکی بیش از حد و بالا بودن نسبت سطح به حجم در این ترکیبات باعث ایجاد تغییرات گسترده در خواص آنها می شود. یکی از خواصی که به مقدار بسیار زیادی به اندازه ذره وابسته است خاصیت مغناطیسی است.

امروزه مواد مغناطیسی کاربرد بسیار زیادی پیدا کرده اند. اما از آنجا که بیشتر در داخل تجهیزات مورد استفاده قرار می گیرند، وسعت کاربرد آنها به چشم نمی آید. هسته ترانسفورماتورها، بسیاری از قطعات و تجهیزات کامپیوترها نظیر دیسک های نرم،

سخت و فشرده، برخی قطعات اتومبیل نظیر استارت، حسگر پمپ های سوخت الکتریکی، تجهیزات پزشکی، رادیوها، نوارها، دوربین های عکاسی، بسیاری از تجهیزات موتوری و... همگی نیازمند مواد مغناطیسی هستند. با توجه به توسعه فناوری های تولید انواع آهنربا و همچنین ابداع ترکیبات جدید مواد مغناطیسی، آینده بسیار روشنی در انتظار صنعت آهنرباست و سرمایه گذاری قابل توجهی در این زمینه در سراسر جهان صورت می گیرد.

۲- مقدمه ای بر مغناطیس

از زمانی که پدیده مغناطیس شناخته شد و انسان از آن استفاده نمود، قرن ها می گذرد. اولین ماده مغناطیسی که مورد استفاده قرار گرفت مگنتیت بود که به طور طبیعی دارای خاصیت مغناطیسی است. در گذشته های دور، آهنربا از معادن غنی از مگنتیت در ناحیه مگنزی واقع در ترکیه امروزی بدست می آمد و به همین دلیل امروزه این مواد را مگنت می نامند.

ارسطو اولین بحث علمی راجع به مغناطیس را به تالس نسبت داد که در سال ۶۲۵-۵۴۵ قبل از میلاد می زیست [۱]. در همان زمان در هند جراح هندی بنام سوشروتا اولین کسی بود که از آهنربا برای اهداف جراحی استفاده می کرد.

نوشته های سقراط و تالس نشان می دهد که یونانیها ۶۰۰ سال پیش از میلاد مسیح، آهنربا را می شناختند و دریافته بودند که با مالش آهن بر روی مگنتیت، می توان خاصیت آهنربایی را به آن القا کرد. چندی بعد مشخص شد که اگر یک تکه سوزنی شکل آهنربا بر روی آب شناور شود و یا با نخ آویزان شود، جهت خاصی را نشان می دهد و این در واقع کشف قطب نما بود. چینی ها ۵۰۰ سال پیش از میلاد مسیح از قطب نما استفاده می کردند. در چین، اولین اشاره مطبوعاتی به مغناطیس در قرن چهارم قبل از

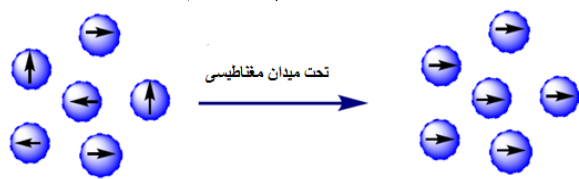
در سال ۱۹۰۵ انیشتین از این نظریه ها بهره گرفت و نظریه نسبیت خود را عنوان کرد. به عنوان نتیجه ای از تئوری نسبیت انیشتین، الکتریسیته و مغناطیس بهم پیوسته اند و الکتریسیته بدون مغناطیس یا مغناطیس بدون الکتریسیته با نظریه نسبیت ناسازگارند و تئوری الکترومغناطیس با نظریه نسبیت کاملاً سازگار است.

۳- مقدمه ای بر نانوذرات مغناطیسی

طی سالهای اخیر تحقیقات زیادی بر روی روشهای تولید نانوذرات مغناطیسی متمرکز شده است و همچنین دامنه ی استفاده از این نانوذرات مرتباً رو به گسترش است. براساس نوع کاربرد این مواد، دانه بندی، درصد فاز و شکل ذرات نیز اهمیت دارند که این موارد نیز خود به روش تولید مورد استفاده بستگی خواهند داشت. در نتیجه مانند تولید سایر مواد جامد بویژه در مقیاس نانو باید به فرایندهای تولید نانو ذرات مغناطیسی- نیز توجه خاص مبذول داشت و با توجه به نوع کاربرد و مشخصات مورد انتظار، فرایند مورد نظر را انتخاب کرد. نانوذرات مغناطیسی توسط روشهای گوناگونی تولید می شوند که در اینجا به بررسی اجمالی مهمترین روشهای آن پرداخته می شود.

نانوذرات مغناطیسی کاربردهای زیادی در زمینه های مختلف دارند که کاربرد موفقیت آمیز آنها وابسته به پایداری نانوذرات در محدوده ای از شرایط مختلف است. نانوذرات هنگامی بهترین عملکرد را دارند که اندازه آنها کمتر از حد بحرانی باشد که بصورت تک حوزه های مغناطیسی درآمده و دارای خاصیت سوپرپارامغناطیسی می شوند [۳].

رفتار سوپرپارامغناطیس مواد دارای ویژگی هایی است، مثل ممان مغناطیسی ثابت بزرگ که مشابه یک اتم پارامغناطیس غول پیکر عمل می کند، پاسخ سریع به میدان مغناطیسی اعمال شده، مغناطیس باقی مانده و نیروی ضد پسماند ناچیز.



شکل ۱. نانوذرات مغناطیسی در فقدان و حضور میدان مغناطیسی

نانوذرات مغناطیسی انواع مختلفی دارند که شامل موارد زیر هستند:

-اکسید آهن (γ - Fe_2O_3 , Fe_3O_4) [۴]

-فلزات خالص (Fe , Co) [۴]

-فرومغناطیس های از نوع اسپینل (MgFe_2O_4 , MnFe_2O_4) [۵]

CoFe_2O_4 [۵]

-آلیاژها (CoPt_3 , FePt) [۶]

۳-۱ ویژگی های اساسی نانوذرات مغناطیسی

نانوذرات مغناطیسی باید دارای ویژگی های زیر باشند:

-پایداری شیمیایی و کلوییدی در شرایط و محیط های مختلف

میلاد بود که در کتابی تحت عنوان The master of demon valley اینگونه ذکر شد که آهنربا، آهن را جذب می کند. سالها بعد پرگنیز در قرن ۱۳ میلادی کشف کرد که آهنربا دارای دو قطب می باشد که قدرت آهنربایی در این دو نقطه از سایر جاهای آن بیشتر است. این کشف، مسأله جذب یا دفع دو آهنربا، با توجه به جهت گیری نسبی آنها را توجیه می کرد. در اواسط قرن هیجدهم، کولمب موفق به اندازه گیری نیروی بین دو آهنربا شد و چند سال بعد اولین آهنربای ساخت انسان از جنس فولاد تهیه گردید.

دانش بشر درباره ی آهن تا مدت ها به همین حدود محدود بود و تا سال ۱۸۲۰ رابطه ی بین مغناطیس و الکتریسیته را نمی شناختند. در این سال دانشمند دانمارکی به نام هانس کریستین اورستد مشاهده کرد که قطب نما در نزدیکی سیم حامل جریان الکتریکی، درست مانند حالتی که در نزدیکی يك آهنربا قرار می گیرد، منحرف می شود و به این ترتیب ارتباط مستقیم بین الکتریسیته و مغناطیس کشف شد و تفسیر برخی پدیده های مغناطیسی امکان پذیر گردید. دوازده سال بعد، مایکل فارادی فیزیک دان انگلیسی مشاهده کرد که وقتی در مدار جریانی قطع یا وصل شود، در مدار دیگر که در مجاورت مدار اول است جریانی به وجود می آید، کمی بعد معلوم شد که دور و نزدیک شدن آهنربا به یک سیم پیچ، در آن جریان ایجاد می کند.

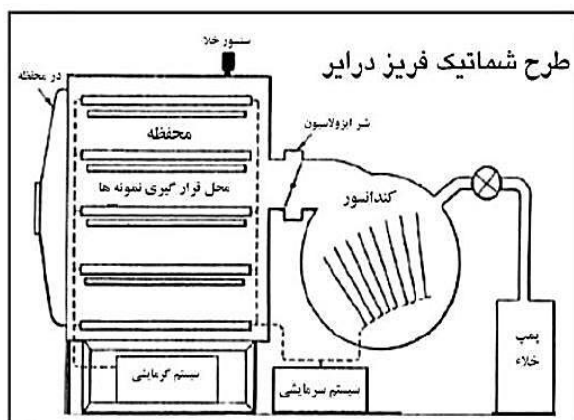
ژوزف هانری دانشمند آمریکایی در حدود ۱۲ ماه پس از فارادی به همان نتایج او رسید، ولی فارادی نتایج کار خود را زودتر منتشر کرد و افتخار این کشف به نام او ثبت شد. اورستد نشان داد که آثار مغناطیس می تواند در اثر حرکت بار الکتریکی ایجاد شود و فارادی و هانری نشان دادند که جریان با حرکت آهنربا تولید می شود. امروزه همه قبول دارند که کلیه ی پدیده های مغناطیسی، در اثر نیروی های موجود بین بارهای متحرک الکتریکی به وجود می آید، یعنی بار متحرک نسبت به یک ناظر، یک میدان آهنربایی نیز به وجود می آورد. این میدان مغناطیسی فقط می تواند بر بارهایی که نسبت به ناظر مذکور متحرک اند نیرو وارد آورد. از آنجا که الکترون ها حرکت انتقالی به دور هسته و حرکت وضعی به دور خود دارند می توان منتظر بود که کلیه اتم ها خاصیت مغناطیسی داشته باشند و چنین نیز هست. این نظر را که ممکن است خواص مغناطیسی اجسام مربوط به حرکت جریان در داخل اتم ها باشد اولین بار آمپر در سال ۱۸۲۰ پیشنهاد کرد، اما صحت این نظر فقط در همین دو دهه ی اخیر مورد تأیید قرار گرفت.

آمپر در سال ۱۸۲۰ کشف کرد که میدان مغناطیسی ایجاد شده در یک مسیر بسته با جریان عبوری از مسیر رابطه دارد. گاوس، بایوت و ساواری بطور مشترک معادله ای برای میدان مغناطیسی که در اطراف سیم حامل جریان بوجود می آید ارائه دادند. مایکل فارادی در سال ۱۸۳۱ نشان داد که شار مغناطیسی متغیر با زمان در حال عبور از یک حلقه سیم، ولتاژی را القا می کند. ماکسول این نظریه ها را گسترش داد و معادلات ماکسول را بیان کرد و الکتریسیته و مغناطیس را متحد کرد و زمینه الکترومغناطیس را پدید آورد [۲].

سورفاکتانت فقط جلوگیری از کلوخه شدن ذرات نیست، بلکه فرایند آسیاب شدن ذرات را هم افزایش می دهد. چون ذرات بدست آمده دارای توزیع اندازه پهن هستند، این روش مقرون به صرفه نیست هم چنین زمان بر است، در نتیجه این روش کمتر از روش شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد.

• روش خشک کردن انجمادی

روش خشک کردن انجمادی روشی برای تهیه ی نانوذرات پودری است که از این روش می توان برای تولید ترکیبات مختلف مانند اکسیدهای فلزی و غیر فلزی، کاتالیستها و دیگر ترکیبات متخلخل، مواد مغناطیسی- و نانو ذرات طلا استفاده نمود. این روش از اهمیت تکنولوژیکی بسیار زیادی در تولید نانو ذرات آهنی برخوردار است زیرا دسترسی به تجهیزات مورد استفاده آسان و ارزان بوده و عیوب ذاتی و لاینفک موجود در روشهای شیمیایی سنتز پودر در آن وجود ندارد. به علاوه ذرات تولید شده به وسیله ی این روش دارای قابلیت بازیابی دوباره، همگنی و خلوص بالا و اندازه ی کوچکتر نسبت به سایر روشها می باشند. اساس روش خشک کردن انجمادی مشتمل بر دو مورد زیر است: الف) مخلوط شدن کلیه نمکها در یک محلول، تبدیل آن به قطرات ریز و انجماد سریع آن؛ ب) خشک نمودن محصول با استفاده از پدیده تصعید. در شکل ۲ نمونه ای شماتیک از یک نوع دستگاه خشک کن انجمادی نشان داده شده است.



شکل ۲. طرحی از یک نمونه دستگاه خشک کن انجمادی

۴-۲- روش رسوبی شیمیایی

این روش متداول ترین روش برای تهیه ذرات مغناطیسی در ابعاد نانو است. روش کارهای مختلفی برای رسیدن به این هدف معرفی شده اند. به عنوان مثال، khalafalla و همکارانش، نانوذرات مغناطیسی را به روش هم رسوبی شیمیایی تهیه کردند که تصویر TEM نانوذرات در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۰].

بطور کلی همه این روش کارها با اختلاط محلولی از FeCl_3 و FeCl_2 در آب آغاز می شود و سپس هم رسوبی بوسیله افزودن باز (آمونیاک یا سدیم هیدروکسید) انجام می شود. بعد از هم رسوبی، سیستم در معرض روشهای خالص سازی مختلف مثل جداسازی مغناطیسی، فیلتراسیون و شستشو قرار می گیرد. واکنش هم رسوبی مطابق معادله ۱ است:

- اندازه کوچک ذرات، سطح مقطع بزرگی برای جذب یا برهمکنش با بیومولکولها فراهم می کند و سرعت ته نشینی در مقایسه با فرایندهای جداسازی مغناطیسی کمتر است.

-قابلیت جداسازی سریع و کامل
-تولید آسان و کم هزینه

-پاسخ خوب به میدان مغناطیسی اعمال شده، چون با یک پاسخ بهتر، شدت مورد نیاز برای میدان مغناطیسی اعمال شده می تواند کمتر باشد و منجر به سرعت فرایند بهتر می شود.

-مغناطیس باقی مانده کم باشد یا صفر باشد چون روی قابلیت دیسپرس شدن ذرات بعد از برداشتن میدان مغناطیسی خارجی اثر می گذارد. وقتی که هیچ مغناطیس باقی مانده ای وجود نداشته باشد، با قطع میدان خارجی، هیچ برهمکنش مغناطیسی بین ذرات وجود ندارد و دیسپرس بهتری دارند.

-دارای سطح زیست سازگار

برای اینکه ذرات مغناطیسی زیست سازگار باشند، ذرات باید با یک پلیمر زیست سازگار پوشش دهی شوند تا از کلوخه شدن آنها، تغییر شکل هندسی و تجزیه بیولوژیکی آنها جلوگیری شود.

دو نقطه کلیدی که خواص نانوذرات مغناطیسی را تعیین می کند: اثر سطح و اثر محدودیت اندازه

اثر سطح: همانگونه که اندازه ذرات کاهش می یابد، سطح ذرات بیشتر شده و اثر سطح مشترک اهمیت می یابد.

اثر محدودیت اندازه: وقتی اندازه نانوذرات کاهش می یابد به حدی می رسد که به صورت تک حوزه مغناطیسی در می آید و دارای خاصیت سوپراپارامغناطیسی میشود. یک ذره تک حوزه بطور یکنواخت مغناطیده میشود و تمام اسپین ها در یک جهت منظم میشوند.

اندازه ذرات تک حوزه مغناطیسی برای ذرات کروی مختلف در جدول ۱ آورده شده است [۷].

جدول ۱: اندازه ذرات تک حوزه مغناطیسی برای ذرات کروی مختلف

نوع ذرات	قطر ذرات (نانومتر)
hcp Co	۱۵
fcc Co	۷
Fe	۱۵
Ni	۵۵
SmCo ₅	۷۵۰
Fe ₃ O ₄	۱۲۸

۴- روش های سنتز نانوذرات مغناطیسی

دو روش اصلی برای تهیه نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن وجود دارد:

روش فیزیکی و روش شیمیایی

۴-۱- روش فیزیکی

• روش کاهش اندازه مکانیکی

ایده ی این روش بوسیله Papell پیشنهاد شد [۸] و بوسیله دیگران بویژه Rosenweing بهبود یافت [۹].

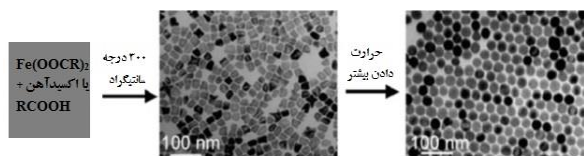
در این روش اکسید آهن با یک حلال آبی در حضور مقدار زیادی (۱۰-۲۰ درصد وزنی) سورفاکتانت مثل اولئیک اسید مخلوط می شود و وارد دستگاه آسیاب می شود تا آسیاب شود. نقش

هیدروترمال مخلوطی از اکسید یا هیدروکسیدهای آهن بدست آیند.

در این روش معمولاً اکسید یا هیدروکسید آهن تحت دمای بالا (بالای ۲۰۰ درجه سانتیگراد) و فشار (بیشتر از ۲۰۰۰ psi) بدست می آیند که این شرایط به عنوان شرایط فوق بحرانی برای آب شناخته شده است. اندازه، توزیع اندازه و مورفولوژی ذرات وابسته به حضور و غلظت سورفاکتانت، دما، غلظت باقی مانده، pH سیستم واکنش و غلظت مواد اولیه است [۱۲].

به عنوان مثال، Peng و همکارانش با استفاده از روش تجزیه حرارتی، نانوذرات مغناطیسی را با کنترل اندازه و شکل آنها بدست آوردند که در شکل ۴ نشان داده شده است [۱۳].

آب به عنوان یک واکنشگر هیدرولیتیک عمل می کند. فرایندهای شیمیایی اصلی شامل هیدرولیز، اکسیداسیون و خنثی سازی هیدروکسیدهای فلزی مخلوط شده هستند. مقدار و اندازه ذرات مغناطیسی با افزایش زمان واکنش و افزایش میزان آب در محیط واکنش، افزایش می یابد.



شکل ۴. تصویر TEM نانوذرات مغناطیسی تهیه شده بوسیله روش تجزیه حرارتی [۱۳]

• روش پلی ال

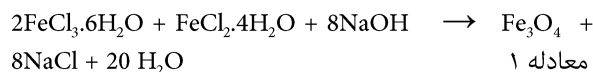
در این روش، ذرات مغناطیسی در پلی ال (اتیلن گلیکول، دی اتیلن گلیکول، پروپیلن گلیکول و...) به عنوان حلال سنتز می شوند. مواد معدنی در پلی ال نامحلول اند و واکنش می توانند در گستره وسیعی از دما انجام گیرد که وابسته به نقطه جوش پلی ال است.

پلی ال نقش چندگانه دارد: به عنوان حلال، پایدار کننده، لیگاند و عامل کاهنده [۱۴]. در یک واکنش معمول، نمک های فلزی یا هیدروکسیدهای فلزی در پلی ال دیسپرس شده و دما افزایش می یابد. در طی واکنش، مواد اولیه تشکیل یک حدواسط را می دهند که کاهش می یابد تا یک هسته فلزی تشکیل دهد که سپس ذرات فلزی تشکیل می شود.

• روش آیروسل

طی این روش، سنتز ذرات مغناطیسی طبق واکنش شیمیایی انجام می شود که در قطرات واکنشگر محصور شده ای رخ می دهد که در گاز بی اثری دیسپرس شده است. آیروسل با بخار کمک واکنشگرها برخورد می کند و تبدیل به ذرات جامد می شود که سرعت بالا، امتیاز اصلی این روش شیمیایی پیوسته است. [۱۵].

دو مسیر در تکنیک آیروسل وجود دارد: پیرولیز اسپری که نمک آهن بوسیله ترکیبات آلی کاهش می یابد و پیرولیز لیزر که آهن پنتا کربونیل در حضور یک اکسیدانت تجزیه می شود تا نانوذرات مغناطیسی را تشکیل دهد.

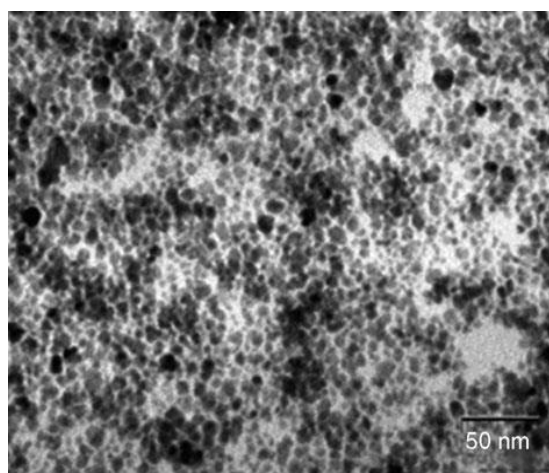


معادله ۱

این روش تحت تاثیر پارامترهای مختلفی است مثل نوع و غلظت نمک ها، نسبت مولی بین نمک ها، دما، pH و نوع باز استفاده شده که اثر زیادی روی اندازه، بازده و خواص مغناطیسی نانوذرات اکسید آهن تشکیل شده دارند.

سیال مغناطیسی سنتز شده بوسیله هم رسوبی شیمیایی ممکن است سیال مغناطیسی پایدار شده با سورفاکتانت یا سیال مغناطیسی یونی باشد.

فروفلوئید سورفاکتانت ها، نانوذرات اکسید آهن هستند که بوسیله پایدارکننده یا سورفاکتانت پوشش دهی می شوند تا پایدار بمانند. عوامل پوشش دهی، پلیمر و سورفاکتانت ها هستند که قطبی، غیرقطبی یا یونی اند. مشتقات اسیدچرب بطور معمول استفاده می شود تا اکسید آهن موجود در محلول آبی یا آلی را پایدار کند. اگر ذرات در یک محیط آبی دیسپرس شوند، یک لایه دوگانه از سورفاکتانت لازم است تا یک لایه آبدوست تشکیل دهد. به عبارتی اگر ذرات در محیط غیرقطبی آلی دیسپرس شوند یک لایه سورفاکتانت، یک لایه آبگریز بر روی سطح ذرات تشکیل می دهد. پیوند سورفاکتانت ها به سطح ذرات از طریق برهمکنش الکترواستاتیک یا تشکیل کمپلکس با یونهای فلزی انجام می گیرد که مولکولهای سورفاکتانت باید دارای گروه کمپلکس کننده باشند. سیالات مغناطیسی همچنین بوسیله ترکیبات مختلفی با وزن مولکولی کم پایدار می شوند مثل اسیدهای چرب، ساکاریدها و پلیمرهای پلی وینیل الکل (PVA)، پلی اتیلن گلیکول (PEG)، دکستران، پلی اکریل آمید (PAA)، پلی متاکریلیک اسید (PMA) و... که از بین این ترکیبات، PEG به علت خاصیت زیست سازگاری اش برای کاربردهای پزشکی بسیار مناسب است [۱۱].



شکل ۳. تصویر TEM نانوذرات مغناطیسی تهیه شده بوسیله روش هم رسوبی [۱۰]

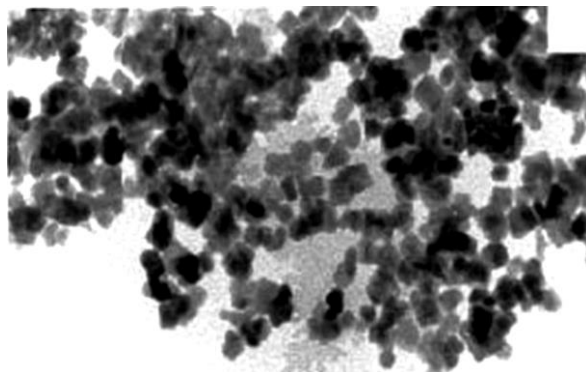
• روش تجزیه حرارتی

نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن می توانند بوسیله تجزیه حرارتی ترکیبات آلی فلزی مثل آهن پنتا کربونیل و یا بوسیله واکنش

● روش میکرومولسیون

برای کنترل اندازه و توزیع اندازه ذرات، سنتز نانوذرات مغناطیسی در میکرومولسیون آب در روغن (W/O) گزارش شده است. حضور مولکولهای سورفاکتانت باعث تشکیل اندازه های متفاوتی از مایسل ها (۱۰-۲۰ نانومتر) می شود. مولکولهای سورفاکتانت با انتهای قطبی در داخل فاز آبی و انتهای غیرقطبی داخل فاز روغنی قرار می گیرند. قطرات تشکیل شده شامل محلول آبی از نمک های آهن هستند. غلظت و نوع سورفاکتانت ها و یونهای فلزی، pH، عوامل کاهنده و سورفاکتانت ها می توانند بر روی رشد ذرات اثر بگذارند و بطور متعاقب بر روی اندازه ذرات تاثیرگذار باشند [۱۶].

به عنوان مثال، Feltin و همکارانش از روش میکرومولسیون استفاده کردند و نانوذرات مغناطیسی را تهیه کردند که در شکل ۵ تصویر TEM آنها نشان داده شده است [۱۷].



شکل ۵. تصویر TEM نانوذرات مغناطیسی تهیه شده بوسیله روش میکرومولسیون

۶- اصلاح سطح نانوذرات مغناطیسی

نانوذرات مغناطیسی می توانند با مواد معدنی مثل سیلیکا، طلا، گادولینیم و... پوشش دهی شوند. این پوشش ها علاوه بر پایدار کردن نانوذرات در محلول، همچنین باعث پیوند لیگاندهای مختلف به سطح نانوذرات می شوند. این نانوذرات دارای هسته ی اکسید آهن و پوسته ی مواد معدنی اند. پایداری نانوذرات مغناطیسی از لیگاندهای آلی نیز استفاده میشود که علاوه بر پایداری، بر روی خواص مغناطیسی نانوذرات هم اثر دارد که این لیگاندها، آنیزوتروپی و ممان مغناطیسی آنها را فلزی قرار گرفته بر روی سطح ذرات را اصلاح می کنند.

۶-۱- اصلاح سطح نانوذرات مغناطیسی با سیلیکا

سیلیکا بعنوان یک ماده اصلاح کننده برای نانوذرات مغناطیسی بطور وسیعی گسترش یافته است [۱۸].

اصلاح سطح نانوذرات مغناطیسی، از کلوخه شدن آنها جلوگیری می کند و باعث پایداری شیمیایی بهتر می شود و از آنها در برابر سمیت محافظت می کند.

اصلاح سطح نانوذرات مغناطیسی باعث پایداری آنها می شود که به علت جلوگیری از برهمکنش دوقطبی های مغناطیسی است که بوسیله پوسته سیلیکا انجام می شود. به عبارتی نانوذرات سیلیکا

دارای بار منفی اند، بنابراین پوشش دهی با سیلیکا باعث افزایش دفعه کولمبی نانوذرات مغناطیسی می شود.

۶-۲- روش های اصلاح با سیلیکا

سه روش مختلف برای اصلاح نانوذرات مغناطیسی با سیلیکا وجود دارد:

روش اول، فرایند استابر شناخته می شود که سیلیکا بصورت درجا از طریق هیدرولیز و تراکم یک ماده اولیه مثل تترا اتیل ارتو سیلیکات (TEOS) تولید می شود [۱۹].

روش دوم مبتنی بر رسوب سیلیکا از محلول سیلیلیک اسید است [۲۰]. مطالعات مختلف نشان می دهد که این روش موثرتر است و کارایی بیشتری دارد و باعث پوشش دهی بیشتر سطح نانوذرات مگنتیت نسبت به روش قبلی می شود. انجام این روش خیلی آسان است و اندازه ذرات می تواند بوسیله تغییر در نسبت سیلان به مگنتیت یا با تکرار روش اصلاح، از ده ها تا صدها نانومتر تغییر کند.

روش سوم یک روش امولسیون است که مایسل های معکوس استفاده می شوند تا پوشش دهی سیلیکا را کامل کنند. این روش ممکن است نیاز به تلاش زیادی داشته باشد تا نانوذرات هسته - پوسته را از سورفاکتانت هایی که در سیستم امولسیون استفاده شده جدا کند [۲۱].

یکی از مزایای داشتن یک سطح غنی از سیلیکا، حضور گروه های سیلانل بر روی سطح است که به آسانی می توانند با عوامل کوپل کننده مختلف واکنش دهند که بطور کوالانسی لیگاندهای مخصوص را به نانوذرات مغناطیسی متصل کنند. برای مثال گروه های آمین بوسیله هیدرولیز و تراکم یک ارگانوسیلان مثل آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان (APTES) بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی قرارداده می شوند که این یک روش شناخته شده ی سیلان کردن است [۲۲].

۷- نانوکامپوزیت های هیبریدی پلیمر-معدنی

یکی از کاربردهای مهم نانوذرات که با دستیابی به فناوری نانو میسر شده است تهیه نانوذرات کامپوزیتی آلی-معدنی است، زیرا این هیبریدها هم خواص ترکیبات آلی و هم خواص نانوذرات معدنی را در بر می گیرند [۲۳]. مواد پلیمری آلی با خواص دی الکتریک، الاستیسیته، شفافیت، چقرمگی و انعطاف پذیری خوب به همراه سهولت فرایند پذیری، قابلیت بهبود تردی و شکنندگی مواد معدنی را دارا هستند. از طرف دیگر، مواد معدنی با داشتن خواصی از قبیل جذب ویژه ی نور، اثرات مقاومت مغناطیسی، فعالیت شیمیایی و کاتالیزیتی می توانند استحکام پلیمرها را افزایش می دهند. کامپوزیت های آلی-معدنی مزایای هر دو سیستم پلیمری و معدنی را با هم ادغام می کنند. در سالیهای اخیر نانومواد هیبریدی پلیمر-معدنی به خاطر کاربردهای بالقوه فراوان شان در زمینه های مختلف علم مواد، شامل رنگ ها، میدان های مغناطیسی، روکش های کاغذی کیفیت بالا، کاربرد در کاتالیزورها، میکروالکترونیک ها و بیوتکنولوژی توجه فراوانی به خود جلب کرده اند.

ذرات کلئیدی با خواص مغناطیسی هم از لحاظ مطالعات بنیادی و هم از لحاظ صنعتی، به واسطه ی برهم‌کنش آیزوتروپی قابل تغییرشان بسیار مهم هستند. برای مثال، ذرات مغناطیسی-نانوکامپوزیت با ساختار هسته-پوسته هم خواص ذرات مغناطیسی به تنهایی و هم خواص دیسپرسیون‌های غیر مغناطیسی-را در هم ادغام می‌کنند. در غیاب میدان مغناطیسی، دیسپرسیونی از ذرات شامل کره‌های ایزوتروپ هستند در حالی که در حضور میدان مغناطیسی-خارجی، این ذرات ساختارهای آیزوتروپی تشکیل می‌دهند. مزیت اصلی نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی نسبت به نانو کامپوزیت‌های متداول این است که آنها می‌توانند با استخراج مغناطیسی به سرعت از مخلوط‌ها جدا شوند. از جمله خواص نانوکامپوزیت‌ها و لاتکس‌های مغناطیسی-می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: خاصیت سوپراپارامغناطیس، برگشت ناپذیری بالای میدان، مغناطیس اشباع بالا، آیزوتروپی بالا، تغییر شکل بر پایه خاصیت مغناطیس، اثر ضربه‌گیری و انتقال حرارت، خواص ممان مغناطیسی، شناوری در میدان مغناطیسی-و رفراکسیون مضاعف نور پلاریزه در میدان مغناطیسی.

اکسید فلزات تنوعی از خواص مغناطیسی، الکتریکی و نوری را نشان می‌دهد. با افزودن ماده معدنی به پلیمر، خواصی مثل رطوبت پذیری، حلالیت، مقاومت در برابر خوردگی، مدول، نفوذپذیری گاز، مقاومت در برابر گرما و اشتعال پذیری و ... نیز تغییر می‌کنند.

از بین ذرات مغناطیسی، اکسید آهن شامل مگنتیت (Fe_3O_4) یا حالت اکسید شده آن، مگامیت (Fe_2O_3) بیشتر در کارهای پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند به علت خاصیت سوپراپارامغناطیسی و زیست سازگاری. مواد مغناطیسی دیگر مثل اکسید نیکل و کبالت هم وجود دارد اما اینها معمولاً سمی اند و در معرض اکسایش می‌باشند.

کپسوله کردن و اصلاح سطح نانوذرات مغناطیسی به وسیله پلیمر، ذرات را از اکسیداسیون محافظت می‌کند و سمیت، میزان دیسپرس شدن و پایداری کلئیدی آنها را بهبود می‌بخشد. در کارهای پزشکی، نقش پلیمرها در تهیه کامپوزیت‌ها و لاتکس‌های مغناطیسی، عموماً "محافظت از بخش معدنی است و هم چنین دارای گروه‌های عاملی واکنش پذیر است که با بیومولکول‌ها واکنش می‌دهد. واکنش بین پلیمر مغناطیسی و گونه بیولوژیکی ممکن است بوسیله تشکیل پیوند کوالانسی یا پیوند هیدروژنی باشد.

۸-۱-روش‌های سنتز نانوکامپوزیت‌های مغناطیسی

با وجود مطالب گفته شده، دیسپرس کردن نانوذرات معدنی در ماتریس پلیمری با روش‌های متداول اختلاط آن هم در مقیاس نانو بسیار دشوار است. زیرا نانوذرات انرژی سطحی بسیار بالایی دارند و در طول اختلاط کلوخه می‌شوند [۲۴]. روش‌هایی که برای حل این مسئله بکار گرفته می‌شوند، عبارتند از:

• روش تبخیر حلال

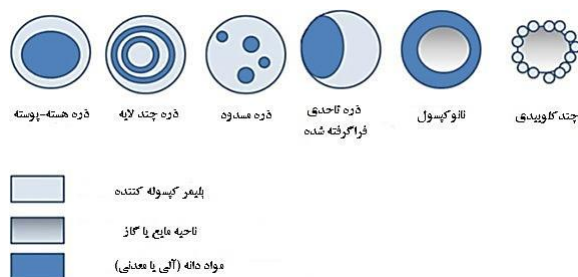
این روش یکی از روش‌های آسان برای سنتز پلیمرهای مغناطیسی است. جزء مغناطیسی در یک فاز آلی (یک حلال مناسب) شامل

ساخت چنین نانو ذرات کامپوزیتی آلی - معدنی، باعث بهبود پایداری ماده معدنی قرار گرفته در داخل پلیمر، بهبود قابلیت دیسپرس شدن آن در محیط آبی، کاهش سمیت و آسان‌تر شدن ذخیره‌سازی و انتقال می‌شود. در واقع، پلیمر یک محیط حامل برای مواد معدنی در مقیاس نانو ایجاد می‌کند و قابلیت دیسپرس شدن و پایداری فاز معدنی را بهبود می‌بخشد.

نانو ذرات معدنی متداول که در این زمینه بکار برده می‌شوند، شامل $CaCO_3$ ، ZnO ، TiO_2 ، SiO_2 ، Fe_3O_4 هستند. برای ساخت چنین نانوکامپوزیت‌های آلی-معدنی، راه‌های فراوانی وجود دارد و ساده‌ترین راه آن، مخلوط کردن اجزاء آلی و معدنی می‌باشد؛ اما به منظور دستیابی به یک دیسپرس شدن مناسب از ماده معدنی و همچنین برای افزایش چسبندگی سطح مشترک بین پلیمر و ماده معدنی، تکنیک‌هایی برای سنتز کردن نانوکامپوزیت‌های کلئیدی مزبور وجود دارد که در بخش‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

۷-۱-مورفولوژی‌های مختلف نانوکامپوزیت‌های هیبریدی

در طول تهیه نانوکامپوزیت‌های هیبریدی ممکن است مورفولوژی‌های مختلفی را نشان دهد که ساختارهای تشکیل شده طبق شکل ۶ است:



شکل ۶. مورفولوژی‌های مختلف نانوکامپوزیت‌های هیبریدی

در کپسوله کردن یک ذره معدنی، نتیجه مورد انتظار بصورت هسته-پوسته است که در برخی موارد بیشتر از یک هسته کپسوله می‌شود که ذره مسدود نامیده می‌شود. ترکیبی از چند مونومر برای تهیه یک فاز پلیمری و یک فاز معدنی ممکن است باعث تولید ذرات چند لایه شوند. وابسته به کشش سطحی بین ذرات و پلیمر و هردو ماده با فاز آبی، ممکن است ذرات درهم فرو روند که به آن ذره فراگرفته شده گویند. کپسوله کردن یک مایع یا ایجاد یک حفره داخل یک ذره منجر به تولید نانوکپسول می‌شود. اگر ذره شامل یک هسته جامد باشد که تصور بر این باشد که بعداً آزاد می‌شود آن را نانوکپسول می‌نامند. نشان دادن ذرات بر روی یک قطره یا حفره منجر به تولید چندکلئیدی می‌شود [۲۴].

۸-نانوکامپوزیت‌های بر پایه نانوذرات مغناطیسی

نانوکامپوزیت‌های هیبریدی مغناطیسی شامل نانوذرات مغناطیسی کپسوله شده با پلیمر است که این نانوذرات مغناطیسی که بطور همگن در یک پلیمر آگریز کپسول شده‌اند بسیار مورد توجه هستند زیرا اجزای محلول در آب را از ذرات مغناطیسی جدا نگه می‌دارند تا با یکدیگر در تماس نباشند [۲۵].

۹- کاربردهای نانوذرات مغناطیسی

گستره وسیعی از کاربردهای نانو ذرات مغناطیسی پوشش داده شده با پلیمر در بخش های مختلف صنعت وجود دارد. نانوذرات مغناطیسی کاربردهای زیادی در تهیه ی رنگ، جوهر، فرمولاسیون لوازم آرایشی و حامل کاتالیست ها دارند. هم چنین در صنعت کاغذسازی، جداسازی کروماتوگرافی، تصفیه آب و جداسازی آلاینده ها مورد استفاده قرار می گیرد [۲۶].

نانوذرات مغناطیسی گسترش زیادی در صنایع داروسازی، بیولوژیکی و پزشکی به منظور انتقال ترکیبات بیولوژیکی یافته اند. بیومولکولها بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی قرار می گیرند و می توانند از محیط کمپلکس به سرعت جدا شوند. نانوذرات مغناطیسی علاوه بر کاربردهای In-vitro می توانند برای کاربردهای In-vivo هم مورد استفاده قرار گیرند.

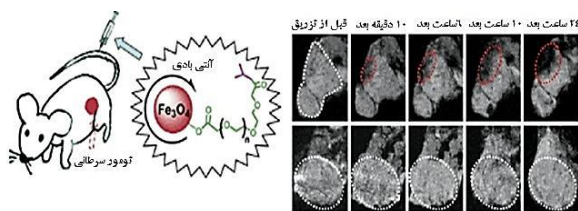
۹-۱- کاربردهای In-vivo نانوذرات مغناطیسی

نانوذرات مغناطیسی می توانند در فرایندهای درمانی مورد استفاده قرار گیرند.

• کاربرد در تصاویر رزونانس مغناطیسی (MRI)

شدت پروتون های بافت بدن انسان بوسیله میدان مغناطیسی مخصوص با استفاده از تکنیک MRI اندازه گیری می شود. به طور معمول، تفاوت بین شدت سیگنال پروتون بین بافت سالم و بافت آسیب دیده، برای تشخیص و ارزیابی کافی نیست. ذرات مغناطیسی به عنوان عامل کنتراست عمل کرده و نقش محوری در تقویت شدت سیگنال تفاوت بین بافت سالم و بیمار در MRI دارند [۲۷].

در پزشکی، MRI استفاده می شود تا آسیب شناسی یا تغییرات فیزیولوژیکی بافت های زنده را نشان دهند. وقتی که MRI تحت میدان مغناطیسی قرار می گیرد، ذرات مغناطیسی قرار گرفته در تومور می توانند شناسایی شوند. برای مثال، Hu و همکارانش نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 را با PEG پوشش داده و سپس به آنتی بادی تومور سرطانی متصل کردند و پس از تزریق به موش آزمایشگاهی، با استفاده از تصاویر MRI اثر آن را بررسی کردند [۲۸].



شکل ۷. کاربرد نانوذرات مغناطیسی در تصاویر MRI

• دارو رسانی کنترل شده

روش عموم برای دارو رسانی، تزریق وریدی یا مصرف خوراکی دارو است که با یک سری از مشکلات همراه است. ممکن است دارو بطور اختصاصی به نقطه هدف نرسد یا نیاز به مقدار زیادی از دارو باشد تا نتیجه مطلوب کسب شود که اثرات جانبی دربردارد. روشهای مختلفی برای حل این مشکل در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال، استفاده از نانوذرات مغناطیسی به عنوان حامل دارو باعث کاهش اثرات جانبی و کنترل توزیع دارو به هدف موردنظر می شود [۲۹].

پلیمر دیسپرس می شود و سپس در محلول پایداری از سورفاکتانت های پلیمری امولسیفای می شود تا امولسیون آب در روغن (W/O) را بدست دهد. فرایند تبخیر بوسیله همزدن شدید امولسیون در دمای اتاق رخ می دهد. ذرات تهیه شده معمولاً پلی دیسپرس بوده و اندازه بزرگی دارند.

• روش سل-ژل

این روش همراه با تبدیل محلول همگنی از اکسید یا آلکوکسید فلزی به یک جامد سه بعدی کراس لینک شده است. در دمای اتاق، مواد اولیه دستخوش هیدرولیز چند مرحله ای می شوند و واکنش های پلیمریزاسیون انجام می شود تا دیسپرس کلوییدی را تشکیل دهد و ذرات به فاز ژل تبدیل شوند.

از مزایای این روش، خواص bulk کنترل شده و تهیه مواد شفاف نوری است. اما در کنترل ترکیب مخلوط سل-ژل مشکلاتی وجود دارد زیرا نتیجه وابسته به بسیاری از فاکتورها مثل pH، دما، ماهیت حلال، نسبت آب و مواد اولیه و غلظت آنهاست.

• روش لایه به لایه

برهمکنش الکترواستاتیک خودبخودی بین زنجیرهای پلیمری با بار مثبت صورت می گیرد تا لاتکس مغناطیسی را بوسیله فرایند لایه به لایه (LBL) تولید کند. این روش می تواند لاتکس مغناطیسی با شکل ها و اندازه های مختلف را تولید کند و بدون استفاده از تجهیزات با هزینه بالا، می توان یکنواختی و ضخامت لایه را کنترل کرد. هم چنین می توان گروه های عاملی مختلف را بر روی سطح ذرات قرار داد تا لاتکس مغناطیسی چند عاملی تولید کرد.

• روش درجا

در این روش، پیش ماده های نانوذرات به درون نانوراکتورها وارد می شوند که شامل مایسل های تشکیل شده از پلیمرهای دسته ای یا پیوندی دوگانه دوست هستند و از طریق واکنش های شیمیایی اختصاصی مانند کاهش، نانوذرات بصورت درجا سنتز می شوند. الحاق اکسید آهن بوسیله فرایند هم رسوبی صورت می گیرد که ذرات پلیمری مغناطیسی می توانند بوسیله رسوب نمک های آهن داخل ماتریس پلیمری فراهم شوند.

• روش پلیمریزاسیون کپسول دار کردن

در این روش، تحت شرایط مناسب، پلیمریزاسیون مونومر روی سطح نانوذرات رخ می دهد و ذراتی حاوی کپسولی از یک لایه پلیمر تشکیل می شوند که تهیه ذرات کامپوزیتی با کپسول دار کردن ذرات معدنی توسط پلیمرها از طریق پلیمریزاسیون در حضور ماده معدنی، روش موثر برای جلوگیری از کلوخه شدن آنها و بهبود خواص مکانیکی آنهاست.

در میان روش های بالا، روش پلیمریزاسیون کپسول دار کردن، جذاب ترین استراتژی برای تهیه نانوکامپوزیت های پلیمر/معدنی است زیرا نوع نانوذرات و پلیمر برای برآورده کردن نیازها به طور گسترده قابل تغییر است در این روش، چندین تکنیک پلیمریزاسیون شامل سوسپانسیونی، تعلیقی، امولسیونی و مینی امولسیونی متداول است.

شود [۳۲]. جداسازی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم در تشخیص و درمان بیماری ها بکار میرود.

در روش مستقیم، ذرات مغناطیسی حامل آنتی بادی، با نمونه شامل مولکول های هدف مخلوط شده و سپس بین مولکول های هدف و مولکول های قرار گرفته بر روی سطح ذرات، واکنشی صورت می گیرد و در نهایت با اعمال میدان مغناطیسی خارجی، ذرات جدا می شوند.

در روش غیرمستقیم، مولکول های هدف در نمونه بوسیله یک مولکول خاص شناسایی می شوند که قابلیت واکنش با مولکول های دیگر که بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی است را داشته باشند. روش غیرمستقیم اختصاصی تر از روش مستقیم عمل می کند.

• فرایند ایمونواسی

فرایندی است که غلظت یا میزان هر آنالیت در محلول بوسیله برهمکنش آنتی بادی و آنتی ژن هدف تعیین می شود. آنتی ژن یا آنتی بادی بر روی سطح جامدی قرار می گیرد که می تواند نانوذرات مغناطیسی باشد. برای مثال، استفاده از نانوذرات مغناطیسی، موثرترین روش برای جداسازی سلولهای تومور از مغز استخوان است [۳۳].

نانوذرات مغناطیسی دارای سطح مقطع بزرگی هستند که گروههای عاملی موجود بر روی سطح با بیومولکولها پیوند برقرار می کنند و در کاربردهای ایمونواسی برای جداسازی آسان از هر محیطی مورد استفاده قرار می گیرند.

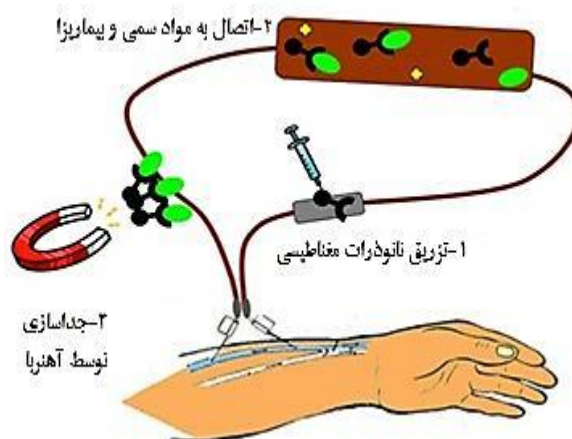
• کاربرد در نوکلئیک اسیدها

استفاده از نانوذرات مغناطیسی به عنوان نگهدارنده جامد در جداسازی و خالص سازی نوکلئیک اسید، امری اجتناب ناپذیر در زمینه پزشکی است و بر روش های متداول مثل استخراج با فنول یا رسوب گذاری با اتانول، برتری دارد [۳۴]. جداسازی و استخراج DNA و بدست آوردن نوکلئیک اسید خالص، بدون استفاده از هرنوع حلالی، در پزشکی مورد نیاز است که با استفاده از نانوذرات مغناطیسی امکان پذیر است. لاتکس مغناطیسی برای جداسازی و خالص سازی پروتئین ها و آنزیم ها در زمینه بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از مزایای استفاده از نانوذرات مغناطیسی، جلوگیری از تخریب پروتئین هاست. پروتئین یا آنزیم در جداسازی مغناطیسی در معرض shear کمتری نسبت به جداسازی سانتریفیوژ، فیلتراسیون یا کروماتوگرافی است. لاتکس مغناطیسی شامل هسته مغناطیسی اکسید آهن و یک پوسته پلیمری، به آسانی می تواند آنتی بادی، پروتئین و آنزیم را بر روی خود بنشانند. ذرات پلیمری مغناطیسی باید بقدر کافی آگریز باشند تا بتوانند جذب فیزیکی نسبتاً قوی آنتی بادی با برهمکنش آگریز داشته باشند. به عبارتی، تثبیت مولکولها حساس به پارامترهای مختلفی مثل دما، pH، قدرت یونی و ویسکوزیته محیط است. به همین دلیل حضور انواع مختلفی از گروههای عاملی واکنش پذیر بر روی سطح نانوذرات مغناطیسی برای واکنشهای شیمیایی به جای برهمکنش فیزیکی آگریز با بیومولکولها مورد استفاده قرار می گیرد.

در این تکنیک، دارو بر روی سطح ذرات مغناطیسی قرار گرفته شده و با اعمال یک میدان مغناطیسی خارجی می توان آن را به هدف موردنظر هدایت کرد. این روش برای قسمت های داخلی تر بدن اثرپذیری کمتری دارد چون قدرت میدان مغناطیسی در فاصله های زیادتر، کمتر می شود. این مشکل می تواند با قرار دادن یک آهنربا در نزدیکی هدف موردنظر در بدن حل گردد. بررسی هایی بر روی برهمکنش نانوذرات مغناطیسی با سلول های بدن صورت گرفته است. نانوذرات اکسید آهن سوپراپارامغناطیس با پلیمرهای مختلف کپسوله شده و برای اهداف دارورسانی مورد استفاده قرار می گیرند.

• تصفیه و پاکسازی خون

نانوذرات مغناطیسی می توانند در عرض چند دقیقه خون را تصفیه کنند و باکتری ها، ویروس ها، فلزات سنگین خطرناک و عوامل بیماری زا را از خون خارج کنند. مزیت این روش، مدت زمان کم و آسان بودن آن است که در شکل ۸ شمایی از آن نشان داده شده است [۳۰].



شکل ۸. شمایی از تصفیه و پاکسازی خون با استفاده از نانوذرات مغناطیسی

• هایپرترمی

هایپرترمی، رویکردی است که گرما به بافت شامل سلول های بدخیم اعمال می شود تا درصد سلول های زنده سرطانی را کاهش دهد و حساسیت به شیمی درمانی را افزایش دهد. در این روش، از نانوذرات مغناطیسی استفاده می شود تا با استفاده از یک میدان مغناطیسی خارجی، تولید گرما کنند و دمای بدن را افزایش داده و بدون هیچ اثری بر سلول های سالم، سلول های سرطانی را از بین ببرند. نانوذرات مغناطیسی بوسیله میدان مغناطیسی خارجی هدایت می شوند و انرژی را به شکل گرما منتشر می کنند که دما را تا سطح ۴۲-۴۵ درجه سانتیگراد افزایش می دهد تا بافت های خطرناک را نابود کند یا از کار بیاندازد [۳۱].

۹-۲- کاربردهای In-vitro نانوذرات مغناطیسی

• جداسازی مغناطیسی

در درمان های پزشکی، استفاده از نانوذرات مغناطیسی می تواند با روش های زمان ببری مثل سانتریفیوژ و فیلتراسیون جایگزین

• کاربرد در تشخیص ویروس و باکتری

نانوذرات مغناطیسی برای استخراج یا تعیین غلظت ویروس و باکتری بسیار مناسب است. اخیراً با استفاده از نانوذرات مغناطیسی فعالیت هایی برای تشخیص و تعیین غلظت ویروس مورد استفاده قرار گرفته است [۳۵].

باکتری های تست شده در صنعت مواد غذایی اغلب سالمونلا، اشریشیاکلا و لیستریا هستند که فرایندهای شناسایی زیادی با استفاده از نانوذرات مغناطیسی انجام شده که نتیجه را سریع تر مشخص می کند و حد تشخیص کمتری از روش های معمول دارد.

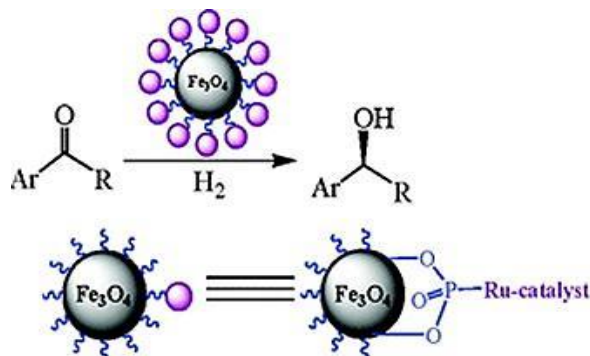
۳-۹- کاربردهای دیگر نانوذرات مغناطیسی

• تصفیه آب و جداسازی آلاینده ها

نانوذرات مغناطیسی می توانند استفاده شوند تا آلودگی ها را از محیط آبی خارج کنند و آب را تصفیه نمایند. سطح نانوذرات اصلاح می شود تا بتواند به کاتیون های فلزی سنگین موجود در آب شامل Pb^{2+} ، Cu^{2+} ، Cd^{2+} ، Ni^{2+} و... متصل شده و آنها را از آب جدا کند که در غلظت های بسیار کم هم می تواند مورد استفاده قرار گیرد. مزیت این روش این است که نانوذرات مغناطیسی قابلیت بازیابی دارند و چندین بار می توانند مورد استفاده قرار گیرند، هم چنین در نهایت آنها را بوسیله یک آهنربای ساده می توان از محلول آبی جدا کرد [۳۶].

• محافظ کاتالیست

نانوذرات مغناطیسی می توانند به عنوان محافظ کاتالیست مورد استفاده قرار گیرند که کاتالیست بر روی آن ثابت قرار می گیرد در نتیجه باعث می شود سطح کاتالیست زیاد شود و به موجب آن واکنش پذیری کاتالیست افزایش می یابد. در نهایت هم با استفاده از میدان مغناطیسی، کاتالیست جدا می گردد [۳۷].



شکل ۹. کاربرد نانوذرات مغناطیسی در کاتالیست ها

• کاهش مصرف سوخت خودرو

استفاده از نانوذرات مغناطیسی در سوخت خودرو باعث می شود ذرات سوخت بصورت بسیار ریز درآمده که جهت تماس با اکسیژن، دارای سطح تماس بیشتری هستند و پیوند آنها با سرعت

بالتری صورت می گیرد، در نتیجه عمل سوختن با کیفیت بسیار بهتری انجام می گیرد و احتراق بصورت کامل انجام می شود که نتیجه ی آن بازده حداکثر و خام سوزی حداقل موتور است، در نتیجه میزان مصرف سوخت و تولید گازهای آلاینده کاهش می یابد [۳۸].

• ذخیره داده ها

از نانوذرات مغناطیسی می توان در محیط های ثبت و ضبط مغناطیسی استفاده کرد. این نانوذرات علیرغم اندازه کوچک شان، دارای محیط ذخیره با دانسیته بالا هستند که با اصلاح این نانوذرات می توان دانسیته اطلاعات بیشتر از ۱ تترابایت بر اینچ مربع را بدست آورد [۳۹].

• جذب امواج الکترومغناطیس

با گسترش سیستم های الکترونیکی و دیجیتالی، تداخل امواج الکترومغناطیس (EMI) موضوع مورد توجهی است که باید از مواد جاذب امواج استفاده شود تا مضرات این امواج را کاهش داده یا حذف کنند. نانوذرات مغناطیسی با خصوصیات بی نظیرشان یکی از مواد جاذب امواج الکترومغناطیس هستند که این امواج را جذب کرده و به انرژی گرمایی تبدیل می کنند تا ضرر آن را کاهش دهند [۴۰].

۱۰- منابع

- [1] Fowler M., Historical Beginnings of Theories of Electricity and Magnetism, University of Virginia, 1997.
- [2] Whittaker E.T., A Ridiculously Brief History of Electricity and Magnetism, Dublin, Longman, 1910.
- [3] Lu A., Salabas E.L., "Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection, Functionalization, and Application", Angew. Chem. Int. Ed., 46, 1222-1244, 2007.
- [4] Yu W., Falkner J., Yavuz C., Colvin V., "Synthesis of monodisperse iron oxide nanocrystals by thermal decomposition of iron carboxylate salts", Chem.Comm., 2306-2307, 2004.
- [5] Zhao S., Lee D.K., Kim C.W., Cha H.G., Kim Y.H., Kang Y.S., "Synthesis of magnetic nanoparticles of Fe₃O₄ and CoFe₂O₄ and their surface modification by surfactant adsorption", 27, 2, 237-242, 2006.
- [6] Chen M., Kim J., Liu J.P., Fan H., Sun Sh., "Synthesis of FePt nanocubes and their oriented self-assembly", J. Am. Chem. Soc., 128, 7132-7133, 2006.



- of magnetite-silica nanocomposite materials by controlled stober synthesis", *Langmuir*, 21, 16, 7524-7525, 2005.
- [20] Liu X., Ma Z., Xing J., Liu H., "Preparation and characterization of amino-silane modified superparamagnetic silica nanospheres", *J. Magn. Mater.*, 270, 2, 1-6, 2004.
- [21] Mornet S., Portier J., Duguet E., "A method for synthesis and functionalization of ultrasmall superparamagnetic covalent carriers based on maghemite and dextran", *J. Magn. Mater.*, 293, 1, 127-134, 2005.
- [22] Yamaura M., Camilo R.L., Sampaio L.C., Macedo M.A., Nakamuro M., Toma H.E., "Preparation and characterization of (3-aminopropyl)triethoxysilane-coated magnetite nanoparticles", *J. Magn. Mater.*, 279, 2-3, 210-217, 2004.
- [23] Nalwa H. S., "Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology", San Diego: Academic, 2000.
- [24] Van Herck A.M., Landfester K., "Hybrid Latex Particles: Preparation with (mini) emulsion polymerization", *Adv. Polym. Sci.*, 233, 1-18, 2010.
- [25] Liu X., Guan Y., Ma Z., Liu H., "Surface modification and characterization of magnetic polymer nanospheres prepared by miniemulsion polymerization", *Langmuir*, 20, 23, 10278-10282, 2004.
- [26] Elaissari A., Rahman M., "Organic-inorganic hybrid magnetic latex", *Adv. Polym. Sci.*, 233, 237-281, 2010.
- [27] Pauser S., Reszka R., Wagner S., Wolf K.J., Buhr H.I., "Liposome-encapsulated superparamagnetic iron oxide particles as markers in an MRI-guided search for tumorspecific drug carriers", *Anticancer. Drug. Des.*, 12, 2, 125-135, 1997.
- [28] Hu F.Q., Li Z., Wei L., Gao M.Y., Zhou Z., "Preparation of Biocompatible
- [7] Batlle X., Labarta A., "Finite-size effects in fine particles: magnetic and transport properties", *J. Phys. D. Appl. Phys.*, 35, 15, 2002.
- [8] Papell S., "Low viscosity magnetic fluid obtained by the colloidal suspension of magnetic particles", 3, 215, 572, 1965.
- [9] Rosensweig R.E., *Ferrohydrodynamics*, Courier Corporation, 1997.
- [10] Khalafalla S.E., Reimers G.W., "preparation of dilution-stable aqueous magnetic fluids", *IEEE Trans Magn*, 16, 178, 1980.
- [11] Răcuciu M., Creangă DE, Bădescu V., Sulitanu N., "Microstructural investigation of some biocompatible ferrofluids", *J Magn Mater*, 316, 772-775, 2007.
- [12] Chunbao Xu., Teja A., "Continuous hydrothermal synthesis of lithium iron phosphate particles in subcritical and supercritical water", *J. Supercrit. Fluids*, 44, 85-91, 2008.
- [13] Peng X., Chen Y., "Jana N.R., Size- and Shape-Controlled Magnetic (Cr, Mn, Fe, Co, Ni) Oxide Nanocrystals via a Simple and General Approach", *Chem. Mater.*, 16, 3931-3935, 2004.
- [14] Viau G., Fievet-Vincent F., "Monodisperse iron-based particles: precipitation in liquid polyols", *J. Mater. Chem.*, 6, 1047-1053, 1996.
- [15] Gonzalez-Carreno T, Morales M.P, Gracia M, Serna C.J., "Preparation of uniform γ -Fe₂O₃ particles with nanometer size by spray pyrolysis", *Mater Lett*, 18, 151-155, 1993.
- [16] Pileni M.P., "Magnetic Fluids: Fabrication, Magnetic Properties, and Organization of Nanocrystals", *Adv. Funct. Mater.*, 11, 323-333, 2001.
- [17] Feltin N., Pileni M.P., "New Technique for Synthesizing Iron Ferrite Magnetic Nanosized Particles", 13, 3927-3933, 1997.
- [18] Bruce I.J., Taylor J., Todd M., Davies M.J., Borioni E., Sangregorio C., Sen T., "Synthesis, characterization and application of silica-magnetite nanocomposites", *J. Magn. Mater.*, 284, 145-160, 2004.
- [19] Barnakov Y.A., Yu M.H., Rosenzweig Z., "Manipulation of the magnetic properties

- [34] Obata K., Segawa O., Yakabe M., Ishida Y., Kuroita T., Ikeda K., Kawakami B., Yohda M., Matsunaga T., "Development of a novel method for operating magnetic particles, magtration technology, and its use for automating nucleic acid purification", *J. Biosci. Bioeng.*, 91, 5, 500–503, 2001.
- [35] Satoh K., Iwata A., Murata M., Hikata M., Hayakawa T., "Virus concentration using polyethyleneimine-conjugated magnetic beads for improving the sensitivity of nucleic acid amplification tests", *J. Virol. Methods*, 114, 1, 11–19, 2003.
- [36] Mahdavian A.R., Mirrahi M.A., "Efficient separation of heavy metal cations by anchoring polyacrylic acid on superparamagnetic magnetite nanoparticles through surface modification", *Chem. Eng. J.*, 159, 1-3, 264–271, 2010.
- [37] Hu A., Yee G.T., Lin W., Uni V., Hill C., Carolina N., "Magnetically recoverable chiral catalysts immobilized on magnetite nanoparticles for asymmetric hydrogenation of aromatic ketones", *J. Am. Chem. Soc.*, 127, 12486–12487, 2005.
- [38] "<http://www.power-max.ir/>."
- [39] Frey N.A., Peng Sh., Cheng sh., Sun Sh., "Magnetic nanoparticles: synthesis, functionalization, and applications in bioimaging and magnetic energy storage", *Chem. Soc. Rev.*, 38, 9, 2532–2542, 2009.
- [40] Belaabed B., Luc J., Lamouri S., Lasri T., "Synthesis and characterization of hybrid conducting composites based on polyaniline / magnetite fillers with improved microwave absorption properties", *J. Alloys. Compd.*, 527, 137–144, 2012.
- Magnetite Nanocrystals for In Vivo Magnetic Resonance Detection of Cancer", *Adv. Mater.*, 18, 2553–2556, 2006.
- [29] Brazel C.S., "Magnetothermally-responsive nanomaterials: Combining magnetic nanostructures and thermally-sensitive polymers for triggered drug release", *Pharm. Res.*, 26, 3, 644–656, 2009.
- [30] Lee J., Jeong K.J., Hashimoto M., Kwon A.H., Rwei A., Shankarappa S.A., "Synthetic Ligand-Coated magnetic nanoparticles for micro fluidic bacterial separation from Blood", *Nano. Lett.*, 14, 1, 1–5, 2014.
- [31] Hergt R., Andra W., Ambly C.G., Hilger I., Kaiser W.A., Richter U.S., "Physical limits of hyperthermia using magnetite fine particles", *IEEE. Trans. Magn.*, 34, 5, 3745–3754, 1998.
- [32] Gupta A.K., Gupta M., "Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications", *Biomaterials*, 26, 18, 3995–4021, 2005.
- [33] Meza M., Hafeli U., Schutt W., Teller J.Z., "Scientific and clinical application of magnetic carriers", 1997.