

کاربرد نانو ذرات مغناطیس در حوزه‌های زیستی و غذایی

مهداد نیاکوثری^{۱*}، زهرا فرقانی^۲

۱- دانشیار علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز

۲- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۰۲

پیام‌نگار: Niakosar@shirazu.ac.ir

چکیده

ذرات جاذب نانومغناطیس در ابعاد $1-100\text{nm}$ برای فرایند جداسازی مغناطیسی به کار می‌روند که آنها را بنابر خواص مغناطیسی‌شان، به گروه‌های: فرومغناطیسی، فری مغناطیسی، پاد فرومغناطیسی، دیامغناطیسی و پارامغناطیسی تقسیم‌بندی می‌کنند؛ که به علت برخورداری از نسبت سطح به حجم زیاد دارای انرژی فراوانی‌اند و به کاهش سطح انرژی خود گرایش دارند. در نتیجه، دارای ظرفیت زیاد بارالکتریکی و محدودیت پراکندگی‌اند. نانوذرات مغناطیسی به کمک روشهای مختلفی تولید می‌شوند که متداول‌ترین آن روش رسوب‌گذاری هم‌زمان است. این ذرات به پارامترهایی چون تغییرات pH ، دما، و قدرت یونی بسیار حساس‌اند و از طریق ترکیب با گروه‌های کربوکسیل، فسفات و سولفات پایدار می‌شوند. از این ذرات برای جداسازی بسپارها، زدودن مواد پرتوزا از فاضلاب‌ها، تصفیه آب‌های آشامیدنی، درمان سرطان، بی‌حرکت کردن آنزیم، خالص‌سازی پروتئین، بسته‌بندی مواد غذایی و تکنیک ردیابی استفاده می‌شود. کاربرد این ذرات بسیار ساده، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه و فاقد خطرات جانبی است.

کلیدواژه‌ها: ذرات نانو مغناطیس، روش، خالص‌سازی، جداسازی، نافع‌سازی

۱. مقدمه

میلاادی در حوزه طراحی و ساخت ساختمان‌ها به کار برده شد [۱ و ۲]. مواد مغناطیسی در مقیاس $1-100\text{nm}$ را نانوذرات مغناطیسی می‌نامند که به شکل کروی‌اند و این ریزکره‌ها به کمک میدان مغناطیسی خارجی به راحتی جداسازی می‌شوند. این ذرات معمولاً به صورت ترکیب با اکسیژن به کار می‌روند که برای پایداری بیشتر، سطح‌شان از مواد آلی و غیرآلی پوشیده می‌شود. اینها، به علت برخورداری از نسبت سطح به حجم زیاد، گرایش زیادی به کاهش میزان انرژی خود دارند. این خواص باعث استفاده از این ذرات در حوزه‌های متعدد علوم زیستی و صنایع غذایی مانند جداسازی مواد و اصلاح بسپارها، تصفیه فاضلاب‌ها و آب‌های

هنر و علم چیدمان و دستکاری اتم‌ها و مولکول‌ها برای رسیدن به ذراتی با ابعاد یک میلیاردیم متر را نانو می‌نامند. از اتم‌ها، مولکول‌ها و یا حتی اجزای مولکول در سطوح مختلف برای ایجاد یا بهره‌گیری از ساختارهای مواد و سیستم‌هایی با خواص و عملکرد جدید در علم نانو استفاده می‌شود. فناوری نانو، موج چهارم انقلاب صنعتی و پدیده‌ای پرآمنه است که در تمامی گرایشهای علمی راه یافته و از فناوری‌های نوینی به شمار می‌آید که با سرعت هر چه تمام‌تر در حال گسترش است. نظریه نانو نخستین بار در ابتدای دهه ۱۹۸۰

* شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی، بخش علوم و صنایع غذایی

آشامیدنی، درمان سرطان، بی حرکت کردن آنزیم، خالص سازی پروتئین، بسته بندی مواد غذایی و روش ردیابی می شود [۳].

۱.۱ تقسیم بندی ذرات نانومغناطیس بر اساس خواص مغناطیسی آنها

بر اساس خواص مغناطیسی، نانوذرات مغناطیس را به گروه های: فرومغناطیسی، فری مغناطیسی، پاد فرومغناطیسی، دیامغناطیسی و پارامغناطیسی تقسیم بندی می کنند. خاصیت فرا پارامغناطیسی نیز ناشی از کاهش ابعاد ذرات مواد فرو و فری مغناطیسی است. نانوذرات فرومغناطیسی به ذراتی گفته می شود که برای تولید میدان مغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی خارجی از توانایی خاصی برخوردارند؛ یعنی دارای میدان مغناطیسی خود به خود هستند. خاصیت فرومغناطیسی در دمای صفر مطلق، به بیشترین تعداد و در دمای کوری به صفر می رسد. با افزایش دما، خاصیت فرومغناطیسی ذرات تا حدی کاهش می یابد و خاصیت پارامغناطیس در آنها برقرار می شود. دمایی را که ذرات نانوفرومغناطیسی را به پارامغناطیسی تبدیل می کند، دمای کوری می نامند [۴].

۲.۱ عملکرد ذرات نانومغناطیس

ساختار و ابعاد ذرات نانومغناطیس تا حدود زیادی باعث افزایش ظرفیت بارالکتریکی و محدودیت پراکندگی آنها شده است. ترکیبات آلی و غیر آلی در تک ذره مغناطیسی اصلاح شده، مشخصه های فیزیکی و شیمیایی جدیدی از قبیل تحرک زیاد و نیز واکنش سریع را به وجود می آورند. تأثیرات مغناطیسی از طریق حرکات ذراتی که دارای جرم و بار الکتریکی اند به وجود می آید. هر ذره باردار در حال چرخش، یک دو قطبی مغناطیسی را تولید می کند که اصطلاحاً مگنتون^۱ نامیده می شود. بنابراین، می توان گفت که ساختار و اندازه هر ذره مغناطیسی تا حد زیادی عملکرد آن ذره را در فرایند نانومغناطیسی تعیین می کند [۳].

۳.۱ عوامل مهم در عملکرد ذرات نانو مغناطیسی

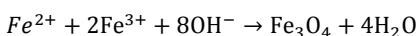
برای جدا کردن مولکول های زیستی، بر ذرات نانومغناطیس با ابعاد نانومتر تمرکز کردند. موازنه جذب سطحی و آثار پارامترهای گوناگونی چون pH، دما و قدرت یونی در زمینه ذرات نانومغناطیسی

1. Magnetron

حساس به گرما، مبحثی است که اخیراً مورد توجه دانشمندان واقع شده است. به علاوه، تغییر تطبیق پذیر پروتئین ها در طول فرایند استخراج به وسیله ذرات نانومغناطیس حساس به گرما، موضوعی است که به تازگی شناخته شده و نیازمند توجه بیشتر است. مقایسه نیروهای برهم کنشی ذرات نانومغناطیس پوشیده شده با بسپارهای حساس به گرمای کربوکسیل دار نیز بسیار مهم است. علت این امر آن است که این مواد سازگار زیستی، انواع واکنش های مختلف به میدان مغناطیسی خارجی را بروز می دهند [۷ و ۹].

۴.۱ روش های تولید ذرات نانومغناطیس

برای تولید ذرات نانو مغناطیس، از روش هایی چون رسوب گذاری هم زمان، واکنش های جاری در محیط های تحت فشار، از قبیل ریز امولسیون ها، ترکیب سل-ژل، واکنش های شیمیایی، واکنش گرمایی، هیدرولیز و گرماکافت پیش ماده ها، سنتزهای الکترواسپری و فرایندهای مکانیکی- شیمیایی استفاده می شود، که ساده ترین و مناسب ترین مسیر شیمیایی برای دستیابی به ذرات نانو مغناطیس، شیوه رسوب گذاری هم زمان است. در این روش، اکسیدهای آهن به شکل مگنتیت^۲ (Fe₃O₄) یا مگمیت^۳ (γ-Fe₂O₃) معمولاً با افزایش ماندگاری مخلوط های استاکیومتری نمک های فرو و فری در واسطه آلكالین آبی آماده می شوند. واکنش تشکیل Fe₃O₄ از این قرار است:



مگنتیت خیلی پایدار نیست و نسبت به اکسایش حساس است که منجر به تشکیل مگمیت می شود [۸]. هر چند مزیت عمده فرایند رسوب گذاری هم زمان تولید مقدار زیاد ذرات نانو مغناطیس است، اما باید به این نکته توجه کرد که کنترل اندازه ذرات در این روش محدود است و نیاز به آنیون های آلی چون یون های کربوکسیلات یا هیدروکسی کربوکسیلات α از قبیل اسیدهای روغنی، گلاکونیک یا سیتریک و یا عامل پیچیده کننده سطح بسپار مانند دکستران، کربوکسی دکستران، نشاسته یا الکل پلی ونیل در طول فرایند تولید ذرات نانو مغناطیس دارد که از این طریق می توان ابعاد ذرات را کنترل کرد. برای تولید ذرات نانو مغناطیس با ابعاد یکنواخت تر و

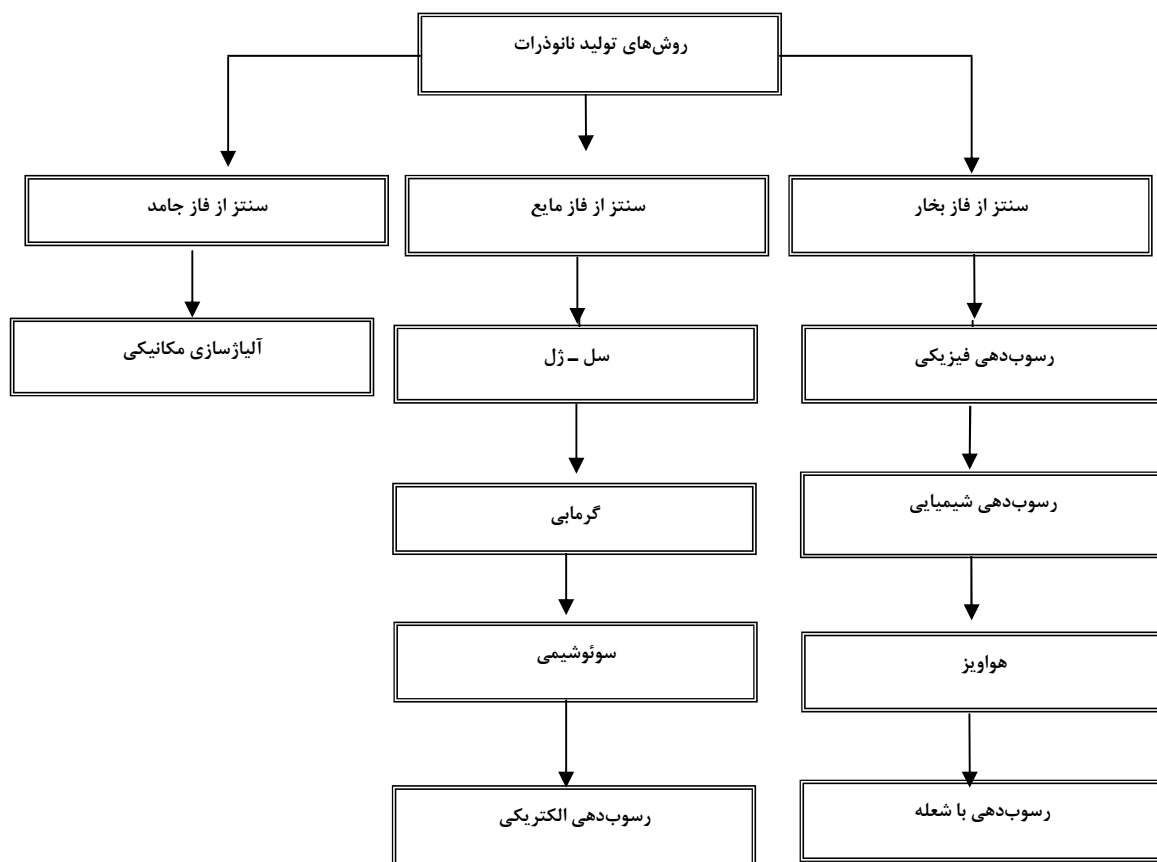
2. Magnetite
3. Maghemite
3. Apoferritin Protein
3. dendrimers

پیوسته و یا تقسیم بندی شده واکنشگرها، تحت جریان آرام در یک واکنشگاه است و چندین مزیت دارد که عبارتند از تکرارپذیری بالا به دلیل شرایط آرام و جریان دو شاخه، همگنی بالای مخلوط و فرصت کنترل خارجی دقیق فرایند به دست آمده و محدود شدن ابعاد ذرات در دامنه ۷-۲ nm است (لائورنت و همکاران ۲۰۰۸، سالازار- آلوارزو همکاران ۲۰۱۴). روش دیگر کاربرد میکروموج است که بسیار ساده، سریع و کم هزینه برای آماده کردن نانو ذرات مغناطیسی یکنواخت از نمک‌های Fe^{2+} ارائه شده است. تشکیل نانو ذرات مغناطیس با استفاده از روش میکروموج، تنها نیازمند چند ثانیه یا دقیقه است (ژنیک و همکاران، ۲۰۱۵).

بی‌نیازی به کنترل اندازه ذرات، می‌توان از نانو واکنشگاههای زیستی از قبیل ساختارهای مسیلی معکوس پر از آب در حلال‌های غیرقطبی، محفظه‌های پروتئینی آپوفیتین ۳، دندریمرها، سیکلو دکسترین، لیپوزوم‌ها و یا تولید سنتز گرمایی نانو ذرات مغناطیسی در واکنشگاهها یا اتوکلاوها بهره گرفت که در آنجا فشار می‌تواند بالاتر از ۲۰۰۰ psi و دما بالای ۲۰۰ درجه سیلسیوس باشد (لائورنت و همکاران، ۲۰۰۸).

۴.۱.۱ روش‌های جدید تولید ذرات نانو مغناطیس

اخیراً یکی از روشهای تولید جدید نانو ذرات مغناطیسی بر اساس روش سنتز تزریق جریان^۱ ارائه شده است. این روش، از آمیختگی



شکل ۱. انواع روش‌های تولید نانوذرات مغناطیس بر پایه فازهای جامد، مایع و گاز[۸].

۵. چگونگی پایدارسازی نانوذرات مغناطیسی

نانوذرات مغناطیسی باید در برابر تأثیر وارد آمدن میدان مغناطیسی خارجی پایدار و مقاوم باشند. به این منظور، باید سطح انرژی این ذرات پایین آید و پایدار شوند. برای اصلاح سطح این ذرات از چند ترکیب با گروه‌های کربوکسیل، فسفات و سولفات استفاده می‌شود که به سطح ذرات نانومغناطیس وصل می‌شود و آنها را پایدار می‌کند [۹].

۲. هدفهای کاربرد از ذرات نانو مغناطیس

۲.۱ کاربرد در حوزه‌های زیستی

نانوذرات مغناطیسی اغلب جزئی مغناطیسی از ریزذرات مرکب واکنشی مغناطیسی را تشکیل می‌دهند که از بسپارهای ساختگی متعدد، بسپارهای زیستی، مواد غیرآلی یاخته‌های میکروب یا مواد گیاهی تشکیل شده است. ذرات آب‌پارامغناطیس متشکل از یک قالب پلی استایرن نیز هستند که با نانوذرات مگمیت به دام می‌افتند و تقریباً با قطر ۸ نانومتر به آنها دینابد^۱ می‌گیرند که کاربردهای بسیاری بخصوص در فرایندهای جداسازی و اصلاح بسپارها، تصفیه فاضلاب، آب‌های آشامیدنی و درمان سرطان دارند [۱۰ و ۱۱].

۲.۱.۱ جداسازی مواد و اصلاح بسپارها

مواد قابل کنترل در میدان مغناطیسی عبارتند از: نانوذرات و ریزذرات، نانولوله‌ها^۲، نانوسیم‌ها^۳، شاره‌های آهن‌دار، شاره‌های مغناطیسی، شاره‌های مغناطیسی روان، بسپارهای مغناطیسی، ساختارهای زیستی اصلاح شده مغناطیسی و ذرات مغناطیسی پیوند یافته با مولکولهای زیستی. در بسیاری موارد، مواد مرکب واکنش‌دهنده مغناطیسی از ذرات مغناطیسی کوچکی (مگنتیت، مگمیت یا فریدهای مختلف) تشکیل شدند که معمولاً در محدوده نانومتر تا میکرومترند و می‌توانند در یک بسپار زیستی پراکنده و یا بر روی سطح خارجی ذرات دیامغناطیس جذب شوند. این خاصیت، باعث می‌شود که در زمینه‌های مختلف بخصوص جداسازی مواد آنها را به کار گیریم. ریزذرات و نانوذرات مغناطیسی و سایر مواد مربوطه را می‌توان به صورت گزینشی با بهره‌گیری از یک میدان مغناطیسی

خارجی (یعنی با استفاده از یک جداکننده مغناطیسی مناسب، مغناطیسی پایدار یا الکترومغناطیس) از نمونه‌های پیچیده جدا کرد (زدود) که این فرایند را دیامغناطیس می‌نامند و برای کاربردهای زیستی بسیار مهم است. علت این امر آن است که اکثر مواد مطلق زیستی دارای مشخصات دیامغناطیسی‌اند که جداسازی گزینشی مواد مغناطیسی را ممکن می‌کنند. از ریزذرات و نانوذرات مغناطیسی برای اصلاح مغناطیسی مواد زیستی دیامغناطیس از قبیل یاخته‌ها یا مواد گرفته شده از گیاهان، بسپارهای آلی و مواد غیرآلی و برای برچسب زدن مغناطیسی ترکیبات فعال زیستی چون اپتامرها استفاده می‌شود [۱۱].

۲.۱.۲ تصفیه فاضلاب

ریزکره‌ها یا نانوذرات مغناطیسی با سطح اصلاح شده، دارای توان بالقوه دامنه‌داری برای کاربردهایی چون جداسازی مغناطیسی عناصر پرتوزا هستند. به این صورت که سطح این ذرات به عنوان کاتالیزور عمل می‌کنند و فضای وسیعی را برای واکنش‌پذیری فراهم می‌آورند که سرعت جداسازی و انتقال نوکلئوتیدهای تابشی کم غلظت را افزایش می‌دهند و باعث زدودن آنها از فضولات مایع می‌شوند. مثلاً، از تراکم نانوذرات مغناطیسی با هگزانوسیانوفرات نیکل پتاسیم (II) برای دفع سزیم استفاده می‌شود (سافریک و سافریکوا^۴، ۲۰۱۲).

۲.۱.۳ تصفیه آب های آشامیدنی

بارگیری مواد استخراج شده بر روی رزین‌ها در هنگام تصفیه آب آشامیدنی باعث می‌شود نیاز کمتری به مواد استخراج شده در مقایسه با شیوه جداسازی ستونی به وجود بیاید. ارائه رزین‌های مغناطیسی موجب ایجاد یک شیوه جداسازی مغناطیسی ساده در مقایسه با استخراج ستونی شده است. همچنین، بهره‌گیری از زیر لایه فوق پارامغناطیس باعث سهولت در مشخصه‌های بازیابی صافی‌ها می‌شود. ارائه رزین‌های مغناطیسی نیز به ایجاد یک شیوه جداسازی مغناطیسی مناسب‌تر و ساده‌تر در مقایسه با استخراج ستونی HPLC انجامیده است [۱۱ و ۳].

1. Dynabead
2. Nanotubes
3. Nanowires

4. Safarik and Safarikeva

۴.۱.۲ درمان سرطان

همچنین، شدت میدان مغناطیسی بین ۳۰۰ KHZ تا ۱۰۰ GHZ است. عملکرد ذرات نانومغناطیس در روش‌های فزون گرمایی وابسته به اختلاف‌های فیزیکی و شیمیایی سلول‌های جدا شده و محیط نیست بلکه به وجود عنصر علامت‌گذار وابسته است که می‌تواند به صورت تخصصی به غشای سلول بچسبد؛ مانند کاربرد فزون گرمایی یا پرتوئایی الکترومغناطیسی. در روش فزون گرمایی، مبانی جداسازی ذرات مغناطیسی به نیروی F تولید شده توسط ذرات نانومغناطیس متصل وابسته است. به گونه‌ای که وقتی ذرات نانومغناطیس در یک میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار می‌گیرند، نیروی خاصی بر آن‌ها وارد می‌آید که آنها را موازی با میدان آرایش می‌دهد. حال وقتی میدان مغناطیسی نایکنواخت B وارد می‌آید، در دوقطبی مغناطیسی هم نیروی F وارد می‌آید که وابسته به میدان B است، و به این ترتیب آرایش فضایی ذرات عوض می‌شود. مثلاً اگر میدان مغناطیسی از $B=0.01$ به $B=1$ تغییر کند، و این تغییر در هر جهتی در فاصله $\Delta X = 0/1$ باشد، نوسانات ذرات نانو مغناطیس را نیروی میانگینی ایجاد می‌کند که مقدار آن از رابطه $F_x = m \cdot \Delta B / \Delta X$ محاسبه می‌شود [۶ و ۲۱].

۲.۲ کاربرد در علوم و صنایع غذایی

مهمترین نگرانی پیرامون نانو ذرات مغناطیسی عدم ایمنی، یا به بیان دیگر، سمی بودن آنهاست. از این رو، ذراتی که در صنایع غذایی فراوان به کار می‌روند، اکسیدهای آهن است که ذرهٔ اُبرپارامغناطیس (Fe_3O_4) متداول‌ترین آنهاست. علت این امر آن است که این ماده دارای سازگاری زیستی خوبی است و پس از حذف میدان مغناطیسی خارجی، خاصیت مغناطیسی باقیمانده را حفظ نمی‌کند. با تغییر و اصلاح سطح نانو ذرات اکسید آهن و سایر ذرات نانو مغناطیس به وسیله گروه‌های خاصی چون: $-COOH$ ، $-NH_2$ و $-OH$ ، می‌توان این ذرات را در صنعت مواد غذایی برای بی‌حرکت کردن آنزیم، خالص‌سازی پروتئین، بسته‌بندی و شیوهٔ ردیابی به کار برد [۱۲].

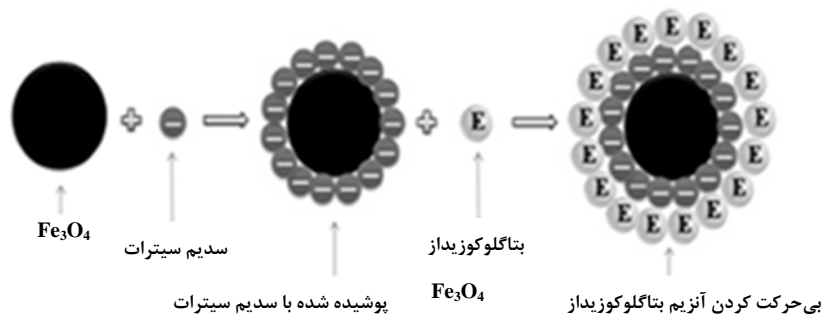
۱.۲.۲ بی‌حرکت کردن آنزیم

آنزیم‌هایی چون آمیلاز، پروتئاز، لیپاز و اکسیدورداکتاز به دلیل فعالیت کاتالیزوری بسیار زیاد به طور گسترده‌ای در صنایع غذایی

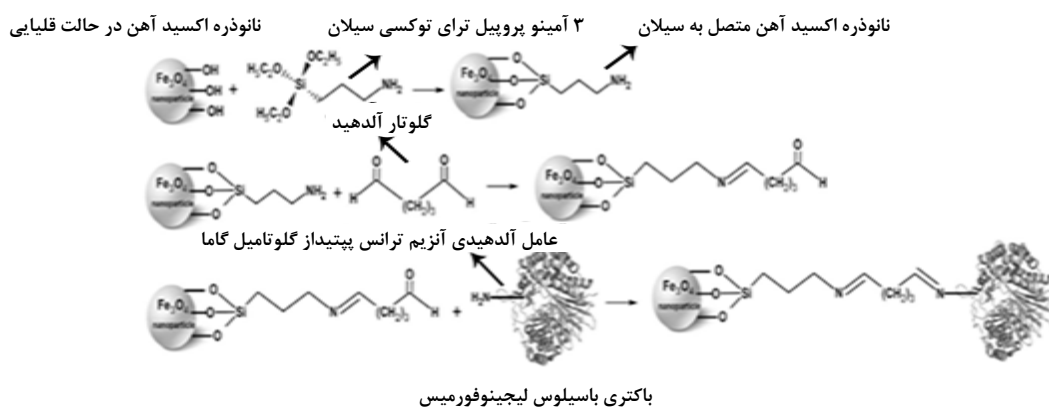
هنگامی که ابعاد ذرات فرومغناطیس از یک تک میدان مغناطیسی کوچکتر شود، به ذرات اُبرپارامغناطیس تبدیل می‌شوند. این ذرات تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی خارجی، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند. اما خاصیت نانو ذرات فرومغناطیس را ندارند، زیرا با حذف میدان مغناطیسی خارجی، خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند. به دلیل پتانسیل بالای مغناطیسی شدن در این ذرات، از آنها می‌توان در زمینه‌های زیادی چون انتقال کنترل شده داروهای ضدسرطان بهره گرفت. در این روش، داروی تزریق شده به همراه ذرات نانو مغناطیس از طریق فرایند الحاق جذب فیزیکی به سطح ذرات نانو مغناطیس متصل و با استفاده از آهنرباهای خارجی که هدایت ذرات نانو مغناطیس را تا رسیدن به سلول‌های هدف یا غده‌های سرطانی بر عهده دارند، به بافت سرطانی رسانده می‌شوند. به این ترتیب، با سلول‌های سالم بدن کمتر برخورد می‌کنند و آنها را تخریب نمی‌کنند. راه دیگر انتقال دارو به وسیله نانو ذرات مغناطیسی، فعال‌سازی سطح نانو ذرات به کمک پادتن‌های تک کلونی است. به این ترتیب، که میان پادتن‌های سطح نانو ذرات و پادتن‌های سطح تومور پیوند برقرار می‌شود. علت آن که پادتن‌های سطح نانو ذرات تنها به سلول‌های سرطانی می‌چسبند، تفاوت سلول‌های سرطانی با سایر سلول‌های بدن و وجود گیرنده‌ای به نام فولات در سطح این سلول‌هاست که باعث می‌شود ذرات نانو مغناطیس پوش با پادتن‌ها به صورت تخصصی به این گیرنده‌ها متصل و مانع پیوند عوامل رشد به آنها و تکثیر سلول‌های سرطانی شوند [۶]. فزون گرمایی جدیدترین روش استفاده از ذرات نانومغناطیس در مبارزه با غده‌های سرطانی، بدون آسیب رساندن به بافت‌های سالم پیرامون آنهاست. تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده است که استفاده از نانو ساختارها برای فزون گرمایی موجب می‌شود که دما به صورت موضعی و بدون تأثیر بر بافت‌های اطراف افزایش یابد. به این ترتیب که ذرات نانو مغناطیس پس از اتصال با سلول‌های گرفتار، در معرض میدان مغناطیسی متناوب پربسامد قرار می‌گیرند و گرما تولید می‌کنند. به طوری که گرمای سطح سلول‌های تومور به حدود ۴۵ تا ۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد. توان گرمایی ذرات نانو مغناطیس بر حسب W/kg و از ترسیم منحنی‌های تغییرات گرمای تجربی نسبت به زمان به دست می‌آید.

ترانس پپتیداز گلوتامیل گاما در باکتری باسیلوس لیچینوفورمیس^۱ بررسی و مشخص شده است که ذرات نانومغناطیس از طریق اتصال با آنزیم باکتری آن را از بین می‌برند. برای این منظور، نانوذرات مغناطیسی به وسیله محلول قلیایی از یون‌های آهن سه ظرفیتی تهیه شدند و با سه آمینو پروپیل ترای توکسی سیلان^۲ عمل آوری شده و سپس بین آنها و عامل مزدوج‌ساز کننده گلو تار آلدهید پیوند برقرار شد. به این ترتیب، عامل گلو تار آلدهید متصل به ذره نانومغناطیس اکسید آهن با عامل آلدیدی موجود در آنزیم ترانس پپتیداز گلو تامیل گاما اتصال برقرار می‌کند و باعث بی‌حرکت و غیرفعال شدن آنزیم، مختل شدن سوخت‌وساز میکروب و در نتیجه مرگ سلول میکروب می‌شود [۱۵].

به کار گرفته می‌شوند. این آنزیم‌ها در مقابل PH، گرما یا فاکتورهای دیگر پایداری ضعیفی دارند و بازیابی و باز مصرف آنها بسیار دشوار است. بهبود پایداری، استحکام و قابلیت باز مصرف آنها در صنعت مواد غذایی بسیار ضروری است. به همین دلیل، بی‌حرکت کردن آنزیم یکی از روش‌های موثر و سودمند برای بهبود پایداری آنزیم‌ها به شمار می‌آید. در این روش ذرات نانومغناطیسی از طریق تشکیل پیوند یونی یا کووالانسی با آنزیم یا از طریق جذب آنزیم در یک ماده جامد، آنزیم‌های مورد نظر را بی‌حرکت می‌کند. مثلاً، آنزیم بتا گلوکوزیداز از طریق برقراری پیوند یونی با ذرات نانومغناطیسی اکسید آهن (Fe_3O_4) پوشیده از سدیم سیترات در یک ماده جامد بی‌حرکت شده است [۱۳ و ۱۴]. اخیراً نیز استفاده از ذرات نانومغناطیس برای کاهش فعالیت آنزیم



شکل ۲. بی‌حرکت کردن آنزیم بتاگلوکوزیداز توسط نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن (Fe_3O_4) اصلاح شده با سدیم سیترات [۱۳].



شکل ۳. فرایند غیرفعال شدن آنزیم پپتیدیداز گلو تامین گاما در باکتری باسیلوس لیچینوفورمیس توسط ذرات نانومغناطیس اکسید آهن [۱۵].

1. Amion Propyltrie Thoxy Silane (APES)
2. Bacillus Lichiniformis

۲.۲.۲ خالص‌سازی پروتئین

پژوهشگران بسیاری، برای خالص‌سازی پروتئین، بر ذرات نانومغناطیس متمرکز شده‌اند. جذب دوباره پروتئین‌ها یکی از پارامترهای مهم در فرایند جداسازی آنها توسط ذرات نانومغناطیس به شمار می‌آید. علاوه بر این، تغییر تطبیق‌پذیری پروتئین‌ها طی فرایندهای استخراج به وسیله ذرات نانومغناطیس حساس به گرما نیز بررسی شده است. شیوه خالص‌سازی پروتئین با بهره‌گیری از ذرات نانومغناطیس، برخلاف سایر روشهای قدیمی خالص‌سازی پروتئین مانند: کروماتوگرافی، رسوب‌گذاری، ابرصافی‌گذاری و سانتریفوژ، نیاز کمتری به زمان آماده‌سازی مواد قبل از انجام عملیات دارد. همچنین، مهارت فرد در کاربرد این روش نیز ضروری نیست و دستگاه‌های مورد نیاز برای این روش بسیار ارزان‌تر از سایر روشهاست [۱۶ و ۱۷].

۳.۲.۲ بسته‌بندی مواد غذایی

فرایند جداسازی با نانو ذرات مغناطیس موجب از بین بردن میکروبهای بیماری‌زا می‌شود. همچنین، در روش‌های تشخیص باکتری و عوامل بیماری‌زا نیز به کار می‌روند. از نانو ذرات مغناطیسی ایجاد شده، برای از بین بردن میکروبها، به ویژه باکتریهای موجود در مایعات، استفاده می‌شود. به این ترتیب که نانو ذرات مغناطیسی با آنالیت‌های متصل به آنها را می‌توان با میدان‌های مغناطیسی یا چرخاندن در دستگاه مرکزگریز، از باقی مانده محلول جدا کرد. همچنین، این روش به عنوان روشی جدید در زمینه زدودن موجودات زنده یا موجودات بیماری‌زا از محصولات غذایی شناخته شده است. اخیراً نیز پژوهشگران، پوشش یا فیلم^۱ منحصر به فردی از ذرات نانومغناطیس را برای بسته‌بندی محصولات غذایی ارائه کردند تا به صورت گزینشی تمامی باکتری‌ها، بخصوص باکتری‌های گرم مثبت را از مواد غذایی بزدايند [۱۸].

۴.۲.۲ شیوه ردیابی

نانوذرات مغناطیس با شیوه‌های ردیابی بسیاری برای بررسی مواد غذایی تلفیق شده‌اند که این شیوه‌ها عبارتند از، الف) PCR که برای ردیابی و شناسایی ماده بیماری‌زای مواد غذایی استفاده می‌شود. ب) شیوه اپتیکی که برای شناسایی و استخراج آلاینده‌های غذایی از

1. Film

قبیل داروهای دامپزشکی و ریزستی به کار می‌روند. در سال‌های اخیر، یک روش انتخابی و سریع دیگر نیز برای استخراج آنتی‌بیوتیک‌های B-Lactam از نمونه‌های شیر از طریق بسپارهای مغناطیسی ساخته شده از نانوذرات Fe_3O_4 ارائه شده است. همچنین، بهره‌گیری از نانوذرات مغناطیسی نیز در حسگرهای زیستی رایج شده و آنها را حساس‌تر و سریع‌تر کرده است. مثلاً، برای ردیابی و شناسایی ای‌کولی در نمونه‌های مواد غذایی، یک حسگرزیستی مبتنی بر نانوذرات مغناطیسی و پادتن ارائه شده است. در حسگرهای زیستی گلوکز نیز، ذرات نانومغناطیس برای تبدیل شدن به ذرات قابل ردیابی، به صورت الکتروشیمیایی برای شناسایی گلوکز در نمونه‌های مواد غذایی به کار رفته‌اند که این ذرات نانومغناطیس در این حسگرهای زیستی، شامل اکسید آهن و کیتوزان است. امروزه، نانوذرات مغناطیسی تلفیق شده با PCR، شیوه نوری، سنجش ایمنی، طیف‌سنجی و حسگرهای زیستی، روشهای ساده و سریعی را برای ردیابی و شناسایی عناصر یا آلاینده‌های مواد غذایی ایجاد کرده‌اند [۲۰ و ۱۹].

۳. نتیجه‌گیری کلی

روش استفاده از ذرات نانومغناطیس، ساده، سریع، و نو برای فرایندهای مختلف، بخصوص فناوری زیستی و صنعت غذا است که به گسترش پیشرفت فناوری در زمینه‌های گوناگون انجامیده است. به منظور پایدارسازی این ذرات، سطح آنها به وسیله گروه‌های کربوکسیل، فسفات و سولفات پوشانده می‌شود. روش‌های تولید این ذرات به ویژه شیوه تزریق جریان و استفاده از میکروموج، بسیار ساده، کم هزینه و فاقد آثار جانبی است. ساختار و اندازه ذرات نانومغناطیس در ایجاد ویژگی منحصر به فرد این ذرات، یعنی جداسازی مولکول‌ها بدون ایجاد خطر و صرف هزینه هنگفت اقتصادی، نقش اساسی را ایفا کرده است که از این ویژگی در زمینه‌های زیستی و صنایع غذایی مانند جداسازی مواد و اصلاح بسپارها، تصفیه فاضلاب‌ها و آب‌های آشامیدنی، خالص‌سازی پروتئین و بسته‌بندی مواد غذایی استفاده فراوان شده است. از سایر خواص این ذرات، پیوندشان به سلول‌های هدف و غیرفعال کردن آنها بدون آسیب رسیدن به سلول‌ها و بافت‌های پیرامونی آن است که در روش‌های درمان سرطان، به ویژه فزون‌گرمایی، نقش اساسی

- [10] Prokop, A., "Magnetic nanoparticle for biomedicine. Intracellular Delivery: Fundamentals and applications", *Fundamental biomedical technologies*. 5, 5-13, (2011).
- [11] Goya, G., Grazú, V., Ibarra, M. R., "Surface functionalized nano-magnetic particles for bio-separation, department of chemical & biomolecular engineering", National university of Singapore. 4, 766, (2014).
- [12] Li, C. M., Wang, Z., Yue, W., Li, R., "Food related applications of magnetic iron oxide nanoparticles: Enzyme immobilization, protein purification, and food analysis", *Food Science & Technology*. 27, 47-50, (2012).
- [13] Zhou, Z., Siyi, P., Xuetuan, W., Wang, I., Li, Y., "Immobilization of B-glucosidase on to magnetic nanoparticles and evaluation of the enzymatic properties", *Bioresources*. 8(2), 2605-2619, (2014).
- [14] Jalal, R., Millani, Z., Goharshadi, E., "Immobilization of α - amylase on to magnetic nanoparticles by shaking method, Department of chemistry", 1st National Iranian Seminar of New Chemistry, 56, Shiraz, Iran, (2011).
- [15] Chen, Y., Tsai, M., Chun, M., Wang, T, and Liu, L., "Covalent immobilization of Bacillus licheniformis γ -glutamyl transpeptidase on aldehyde-functionalized magnetic nanoparticles", *Molecular Sciences*. 14, 4613-4628, (2014).
- [16] Liu, X., Leil, L., Zhu, Y., Eui, H., Ha, H., "Preparation of carriers based on magnetic nanoparticles grafted polymer and immobilization for lipase", *Biochem Eng*. 56, 142-149, (2011).
- [17] Franzreb, M., Siemann-Herzberg, M., Hobley, T., Thomas, O., "Protein purification using magnetic absorbent particles", *Appl microbial Biotechnol*. 70, 505-516, (2006).
- [18] Mialn, G., Sherman, S., "Bacteria- targeting magnetic nanoparticles", *Biological Science*. 10, 734-763, (2014).
- [19] Vashist, S., "Magnetic nanoparticles-based biomedical and bioanalytical applications", *Nanomed Nanotechol*. 4, 2-5, (2013).
- [20] Helder, A., Division, S., "Revolutionizing drug targeting and delivery", *Nanomedicine and drug nanocarries*. 3, 16-20, (2012).
- [21] Ivo, S., Katernia, H., Mirka, S., "Magnetic Nanoparticles for Biomedicine", *Biomedical Technologies*. 5, 5-13, (2015).
- ایفا می‌کند. در صنایع غذایی نیز از خاصیت اتصال ذرات نانو مغناطیس به سلول هدف برای بی‌حرکت کردن و غیر فعال کردن آنزیم استفاده می‌شود. همچنین، از تلفیق استفاده از این ذرات با روش‌های دیگر در صنایع غذایی به خصوص روش ردیابی استفاده فراوان می‌شود. البته برای گسترش کاربرد این ذرات در زمینه‌های زیستی و صنایع غذایی، هنوز هم به تحقیقات و پژوهش‌های بیشتر نیاز است.

مراجع

- [1] Gutierrez, M., Mussons, M., Gaton, P., Rajo, R., "Scientific Health and Social Aspects of the Food Industry", *Nanotechnology and Food Industry*, 7th ed, Spain, July centotechnology, 168-265, (2014).
- [2] Aruah, S., Dutta, J. "Nanotechnology applications in pollution sensing and degradation in agriculture: a review". *Environmental Chemistry Letters*, 7(3), 191-204. (2009)
- [3] Fojtik, A., Horak, A, Pisksova, K., Truny T., Skeren, T., "Magnetic and metallic nanoparticles for biomedical application", *Roznovpodradhostem czechrepublic*. 10, 20-22, (2005).
- [4] Mosivand, S., Lorena, M. A., Kazeminezhad, I., Michael, J., "Influence of growth conditions on magnetite nanoparticles electro-crystallized in the presence of organic molecules", *Molecular Sciences*. 14, 10383-10396, (2013).
- [5] Imit, H., Mikro, I., Allee, G., "Magnetic nanoparticles-based biomedical and bioanalytical applications", *Nanomed Nanotechol*. 4, 2-5, (2013).
- [6] Berry, C. C., Curtis, A. S. "Functionalization of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine", *Physics*. 36, 198-206, (2014).
- [7] Osaka, T., Matsunaga, T., Nakanishi, T., Arakaki, A., Niwa, D., Lida, D., "Synthesis of magnetic nanoparticles and their application to bioassay", *Anal biannal chem*. 38, 593-600, (2006).
- [8] Bahadur, D., Giri, J., Nayak, B., Sriharsha, T., "Processing, properties and some novel applications of magnetic nanoparticles", *Physics*. 4, 663-679, (2005).
- [9] Faraji, M., Yamini, Y., Rezaee, M., "Magnetic nanoparticles: synthesis, stabilization, functionalization, characterization and application", *Iran Chem*. 7, 27-28, (2010).