

بررسی فرآیند جذب اسیدهای چرب به عنوان پوشش بیولوژیک بر روی نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن

فاطمه حاتمی نیا، نفیسه فرهادیان*

گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن یکی از نانو ساختارهای پر کاربرد در زمینه های بیولوژیکی و دارویی هستند که کاربرد گسترده ای در علوم پزشکی دارند. با وجود مزایای بالای این نانو ذرات، آنها دارای معایبی نیز هستند، به عنوان مثال نانو ذرات اکسید آهن بدون پوشش در محیط آبی ایجاد یون می کنند که برای بدن مضر می باشد و در دوز مصرفی بالا سمیت آن بیشتر خواهد بود. همچنین به علت دارا بودن خاصیت مغناطیسی، این نانو ذرات در محلول به یکدیگر چسبیده و رسوب ایجاد می کنند. بنابراین بهبود ساختار سطح این نانو ذرات برای غلبه بر مشکلات فوق ضروری به نظر می رسد. در پژوهش حاضر، به مکانیسم های متفاوت برای پوشش دهی سطح نانو ذرات با استفاده از اسیدهای چرب موجود در روغن های گیاهی پرداخته شده است که علاوه بر بهبود معایب نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن، خود دارای خاصیت دارویی و درمانی نیز هستند و می توانند به عنوان یک مکمل غذایی-دارویی جدید بکار برده شوند.

واژه های کلیدی: نانو ذرات اکسید آهن، اسیدهای چرب، جذب شیمیایی، جذب فیزیکی وان دروالس، کنترل اندازه ذرات، پوشش دهی سطح.

n.farhadian@um.ac.ir : ایمیل نویسنده مسئول

۱- مقدمه

نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن در علوم پزشکی و دارویی مانند: دارورسانی هدفمند، تصویرنگاری ام آر آی، تصویرنگاری مولکولی و ... کاربرد زیادی دارند. تاکنون راهکارهایی همچون استفاده از پوشش های پلیمری و سیلیکا و نیز عاملدار کردن سطح روی نانو ذرات اکسید آهن برای بهبود در پایداری و کاهش سمیت مربوط به اکسید آهن بکار برده شده است. اما این ترکیبات ثانوی خود به تنهایی خاصیت دارویی و بیولوژیکی ذاتی را دارا نیستند. از موارد قابل توجه و مفید در زمینه پوشش دار کردن سطح نانو ذرات مغناطیسی می توان به اسیدهای چرب موجود در روغن های گیاهی مانند روغن کنجد، روغن تخم کدو، روغن زیتون و ... اشاره نمود که دارای خاصیت ضدباکتریایی و ضد سرطانی می باشند. یکی از موارد کاربردی در این زمینه استفاده از روغن تخم کدو در مهار بیماری مربوط به پروستات است که علت اصلی، وجود اسیدهای چرب مونو غیر اشباع مانند پالمیتیک اسید، اولئیک اسید و لینولئیک اسید موجود در آن می باشد [۱]. در مطالعه دیگری، تاثیرات قابل توجهی از ترکیب اولئیک اسید روی

تومورهای سرطان پوست و سینه [۲] و به شکل نانو لیپوزوم^۱ بر روی سرطان سینه به دست آمده است [۳]. ساخت یک سرم تزریقی و بررسی ترکیب آن با اسید لینولئیک و اولئیک اسید و آراکیدونئیک اسید^۲ و دیگر ترکیبات گیاهی برای کاهش اثرات سرطان سینه نیز مورد مطالعه قرار گرفته است و اثرات بهبود بخشی روی سلول های بدخیم داشته است [۴]. اسیدهای چرب غیراشباع از جمله موارد موثر در رژیم کتوژنیک هستند که این رژیم یک رویکرد وابسته به رژیم غذایی برای بهبود صرع مقاوم به درمان در دوران کودکی است [۵]. در جدول ۱ اسیدهای چرب غیر اشباع موجود در روغن های گیاهی همراه با ساختار شیمیایی آنها نشان داده شده است.

هدف این مطالعه بررسی فرآیند جذب اسیدهای چرب موجود در روغن های گیاهی به منظور بهبود در ساختار سطح و خواص نانو ذرات اکسید آهن است. فرآیند جذب به شکل جذب شیمیایی و جذب فیزیکی از نوع وان دروالس (قطبی و یا لاندن) می باشد.

¹ Nanoliposome
² Arachidonic acid

آهن است. این روش از واکنش یونهای فریک و فروس آهن محلول در آب مقطر و یک باز مانند آمونیاک یا سود، به نسبت استوکیومتری^۱ بدست می‌آید. این واکنش در شرایط غیرهوازی و در مجاورت یک گاز خنثی انجام می‌شود. از ترکیبات دیگر آهن، در دمای بالا و محیط بازی در حلالهای آلی نیز استفاده می‌شود. دلیل انتخاب این حلالها و باز مورد استفاده دمای بالای واکنش می‌باشد که باعث می‌شود تا از مواد با دمای جوش بالا استفاده گردد. در روش مستقیم، ابتدا نانوذرات اکسید آهن به روش هم-رسوبی شیمیایی سنتز می‌شوند و به عنوان هسته‌ی اولیه‌ی نانو کریستال‌های مورد بحث در نظر گرفته می‌شوند. بعد از سنتز این نانو ذرات، اسید چرب آزاد و یا محلول آبی نمک آن اسید چرب اضافه می‌شود تا فرآیند بارگیری اسیدهای چرب روی نانوذرات انجام گیرد. در روش غیر مستقیم، اسید چرب یا نمک آن در حین تشکیل رسوب اکسید آهن به محیط واکنش اضافه می‌شود. غلظت آن در تشکیل هسته اولیه اکسید آهن تاثیر می‌گذارد [۱۱]. هسته‌ی اولیه‌ی جذب یک نمک اسید چرب فلزی مثل اولئات آهن است که ابتدا ایجاد می‌شود و بعد در مجاورت گرما و محیط بازی به اکسید آهن تبدیل می‌گردد. در این روش نیز عواملی چون: دما، نسبت اسید چرب به مولهای آهن مصرفی و ... بر روی اندازه هسته اولیه و میزان جذب موثر هستند [۱۲]. قبل از بررسی انواع مختلف مکانیسم‌های فرآیند جذب عوامل موثر در این فرآیند بیان می‌شود:

۳- عوامل موثر بر روی جذب اسیدهای چرب روی نانو ذره اکسید آهن

عوامل مختلفی بر روی میزان جذب اسید چرب روی نانوذره تاثیر گذارند که می‌توان به دما، pH، بار سطح نانوذره، زمان و نسبت اسید چرب به میزان جاذب مصرفی اشاره نمود.

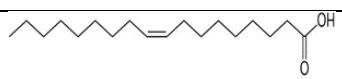
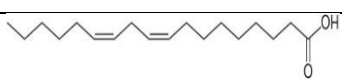
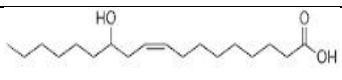
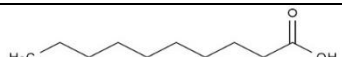
۳-۱- افزایش دما

بررسی اثر دما روی ایزوترم جذب در روش مستقیم نشان می‌دهد که دماهای مختلف در مقدار بارگیری اسید چرب روی نانوذرات اکسید آهن تاثیر زیادی ندارد [۱۳]. اما در روش غیر مستقیم به روش گرمایی دما هرچه بیشتر باشد نانو ذره توسط مقدار اسیدچرب بیشتری پوشش داده می‌شود و ضخامت آن و در نتیجه اندازه نانو ذره افزایش می‌یابد، در اصطلاح این فرآیندها را که در اثر افزایش دما بارگیری پوشش اسید چرب روی آنها افزایش می‌یابد را فرآیند رشد هیدروترمال^۲ نامند [۱۲].

۳-۲- تغییر در pH محلول

در جذب نمک اولئات سدیم روی نانو ذره اکسید آهن ناحیه pH به سه قسمت تقسیم می‌شود: ناحیه ۱ شامل $pH < 7.5$ ، ناحیه ۲ مربوط به $7.5 < pH < 9$ و ناحیه ۳ در $pH > 9$. با توجه به شکل ۲ در ناحیه ۱ میزان جذب ماکسیمم مقدار بوده و تغییر pH تاثیر چندانی بر روی میزان جذب ندارد. در ناحیه ۳ میزان جذب

جدول ۱: اسیدهای چرب غیر اشباع مورد استفاده به عنوان پوشش‌های بیولوژیک بر روی نانو ذرات اکسید آهن

مرجع	ساختار شیمیایی	نام اسید چرب
[۶]		اولئیک اسید
[۷]		لینولئیک اسید
[۸]		لنتیونین
[۹]		ریسینیلیدیک اسید
[۱۰]		دکانوئیک اسید

پوشش‌دهی سطح نانوذرات با این اسیدهای چرب، زیست سازگاری بالایی به این نانو ذرات می‌بخشد. از آن جمله می‌توان به افزایش پتانسیل زتای منفی سطح و به تبع آن کاهش سمیت سلولی در محیط آبی اشاره نمود. با توجه به افزایش بار سطحی این ذرات در مجاورت اسیدهای چرب، به علت ایجاد دافعه الکترواستاتیکی قوی بین ذرات از به هم چسبیدن ذرات مغناطیسی جلوگیری شده که می‌تواند در کنترل اندازه نانوذرات موثر باشد. در ادامه مکانیسم‌های ممکن در جذب اسیدهای چرب روی نانو ذرات اکسید آهن مطابق آنچه در شکل ۱ آمده است و پارامترهای موثر بر روی میزان جذب، بیان می‌شود.



شکل ۱. مکانیسم‌های متفاوت فرآیند جذب روی نانو ذره اکسید آهن

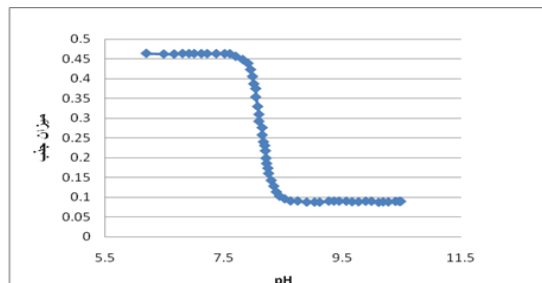
۲- روش‌های جذب اسیدهای چرب و نمک آنها روی نانو ذرات اکسید آهن

قرار گیری اسیدهای چرب بر روی نانو ذرات اکسید آهن به دو شکل انجام می‌شود که در اینجا برای بیان بهتر از عنوان روش مستقیم و روش غیرمستقیم استفاده شده است. در هر دو روش نانو ذرات اکسید آهن با واکنش هم‌رسوبی تشکیل می‌شوند. روش هم‌رسوبی متداول‌ترین روش برای دستیابی به نانو ذرات اکسید

¹ Stoichiometry

² Hydrothermal

مینیمم مقدار بوده و در محدوده بینابین این دو دارای روند کاهشی با افزایش pH است.



شکل ۲. منحنی جذب نمک اولئات سدیم روی نانو ذره اکسید آهن نسبت به تغییرات pH در دمای محیط [۱۴]

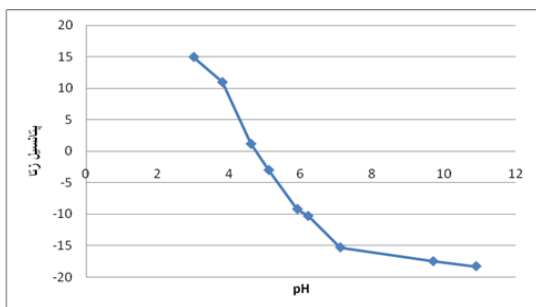
این رفتارها ناشی از ایجاد یک تعادل بین یونهای اولئات و اسید اولئیک می‌باشد که نسبت به تغییرات pH حساس است [۱۴]. با توجه به معادله ۱، هرچه در محیط غلظت H^+ بیشتر شود (محیط اسیدی) تعادل به سمت راست جابه‌جا شده و غلظت اسید چرب آزاد افزایش می‌یابد و با کاهش غلظت H^+ (افزایش pH) تعادل به سمت چپ جابه‌جا می‌شود و غلظت یون $(R-COO^-)$ افزایش می‌یابد. در $pH=3$ محلول نمک اولئات سدیم شامل اسید اولئیک است، در $pH > 9$ فقط یون اولئات وجود دارد و بین این دو pH در محلول هردو گونه حضور دارد [۱۵]. غلظت یون اولئات و یا در حالت کلی یون $(R-COO^-)$ تاثیر قابل توجهی در جذب شیمیایی دارد، هرچه غلظت آن بیشتر باشد احتمال جذب شیمیایی بیشتر می‌شود، چون این جذب از برهمکنش گروه کربوکسیل با سطح نانو ذره اکسید آهن به دست می‌آید. از طرف دیگر در حالت غیر یونی $(RCOOH)$ یا فرم اسید چرب آزاد خاصیت آبریزی به شدت افزایش می‌یابد و پدیده رسوب و انباشتگی^۱ به شکل توده‌های چربی ظاهر می‌گردد، که مانع از جذب می‌گردد.



۳-۳- بار سطحی نانو ذرات

از سوی دیگر میزان بار سطحی نانوذرات، تعیین کننده میزان پایداری آنها در محیط آبی است. هر چه مقدار بار سطحی ذرات بیشتر باشد نیروی رانشی بین ذرات افزایش یافته و تمایل بهم چسبیدن و یا رسوب کردن در آنها کاهش می‌یابد. بارسطحی یا پتانسیل زتا به وسیله اختلاف پتانسیل بین سطح نانو ذره و محیط به دست می‌آید و می‌تواند مقداری با علامت مثبت و یا منفی داشته باشد. چنانچه نانو ذره دارای بار نباشد این مقدار صفر است [۱۶]. علاوه بر این pH محلول بر روی بار سطحی نانو ذره اکسید آهن در محلول آبی تاثیرگذار است. با توجه به شکل ۳ در pH بازی بار سطحی نانوذره منفی و در pH اسیدی بار سطحی مثبت می‌باشد [۱۷]. این امکان وجود دارد که بار سطحی نانو ذرات روی جذب تاثیر داشته باشند. چنانچه نانو ذره اکسید آهن

و گروهی که روی آن جذب می‌شود دارای بار با علامت یکسان باشند دافعه الکترواستاتیک مانع این جذب می‌شود. در اسیدهای چرب که جزو پایدارکننده‌های آنیونی هستند، در ابتدا اینگونه بنظر می‌رسد که بهتر است سطح جاذب دارای بار مثبت باشد تا شرایط جذب بهتری برقرار شود. اما به دلیل اینکه غلظت یون اولئات در pHهای پایین، کم است و یون اولئات به شکل اسیدهای چرب آزاد وجود دارد، در محیط آبی بهم می‌چسبند و جذب شیمیایی به خوبی شکل نمی‌گیرد. لذا بهتر است که در نقطه ایزوالکتریک که نانو ذره اکسید آهن بار سطحی ندارد این جذب صورت گیرد که در pH نزدیک خنثی می‌باشد.



شکل ۳. نمودار تغییرات پتانسیل زتا در سطح نانو ذرات اکسید آهن نسبت به pH محلول [۱۷]

۳-۴- زمان

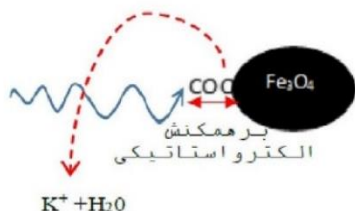
در سنتز نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن به روش غیرمستقیم، واکنش شیمیایی یک پدیده بالقوه در ایجاد هسته‌های اولیه نانو ذرات می‌باشد. بنابراین یک بازه زمانی لازم است تا هسته‌های اولیه نانو بلور ایجاد شوند و نانو بلور رشد کند [۱۲]. در روش مستقیم در سنتز این نانو ذرات با گذشت زمان اندازه نانو بلور بیشتر می‌شود، چون در معرض رشد لایه اسید چرب به عنوان پوشش نانو ذره اکسید آهن قرار دارند و هرچه زمان بیشتری داشته باشند لایه ضخیم تری روی سطح اکسید آهن ایجاد می‌کنند [۱۳].

۳-۵- نسبت اسید چرب به مقدار جاذب مصرفی

در سنتز غیر مستقیم، تاثیر نسبت اسید چرب به مقدار جاذب مصرفی، روی اندازه هسته اولیه نانو ذرات بسیار قابل توجه است، به طوری که هرچه این مقدار کمتر باشد اندازه نانو ذرات بزرگتر می‌شود [۱۲]. در این نوع سنتز هرچه غلظت اسیدهای چرب محیط جذب بیشتر باشد فرآیند هسته زایی مشکل تر می‌شود [۱۸]. نیز در روش مستقیم با افزایش این نسبت غلظت اسیدهای چرب بیشتر می‌شود و جذب بیشتری روی نانوذرات اکسید آهن صورت می‌گیرد. در شکل ۴ افزایش این نسبت باعث جذب بیشتر و کاهش اندازه‌شان داده شده است شده است.

¹ Agglomeration

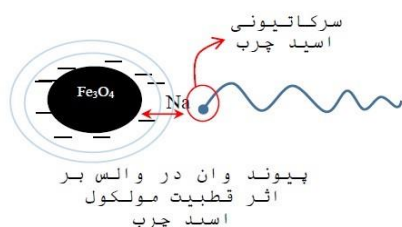
می‌کند [۲۰]. با توجه به اینکه در pHهای بازی بار سطحی نانو ذرات اکسید آهن منفی است و یون کربوکسیل نیز بار منفی دارد بنابراین بهترین حالت این جذب در pHهایی رخ می‌دهد که نانو ذره اکسید آهن بار سطحی نزدیک خنثی دارد [۲۱، ۲۲] و به آن نقطه‌ی ایزوالکتریک گویند که این pH برای نانو ذره اکسید آهن حدود ۷.۴ و برای اولئات سدیم حدود ۴.۳ است [۱۳]. با جذب یون اولئات تعادل یونی (معادله ۱) به سمت تولید این یون پیش می‌رود و جذب بیشتر آن تا مرحله اشباع شدن نانو ذرات اکسید آهن انجام می‌شود. معمولاً در محیط اسیدی به دلیل انباشتگی اسیدهای چرب این فرآیند به خوبی انجام نمی‌شود. جذب اسید-های چرب آزاد روی نانو ذره اکسید آهن در محیط‌های غیر آبی و در کنار یک حلال بازی و آلی ترجیح داده می‌شود [۲۳].



شکل ۵. نمایی از چگونگی تشکیل پیوند شیمیایی بین نانوذره اکسید آهن و نمک اسیدهای چرب در محیط آبی

۴-۲- جذب فیزیکی وان‌دروالس از نوع قطبی

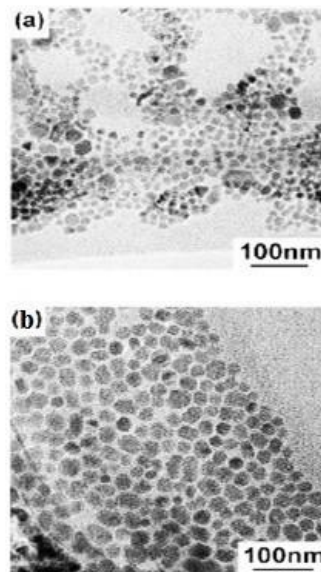
در شرایطی که بار سطحی نانوذره اکسید آهن منفی است و گروه کربوکسیل نیز بار منفی دارد بین این دو هیچ جذب الکترواستاتیکی وجود نخواهد داشت و پیوند یونی برقرار نمی‌شود. در این جذب نمک‌های اسید چرب که یک سر کاتیونی مربوط به یون فلزی دارند مد نظر است، بنابراین بین آنها یک پیوند وان در والس به علت قطبی بودن مولکول ایجاد می‌شود [۱۴]. این جذب در قطبیت بالای مولکول به همان استحکام نیروهای بین مولکولی است، شکل ۶ تصویر بهتری از این جذب را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمایی از چگونگی تشکیل پیوند فیزیکی وان در والس

۴-۳- جذب فیزیکی وان در والس از نوع لاندن

در محیط‌های آبی و در pHهای اسیدی که در آن غلظت یون اولئات کم است، جذب به شکل انباشته شدن اسیدهای چرب آزاد که بیشتر غیرآبدوست هستند، روی نانو ذره ایجاد می‌شود و به



شکل ۴. بارگیری اسیدهای چرب روی نانو ذره اکسید آهن، (a) نسبت مول اسید چرب به آهن معادل ۰.۵، (b) نسبت مول اسید چرب به آهن معادل ۰.۰۵ [۱۲]

۴-بررسی مکانیسم جذب اسیدهای چرب روی نانو ذرات اکسید آهن

جذب اسیدهای چرب و نمک‌های آن روی نانو ذره اکسید آهن در روش مستقیم، در دو نوع شیمیایی و فیزیکی تعریف می‌شود. در نوع شیمیایی برهمکنش‌های الکترواستاتیکی و در نوع فیزیکی برهمکنش‌های وان‌دروالس بین اسید چرب و نانوذره تأثیر گذارند. در ادامه هر یک از این برهمکنش‌ها مورد بررسی قرار گرفته است:

۴-۱- جذب شیمیایی

در این جذب فرض براین است که بین گروه کربوکسیل اسید چرب و نانو ذره اکسید آهن یک پیوند شیمیایی تشکیل می‌شود، یکی از دلایل آن ایجاد اولئات آهن در سطح نانو ذره اکسید آهن است که این پدیده علاوه بر یک واکنش شیمیایی شامل یک واکنش الکتروشیمیایی هم می‌شود [۱۹]. در محیط‌های آبی این نوع پیوند معمولاً در مواردی که نانوذرات اکسید آهن از همان ابتدا در مجاورت گروه کربوکسیل اسید چرب قرار دارد، تشکیل می‌شود و یک کریستال با مرکزیت اکسید آهن از اسیدهای چرب ایجاد می‌گردد. نمک اسیدهای چرب در محیط‌های آبی هیدرولیز می‌شود و گروه کربوکسیل در حین جدا شدن یون سدیم و یا پتاسیم به نانو ذره اکسید آهن می‌چسبد، کاتیون در حین جذب از نمک جدا شده و در محیط آبی به یون هیدروکسیل و یا مولکول آب می‌چسبد (آب پوشیده می‌شود). شکل ۵ به وضوح این پدیده را نشان می‌دهد. یون اولئات تمایل زیادی به جذب شیمیایی روی نانو ذرات از نوع رسوبی در محیط آبی دارد [۱۳] که آنالیز طیف مادون قرمز FTIR این نوع جذب را به صورت شیمیایی تأیید

¹ Fourier transform infrared spectroscopy

که در یک یا دو اندام آشکار می‌گردد و مربوط به یک موضع خاص نمی‌باشد، دارای سمیت سیستمی است. اما سمیتی که باعث کشته شدن سلول در یک موضع خاص می‌شود، سمیت سلولی نامیده می‌شود. سمیت سلولی می‌تواند ذاتی و مربوط به آزاد سازی یون فلزی و گروه هیدروکسیل توسط نانو ذرات باشد که معمولاً شامل فلزات و اکسید آنها می‌شود و یا ناشی از خواص سطحی نانوذره شامل بار سطحی و گروه‌های عاملی باشد. چنانچه بار سطحی نانوذرات مقادیر زیاد مثبت باشد این سمیت بیشتر است و در پتانسیل زتای منفی و خنثی مشاهده نمی‌شود [۲۷]. پایدارکننده‌های آنیونی از جمله اسیدهای چرب پتانسیل زتا را در مقادیر منفی افزایش می‌دهند. مکانیزم‌هایی که در بدن ایجاد سمیت می‌کنند را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

۱-۵ مکانیزم ناشی از ROS:

سمیتی که در اثر واکنش موادی که شامل اکسیژن هستند، با بافت زنده بدن رخ می‌دهد. این نوع سمیت در اثر انتقال الکترون به اکسیژن موجود در بافتهای زنده بدن و ایجاد رادیکال آزاد ایجاد می‌شود، که در نتیجه به بافت بدن آسیب می‌رساند. در اثر پوشش اسید چرب روی نانو ذره اکسید آهن سطح نانو ذره به طور کامل پوشیده می‌شود و در نتیجه نانو ذرات از برهمکنش-های محیطی و آزادسازی یون و الکترون به بافت بدن حفاظت می‌کنند [۲۶].

۲-۵ مکانیزم ناشی از سمیت ذاتی:

سمیتی که دارو در اثر یکسری واکنش در بدن ایجاد می‌کند و به دوز مصرفی دارو بستگی دارد را شامل می‌شود. هرچه دوز مصرفی بیشتر باشد سمیت بیشتر می‌شود [۲۶]. به واسطه افزایش سطح تماس ذرات با اندازه نانو، هرچه اندازه آن کوچکتر باشد میزان جذب افزایش و به تبع آن مقدار مصرفی این اکسید فلزی کاهش می‌یابد.

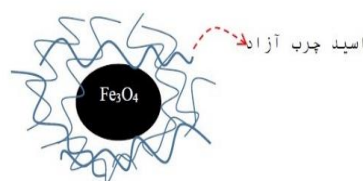
۳-۵ مکانیزم ناشی از آسیب‌های فیزیکی:

این نوع سمیت مربوط به تخریب غشای سلولی به وسیله نفوذ نانو ذرات به علت اندازه کوچک آنها به داخل غشاء سلولی، ایجاد می‌شود. قطر هیدرودینامیکی بزرگ باعث می‌شود که این سمیت کمتر دیده شود، اسیدهای چرب دارای اثرات بالقوه در افزایش قطر هیدرودینامیکی ذرات هستند.

۷-نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی انواع روشهای سنتز نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن دارای پوشش با اسید چرب پرداخته شد. تاثیر پارمترهایی همچون pH، زمان، نسبت اسیدچرب به میزان آهن اولیه و دما در اندازه و توزیع سایز ذرات مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه اسیدهای چرب خواص ساختاری و بیولوژیک نانو ذرات اکسید آهن را به نحو مطلوبی افزایش می‌دهند می‌توانند به شکل گسترده ای در سنتز این نانو ذرات به کار گرفته شوند. از جمله این خواص افزایش بار سطحی منفی نانو

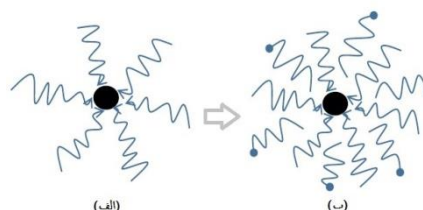
شکل یک لایه روغنی در سطح محیط آبی بر روی نانوذره تجمع پیدا می‌کنند [۱۴]. این نوع جذب فیزیکی، با توجه به اینکه نانو ذرات اکسید آهن غیر آبدوست هستند و تمایل زیادی به رسوب کردن در محیط آبی دارند، از درگیری شاخه‌های هیدروکربنی بر روی نانو ذرات اکسید آهن پدید می‌آید و ممکن است از نوع ضعیف لاندن باشد. چگونگی این نوع جذب و نحوه قرار گیری اسیدهای چرب روی نانو ذرات نشان داده شده است (شکل ۷). pH اسیدی نقطه ایزوالکتریک برای اسید چرب است و همچنین بار سطحی نانو ذرات اکسید آهن مثبت است اما به دلیل نبود یون اولئات جذب شیمیایی رخ نمی‌دهد.



شکل ۷. جذب فیزیکی که از انباشته شدن اسید چرب روی سطح نانو ذرات اکسید آهن در pH های اسیدی

۴-۴ جذب فیزیکی ناشی از تاثیرات غیر آبدوستی

بعد از جذب اولین لایه از اسیدهای چرب که بر اثر خواص الکترواستاتیک و یا قطبیت مولکولها ایجاد می‌شود و بعد از اینکه سطح نانو ذره (هسته اولیه) اشباع شد، بر اثر خاصیت آبدوستی سر کاتیونی اسیدهای چرب به سمت مولکولهای آب قرار گرفته و شاخه‌های هیدروکربنی غیر آبدوست اسید چرب باهم درگیر می‌شوند و دومین لایه از جذب را در محیط آبی ایجاد می‌کنند. تداخل شاخه‌های هیدروکربنی عامل اصلی این جذب می‌باشد (شکل ۸) [۲۴، ۲۵].

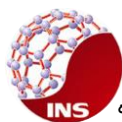


شکل ۸. چگونگی قرار گیری شاخه‌های هیدروکربنی غیر آبدوست در محیط-های آبی (الف) جذب شیمیایی بر روی نانو ذره اکسید آهن در تک لایه اول (ب) جذب فیزیکی در دومین لایه

۵-سمیت مربوط به نانو ذرات اکسید آهن در بدن

یکی از خواص پوشش‌های آلی از جمله اسیدهای چرب کاهش سمیت نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن است. سمیت ایجاد شده توسط نانو ذرات اکسید آهن در بدن به دو دسته سمیت سیستمی و سمیت سلولی تقسیم می‌شود [۲۶، ۲۷]. ماده‌ای که اثرات سمی آن در یک نقطه و در یک محل از بدن دیده نمی‌شود بلکه در تمام اعضای بدن و سیستم‌های آن گسترش می‌یابد، اثراتی

¹ Reactive oxygen species



15. Drzymala, J. and M.M. Kielkowska, *Infrared spectrophotometric analysis of acidified aqueous sodium oleate solutions*. Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy, 1985. **41**(7): p. 949-950.
16. Hanaor, D., et al., *The effects of carboxylic acids on the aqueous dispersion and electrophoretic deposition of ZrO₂*. Journal of the European Ceramic Society, 2012. **32**(1): p. 235-244.
17. Sarkar, A., S.K. Biswas, and P. Pramanik, *Design of a new nanostructure comprising mesoporous ZrO₂ shell and magnetite core (Fe₃O₄@mZrO₂) and study of its phosphate ion separation efficiency*. Journal of Materials Chemistry, 2010. **20**(21): p. 4417-4424.
18. Chen, C.-J., et al., *Preparation of Monodisperse Iron Oxide Nanoparticles via the Synthesis and Decomposition of Iron Fatty Acid Complexes*. Nanoscale Research Letters, 2009. **4**(11): p. 1343-1350.
19. Joseph-Soly, S., K. Quast, and J.N. Connor, *Effects of Eh and pH on the oleate flotation of iron oxides*. Minerals Engineering, 2015. **83**(Complete): p. 97-104.
20. Wu, N., et al., *Interaction of Fatty Acid Monolayers with Cobalt Nanoparticles*. Nano Letters, 2004. **4**(2): p. 383-386.
21. Hajdú, A., et al., *Enhanced stability of polyacrylate-coated magnetite nanoparticles in biorelevant media*. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2012. **94**: p. 242-249.
22. Yu, S. and G.M. Chow, *Carboxyl group (-CO₂H) functionalized ferrimagnetic iron oxide nanoparticles for potential bio-applications*. Journal of Materials Chemistry, 2004. **14**(18): p. 2781-2786.
23. Mahnaz, M., et al., *Synthesis, Surface Modification and Characterisation of Biocompatible Magnetic Iron Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications*. 2013.
24. Wang, Z., S. Xu, and E. Acosta, *Heat of adsorption of surfactants and its role on nanoparticle stabilization*. The Journal of Chemical Thermodynamics, 2015. **91**: p. 256-266.
25. Soares, P.I.P., et al., *Iron oxide nanoparticles stabilized with a bilayer of oleic acid for magnetic hyperthermia and MRI applications*. Applied Surface Science, 2016. **383**: p. 240-247.
26. Mahmoudi, M., et al., *Assessing the in vitro and in vivo toxicity of superparamagnetic iron oxide nanoparticles*. Chem Rev, 2012. **112**(4): p. 2323-38.
27. Krol, S., et al., *Therapeutic Benefits from Nanoparticles: The Potential Significance of Nanoscience in Diseases with Compromise to the Blood Brain Barrier*. Chemical Reviews, 2013. **113**(3): p. 1877-1903.

ذرات است که باعث افزایش پایداری نانو ذرات در محیط آبی و کاهش سمیت این نانو ذرات در داخل بدن است. همچنین به دلیل وجود یک پوشش با زیست سازگاری بالا اثرات سمیت مانند ROS، سمیت سیستمی و سمیت ذاتی نانو ذرات کاهش می‌یابند.

۸-منابع

1. Feng, Y., X.Y. Xia, and Y.F. Huang, [Effects of phytoestrogens on prostate cancer and benign prostatic hyperplasia]. Zhonghua Nan Ke Xue, 2007. **13**(5): p. 457-61.
2. Gustafsson, L., et al., *Treatment of Skin Papillomas with Topical α -Lactalbumin-Oleic Acid*. New England Journal of Medicine, 2004. **350**(26): p. 2663-2672.
3. Jung, S., et al., *Oleic acid-embedded nanoliposome as a selective tumoricidal agent*. Colloids Surf B Biointerfaces, 2016. **146**: p. 585-589.
4. Bialek, A., P. Zagrodzki, and A. Tokarz, *Chemometric analysis of the interactions among different parameters describing health conditions, breast cancer risk and fatty acids profile in serum of rats supplemented with conjugated linoleic acids*. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA), 2016. **106**: p. 1-10.
5. Orbán, C., et al., *Distinct capability of some fats on unsaturated fatty acid and antioxidant enrichment of foods for ketogenic diet purpose*. PharmaNutrition, 2016. **4**(2): p. 39-44.
6. Wikipedia. Oleic acid, Wiki pedia, The Free Encyclopedia. 2016.
7. Chow, C.K., *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*. 2 ed. 1999: CRC Press.
8. Wikipedia. Linoleic acid, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2016.
9. Wikipedia. Ricinoleic acid, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2016.
10. Wikipedia. Decanoic acid, Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2016.
11. Park, J., et al., *Ultra-large-scale syntheses of monodisperse nanocrystals*. Nat Mater, 2004. **3**(12): p. 891-895.
12. Taniguchi, T., et al., *Hydrothermal Growth of Fatty Acid Stabilized Iron Oxide Nanocrystals*. The Journal of Physical Chemistry C, 2009. **113**(3): p. 839-843.
13. Roth, H.-C., et al., *Oleate coating of iron oxide nanoparticles in aqueous systems: the role of temperature and surfactant concentration*. Journal of Nanoparticle Research, 2016. **18**(4): p. 1-12.
14. Xingping, Z., et al., *Adsorption of Sodium Oleate on Nano-sized Fe₃O₄ Particles Prepared by Coprecipitation*. Current Nanoscience, 2007. **3**(3): p. 259-263.