

سنتز، شناسایی و ارزیابی فعالیت‌های پادباکتری فیلم‌های نانوجندسازه جدید کیتوسان/فسفر تری‌آمید/Fe₃O₄

صمد یاراحمدی^۱، نیلوفر درستی^{۲*}، مریم پاس^۳ و عبدالناصر محمدی^۴

۱. دانشجوی کارشناس ارشد گروه شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۲. دانشیار شیمی معدنی، گروه شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳. دانشجوی دکترا گروه شیمی معدنی، دانشکده شیمی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۴. استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

دریافت: بهمن ۱۴۰۱ بازنگری: اسفند ۱۴۰۱ پذیرش: فروردین ۱۴۰۲



10.30495/JACR.2023.1977898.2087



20.1001.1.27835324.2023.17.1.7.5

چکیده

در این پژوهش فیلم‌های نانوجندسازه جدیدی بر پایه کیتوسان-فسفر تری‌آمید با مقادیر متفاوتی از ۱ تا ۵ درصد Fe₃O₄ تهیه شد. نانوذره‌های کروی Fe₃O₄ با اندازه حدود ۱۸ تا ۲۴ نانومتر به روش هم‌رسوبی از نمک‌های FeCl₃.9H₂O و FeCl₂.4H₂O به‌دست آمدند. مشتق فسفر تری‌آمید از واکنش ترشیوبوتیل‌آمین با فسفریل کلرید تهیه شد. الگوی پراش پرتو ایکس XRD، و تصویر برداری SEM از Fe₃O₄، کیتوسان، کیتوسان-فسفر تری‌آمید، و فیلم‌های نانوجندسازه کیتوسان-فسفر تری‌آمید (۱ تا ۵ درصد) Fe₃O₄ بررسی شد. نتیجه‌ها تشکیل فیلم‌های مورد نظر را تایید کرد. افزون‌براین، اندازه و ساختار نانوجندسازه با تغییر بسامد (۳۷ هرتز و ۸۰ هرتز) و قدرت دستگاه فراصوت (۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ وات) بررسی شد. اثر پادباکتری نانوجندسازه و موادسازنده آن بر دو باکتری گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سروئوس) و یک رده باکتری گرم منفی (سودوموناس اثرئوژینوزا) ارزیابی شد. نانوجندسازه با درصد بیشتر Fe₃O₄ بیشترین تاثیر را نشان داد و این اثر بر باکتری گرم مثبت باسیلوس سروئوس بیشتر مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: کیتوسان، فسفر تری‌آمید، نانوذره‌های Fe₃O₄، پادباکتری، نانوجندسازه.

مقدمه

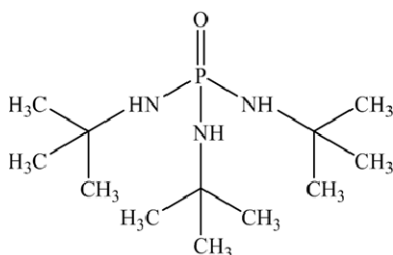
از اوایل ۱۹۹۰ که کیتوسان وارد عرصه داروسازی شد، تیم‌های پژوهشی و دانشگاهی آن را موردتوجه قرار دادند تا سامانه‌های درمانی موثرتری تهیه کنند. در مقایسه با سایر بسپارهای زیست‌تخریب‌پذیر، کیتوسان تنها بسپاری است که ویژگی کاتیونی، آن را نسبت به سایر بسپارها یگانه می‌سازد. کیتوسان، یک پلی‌ساکارید به‌دست‌آمده از استیل‌زدایی پلی‌ساکارید طبیعی کیتین است. که ماهیت زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری و غیرسمی بودن، آن را برای کاربردهای دارویی مناسب می‌سازد [۷ تا ۱۰]. فعالیت پادمیکروبی کیتوسان در برابر باکتری‌ها و قارچ‌ها در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است [۸ و ۹]. اثربخشی فعالیت پادمیکروبی کیتوسان به‌شدت به نوع ریزاندامگان هدف وابسته است. وزن مولکولی و درجه استیل‌زدایی این ماده به‌طورقابل‌توجهی بر فعالیت‌های زیستی آن تاثیرگذار است [۱۰].

نانوذره‌های Fe_3O_4 به دلیل کارایی خوب در حوزه‌های متفاوت پزشکی، تصفیه آب، رنگدانه‌ها، حسگرها و رنگ‌ها موردتوجه قرار گرفته‌اند [۱۱]. پیوند این نانوذره‌ها به بسپارها به‌ویژه بسپارهای قابل‌حل در آب مانند کیتوسان و مشتق‌های آن منجر به افزایش فعالیت زیستی آن می‌شود [۱۲ و ۱۳]. به‌دلیل سازگاری عالی این نانوذره‌ها با ویژگی‌های مطلوب بسپارهای میزبان، نانوکامپوزیت‌های به‌دست آمده می‌توانند برای اهداف مهم تصویربرداری پزشکی و رساندن دارو به‌کارگرفته شوند [۱۴ تا ۱۶]. از نقطه نظر شیمی، اصلاح سطح کیتوسان با Fe_3O_4 منجر به ساختارهای هشت‌وجهی، مکعبی، میله‌مانند، شبه‌کروی، گل‌مانند و دانه‌برنجی با اندازه‌های متفاوت می‌شود [۱۷].

مشتق‌های فسفر تری‌آمید متعلق به خانواده معروف دارویی با ویژگی‌های پادسرطان، پادباکتری، پادقارچ و پادویروس هستند [۱۸ تا ۲۰]. همچنین، این ترکیب‌ها ویژگی‌های مهارکنندگی آنزیمی مانند استیل‌کولین‌استراز و آنزیم اوره‌آز از خود نشان می‌دهند [۲۱ و ۲۲]. برخی از این ترکیب‌ها به‌عنوان مواد پیش‌دارو و واکنشگر برای تولید حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها استفاده می‌شوند [۲]. این مشتق‌ها کاتالیست‌های موثری در واکنش‌های شیمیایی [۲۴]، لیگاند‌های کارآمد در

شیمی هم‌آرایی [۲۵] و از نظر شیمی نظری و مطالعه‌های ساختاری با اهمیت هستند.

در سال‌های اخیر توجه زیادی به تهیه مواد هیبریدی متشکل از بسپارها و ذره‌های مغناطیسی به‌دلیل بهبود ویژگی‌های زیستی بسیار در کاربردهای دارویی معطوف شده است. بنابراین، با توجه به برشمردن اهمیت ترکیب‌های یادشده، در این پژوهش، مشتقی از ترکیب فسفر تری‌آمید با فرمول $P(O)(NHC(CH_3)_3)_3$ (شکل ۱) در دو مقیاس توده‌ای و نانو، تهیه و شناسایی شد. در ادامه چندسازه‌ای از کیتوسان/فسفر تری‌آمید تهیه و سپس درصد‌های متفاوتی از Fe_3O_4 برای اصلاح سطح به چندسازه با هدف افزایش و بهبود ویژگی‌های هرکدام از مواد افزوده شد. نانوجندسازه تهیه‌شده جدید با روش‌های FTIR، XRD، SEM، EDS و VSM شناسایی شد. فعالیت پادباکتری نانوجندسازه جدید کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4 ارزیابی شد.



شکل ۱ ساختار فسفر تری‌آمید $P(O)(NHC(CH_3)_3)_3$

بخش تجربی

مواد و روش کار

مواد شیمیایی و حلال‌های مورداستفاده در این پژوهش با خلوص بالا از شرکت مرک بودند، و هیچ خلوص‌سازی دوباره‌ای بر واکنشگرها انجام نشد. طیف‌های فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) در حالت جامد و با تهیه قرص پتاسیم برمید و طیف‌سنج مدل Shimadzu-8500 S به‌دست آمده‌اند. برای ریخت‌شناسی ذره‌ها و بررسی خلوص نمونه از میکروسکوپ

میلی لیتر استیک اسید ۳۰:۷۰ (۷ میلی لیتر آب مقطر، ۳ میلی لیتر استیک اسید) افزوده شد. این مخلوط ۳۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار داده شد سپس، نانوفسفر تری آمید تهیه شده در مرحله پیشین به کیتوسان (۱٪) افزوده و ۲ ساعت دیگر در حمام فراصوت قرار داده شد.

سنتر نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 به روش هم رسوبی

۲ میلی مول (۰/۶۴۸ گرم) نمک $FeCl_3 \cdot 9H_2O$ و یک میلی مول (۰/۱۹۸ گرم) $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ در ۳۰ میلی لیتر آب مقطر یون زدوده حل شد. پس از افزایش ۵ میلی لیتر آمونیاک، pH محلول تنظیم (pH = 10) و رسوب سیاه رنگی تشکیل و مخلوط به مدت یک ساعت در دمای $80^\circ C$ هم زده شد. رسوب به دست آمده سه بار با اتانول و آب مقطر شسته شد [۲۶].

فیلم های نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری آمید/ Fe_3O_4

سه مقدار متفاوت (۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۵ گرم) از نانوذره های مغناطیسی آهن اکسید تهیه شده به ظرف حاوی ۱۰ میلی لیتر کیتوسان / فسفر تری آمید افزوده شد. پس از آن، ظرف واکنش به مدت ۲ ساعت در یک حمام فراصوت (با توان ۳۰ W، دمای $45^\circ C$ و بسامد ۸۰ Hz) قرار داده شد تا یک ژل گران رو قهوه ای همگن ایجاد شود. برای تهیه فیلم های نانوجندسازه، مخلوط های همگن درون ظرف ریخته شدند و به آن ها اجازه داده شد تا خشک شوند و فیلم های نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری آمید (۱، ۲/۵، ۵ درصد) Fe_3O_4 ، مورد نظر به دست آمدند.

بررسی اثر پایداری

باکتری های مورد استفاده در این پژوهش دارای کد ATCC^۳ بودند که از آزمایشگاه مرجع میکروبی شناسی وزارت بهداشت (بیمارستان بوعلی تهران) تهیه و در فریزر ذخیره شدند. یک کلون از هر سوش در محیط کشت نوترینت آگار کشت داده و شناسایی شد. سوش های مورد استفاده عبارت بودند از استافیلوکوکوس اورئوس (ATCC43300)، سودوموناس اثرژیوزا (ATCC 27853) و باسیلوس سروئوس (ATCC 11778).

الکترونی روبشی (SEM) مدل Mira3 Tescan مجهز به تجهیزات EDS استفاده شد. نمونه های خشک شده برای بررسی در میکروسکوپ الکترونی روبشی با یک لایه نازک از طلا پوشانده شدند. دستگاه فراصوت مدل Elmasonic P 30 H با بسامد ۳۷/۸۰ Hz برای تهیه نانوذره ها به کار گرفته شد. الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) ترکیب ها با استفاده از دستگاه مدل STADIP-GERMANY، STOEC با تابش تک فام CuK_{α} ، به دست آمد. مغناطیس سنجی نمونه ارتعاشی (VSM) نمونه های سنتز شده با دستگاه Meghnatis Daghigh Kavir Co., Iran با بیشینه میدان مغناطیسی 10 kOe در دمای اتاق انجام شد.

سنتر و شناسایی

در این پژوهش ابتدا ترکیب فسفر تری آمید $P(O)(NHC(CH_3)_3)_3$ و نانوذره های مغناطیسی Fe_3O_4 تهیه و سپس با روش صوت کافت^۲ نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری آمید/۱ تا ۵ درصد Fe_3O_4 تهیه و ویژگی های طیفی و ساختاری آن ها مطالعه شد.

سنتر فسفر تری آمید $P(O)(NHC(CH_3)_3)_3$

۶ میلی مول (۰/۴۳۸ گرم) ترشیوبوتیل آمین قطره قطره به ۱ میلی مول (۱/۵۳ گرم) محلول $POCl_3$ در ۱۰ میلی لیتر تولوئن، در حمام یخ افزوده شد. واکنش برای ۶ ساعت ادامه یافت و سپس رسوب حاوی نمک $C(CH_3)_3NH_2 \cdot HCl$ و ترکیب $P(O)(NHC(CH_3)_3)_3$ جدا شد. پس از خشک شدن برای سازی نمک، رسوب با آب مقطر شسته شد.

سنتر نانوفسفر تری آمید

در این پژوهش، از روش بالا به پایین برای تهیه این نانوترکیب استفاده شد. از این رو، ۰/۵ میلی مول (۰/۱۳۱ گرم) از فسفر تری آمید تهیه شده در ۵ میلی لیتر اتانول حل و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام فراصوت قرار داده شد.

تهیه چندسازه کیتوسان/فسفر تری آمید

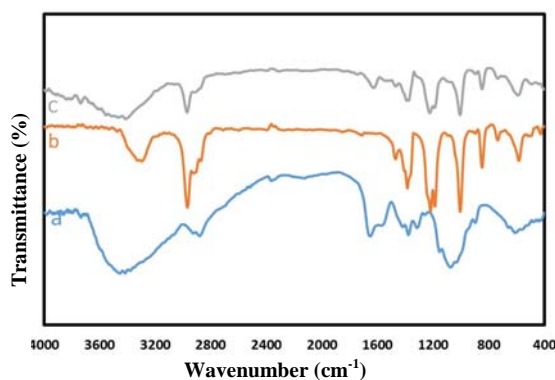
۰/۱ گرم پودر کیتوسان (با جرم مولکولی بالا، Da ۳۷۵۰۰۰-۳۱۰۰۰۰ و درجه استیل زدایی (۷۵٪) به ۱۰

1. Vibrating sample magnetometry (VSM)

2. Sonolysis

3. American type and culture collection

مطالعه‌های طیفی نانوجندساز کیتوسان/فسفر تری‌آمید
 طیف کیتوسان در شکل ۳-a مشاهده می‌شود. نوارهای
 مربوط به ارتعاش‌های کششی OH در 3414 cm^{-1} و NH در
 3238 cm^{-1} مشاهده شد. ارتعاش کششی C=O در ناحیه cm^{-1}
 1628 ، و ارتعاش خمشی NH در 1547 cm^{-1} پدیدار شده
 است. افزون‌برآن، برای ارتعاش C-N آمینی، ارتعاش کششی
 C-O و ارتعاش کششی C-O-C به ترتیب نوارهایی در نواحی
 1470 cm^{-1} ، 1193 cm^{-1} و 1006 cm^{-1} قابل مشاهده است.
 طیف ۳-b، گروه‌های عاملی نانوفسفر تری‌آمید با فرمول
 $\text{P(O)(NHC(CH}_3)_3)_3$ را نشان می‌دهد. این ترکیب یک نوار
 جذبی در ناحیه 3298 cm^{-1} مربوط به NH و یک نوار جذبی در
 1219 cm^{-1} مربوط به P=O دارد و همچنین، گروه‌های کربنی
 CH_3 در 1385 cm^{-1} پدیدار می‌شوند. همچنین، طیف
 نانوجندساز کیتوسان/فسفر تری‌آمید در شکل ۳-c نشان داده
 شده است. نوار جذبی ناحیه 3414 cm^{-1} مربوط به NH نسبت
 به ترکیب‌های پیشین مقداری تفاوت نشان داده است و در
 گستره 1300 تا 1700 cm^{-1} نوارهای جذبی مربوط به C=N و
 C-N تغییر یافته است. نوار جذبی مربوط به P=O که یک
 عامل مشخص‌کننده است در گستره 1219 cm^{-1} پدیدار شده
 است.



شکل ۳ طیف‌های FTIR کیتوسان (a)، نانوفسفر تری‌آمید (b)،
 نانوجندساز کیتوسان/فسفر تری‌آمید (c)

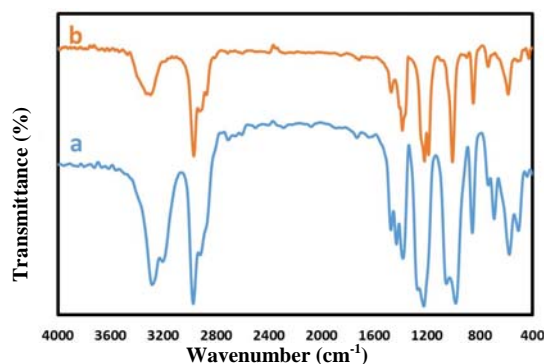
با استفاده از سواب سترون از کلنی باکتری موردنظر
 برداشته و در محلول سرم کاراندام‌شناسی یا محیط کشت مولر
 هینتون مایع حل شد. محلول به‌دست‌آمده به مدت ۱ ساعت در
 گرم‌خانه 37°C قرار داده شد. با مقایسه کدورت ایجادشده و
 استاندارد نیم‌مک فارلند ادامه آزمون انجام شد، بدین صورت که
 اگر کدورت‌ها یکسان بود با سواب سترون دیگری از محلول
 یادشده برداشته و بر محیط کشت مولر هینتون آگار کشت شد،
 به‌طوری‌که همه سطح به باکتری آغشته شود. پس از ۲ تا ۵
 دقیقه به صورت کامل سترون، مقدار 0.04 گرم از هر یک از
 ترکیب‌های تهیه‌شده، با رعایت فاصله بین ترکیب‌ها بر محیط
 کشت قرار داده شد. صفحه به مدت ۲۴ ساعت در دمای 37°C
 قرار داده و پس از این مدت قطر هاله عدم رشد با خط‌کش
 اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها سه بار تکرار شد.

نتیجه‌ها و بحث

طیف‌سنجی FTIR

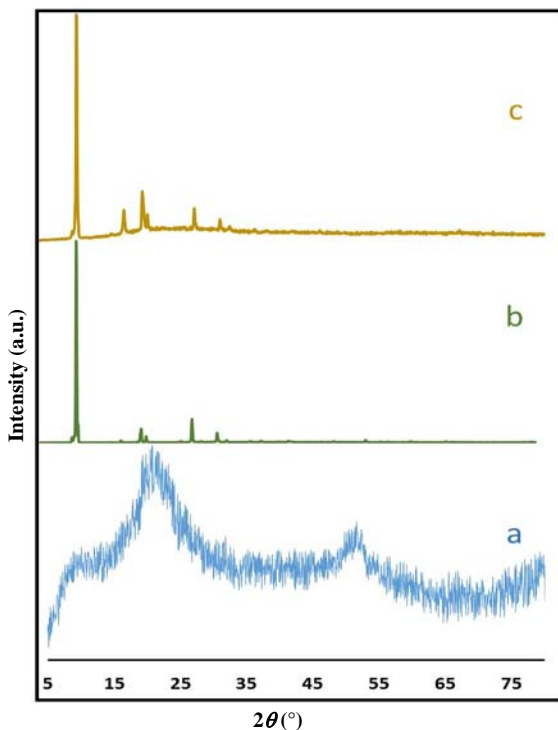
مطالعه طیفی ترکیب فسفر تری‌آمید در دو مقیاس تهیه‌شده

مقایسه مشتق فسفر تری‌آمید در مقیاس توده‌ای و نانو با
 طیف‌سنجی FTIR انجام شد. نوارهای مربوط به گروه‌های عاملی
 آن‌ها به‌طور کامل باهم همخوانی دارند. گروه عاملی NH در cm^{-1}
 3298 و نوار جذبی 1219 cm^{-1} مربوط به P=O است. همچنین،
 گروه‌های متیل در 1380 cm^{-1} به‌خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲ طیف‌های FTIR فسفر تری‌آمید (a) و نانوفسفر تری‌آمید (b)

کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4 در شکل ۵ آورده شده است. الگوی a مربوط به فیلم کیتوسان است و یک قله مشخصه را در 2θ برابر با 20° نشان می‌دهد که به دلیل ساختار بسیار آریخت آن است. الگوی b، پراش پرتو ایکس فسفر تری‌آمید را نشان می‌دهد. قله‌های تیز در 2θ برابر با 10.52° ، 20.28° ، 27.88° و 31.72° به دلیل بلورینگی بالا در الگو مشاهده می‌شود. الگوی پراش c مربوط به ترکیب نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید مشخص‌کننده قله‌هایی در 2θ برابر با 10.58° ، 17.42° ، 20.32° ، 28.02° و 31.72° است که پهن‌شدگی آن‌ها مشخص‌کننده تشکیل ترکیب است. تکرار پیک‌های فسفر تری‌آمید در کنار قله‌های کیتوسان نشان‌دهنده تشکیل نانوجندسازه است.



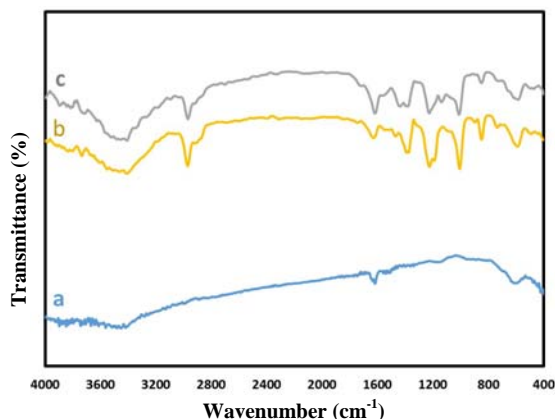
شکل ۵ الگوهای پراش پرتو ایکس کیتوسان (a)، فسفر تری‌آمید (b)، کیتوسان/فسفر تری‌آمید (c)

الگوهای پراش ترکیب کیتوسان/فسفر تری‌آمید (۱)، 20.5° ، 28° درصد Fe_3O_4 در شکل ۶ نشان داده شده است.

سال هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

مطالعه‌های طیفی نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید / Fe_3O_4

شکل ۴-a، طیف نانوذره‌های Fe_3O_4 را نشان می‌دهد که یک نوار جذبی در ناحیه 3414 cm^{-1} مربوط به OH دارد. همچنین، یک نوار جذبی در ناحیه 602 cm^{-1} مربوط به Fe-O است. طیف b در شکل ۴ مربوط به ترکیب نانوجندسازه کیتوسان- فسفر تری‌آمید است. شکل ۴-c، طیف ترکیب کیتوسان/فسفر تری‌آمید (۵٪ Fe_3O_4) را نشان می‌دهد که در آن یک نوار جذبی در ناحیه 3410 cm^{-1} مربوط به OH، پدیدار شده است که با پیک پدیدار شده در Fe_3O_4 همخوانی دارد و در NH در گستره 3352 cm^{-1} با اندک تفاوتی نسبت به نوارهای پدیدار شده در کیتوسان، نمایان شده است. یک نوار جذبی در ناحیه 1620 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی C-N در کیتوسان است که نشان‌دهنده برهم‌کنش بین ذره‌های Fe_3O_4 با کیتوسان و تشکیل نانوجندسازه است. نوار ناحیه 1567 cm^{-1} بیانگر ارتعاش خمشی NH است. همچنین، یک نوار جذبی در گستره 649 cm^{-1} مربوط به Fe-O است.



شکل ۴ طیف‌های FTIR نمونه‌های Fe_3O_4 (a)، نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید (b)، نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4 (c)

پراش پرتو ایکس XRD

الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD) برای کیتوسان، فسفر تری‌آمید، فسفر تری‌آمید-کیتوسان و نانوجندسازه

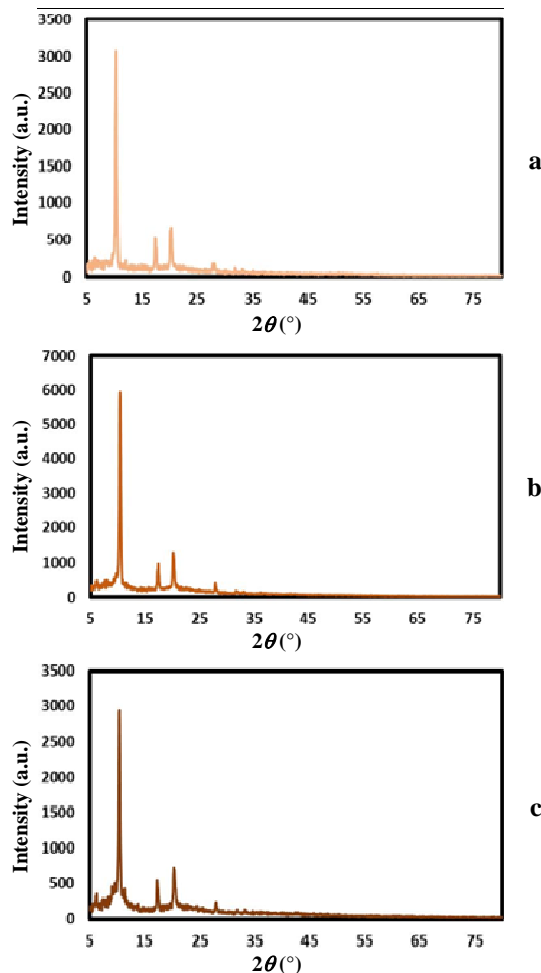
نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC)

پیک‌های مشخصه آن در 2θ برابر با $11/17$ ، $20/18$ و $68/38^\circ$ پدیدار شده است. همان‌طور که در الگوها مشخص است، قله $10/43^\circ$ یک قله بلند است. با افزایش مقدار Fe_3O_4 به ۵٪ پیک‌های مشخصه مربوط تا حدی پهن شده‌اند.

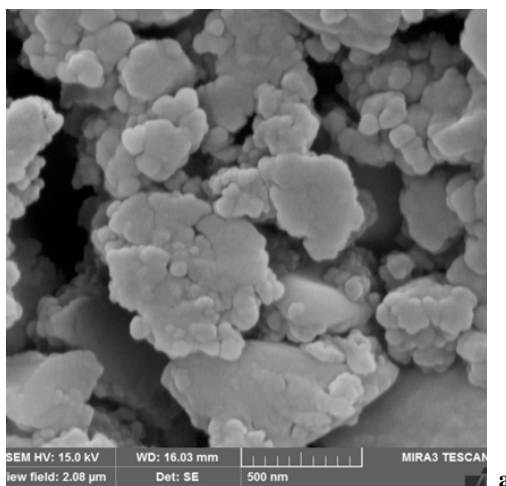
بررسی تصویرهای SEM ترکیب‌ها

برای ریخت‌شناسی ترکیب‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. شکل ۷ ترکیب کیتوسان خالص را در بسامد ۳۷ هرتز نشان می‌دهد. ذره‌های کیتوسان به شکل صفحه‌های مسطح و یکنواخت است. همچنین، تصویر SEM ترکیب‌های نانوفسفر تری‌آمید تهیه‌شده در بسامدهای ۳۷ و ۸۰ را هرتز نشان می‌دهد. ذره‌های تهیه‌شده در بسامد ۳۷ هرتز کروی، مکعبی و نامنظم هستند. همان‌طور که در تصویرها مشخص است ذره‌ها ریخت یکنواختی ندارند. نانوذره‌های فسفر تری‌آمید تهیه‌شده در بسامد ۸۰ Hz به صورت کروی هستند (شکل ۷-۱) و یکنواختی خوبی در ریخت ذره‌ها مشاهده می‌شود. در شکل ۸ تصویرهای SEM برای Fe_3O_4 ، کیتوسان/فسفر تری‌آمید (۱، ۲/۵، ۵ درصد) آورده شده است. در شکل ۸-a ذره‌های Fe_3O_4 کروی با اندازه ذره‌های بین ۱۸ تا ۲۷ نانومتر به خوبی قابل مشاهده است. توزیع ذره‌ها به صورت یکنواخت و مقایسه آن با نمونه‌های تهیه‌شده در دیگر پژوهش‌ها به‌طور کامل همخوانی دارد [۱۲].

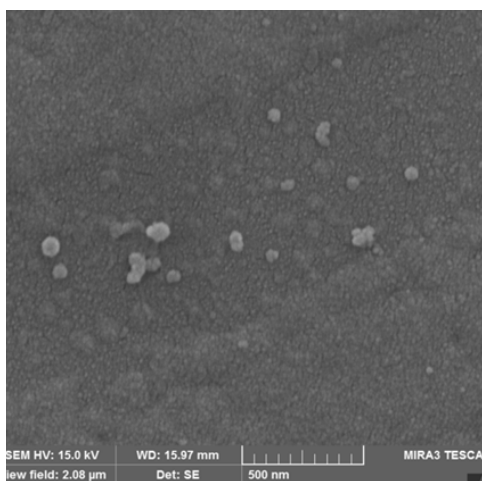
در شکل‌های ۸-b و ۸-d، تصویرهای SEM نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید (۱، ۲/۵، ۵ درصد) Fe_3O_4 را پس از بهینه‌سازی شرایط دستگاه حمام فراصوت در توان ۳۰، بسامد ۸۰ هرتز و دمای $45^\circ C$ ، نشان می‌دهد. توزیع ذره‌های Fe_3O_4 کروی شکل با اندازه ۱۴ تا ۲۴ نانومتر بر بستر کیتوسان/فسفر تری‌آمید نشان‌دهنده تشکیل ترکیب نانوجندسازه است.



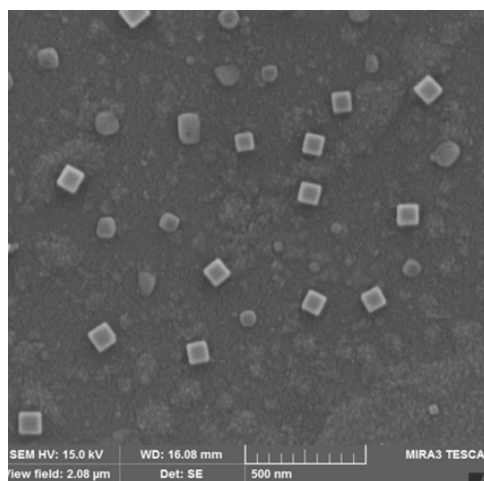
شکل ۶ الگوهای پراش پرتو ایکس برای نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4 با درصد‌های متفاوت Fe_3O_4 (۱٪ (a)، ۲/۵٪ (b) و ۵٪ (c))



a

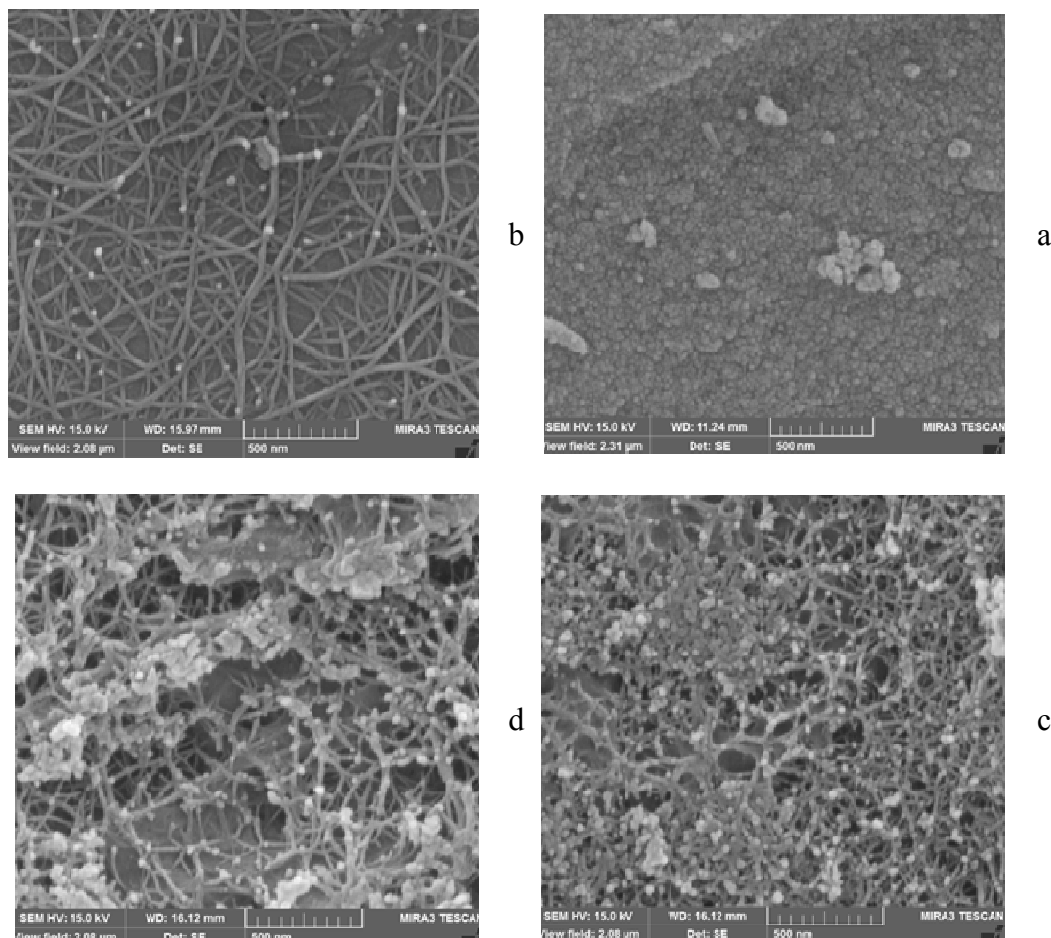


c



b

شکل ۷ تصاویرهای SEM ترکیب کیتوسان تهیه شده در بسامد ۳۷ هرتز (a) و نانوفسفر تری آمید تهیه شده در دو بسامد ۳۷ (b) و ۸۰ هرتز (c)



شکل ۸ تصویرهای SEM مربوط به Fe_3O_4 (a)، (b-d) کیتوسان/فسفر تری‌آمید (۱، ۲/۵، ۵) Fe_3O_4 (b تا d) تهیه شده با بسامد ۸۰ هرتز و توان ۳۰ وات

تری‌آمید/ Fe_3O_4 نیز توزیع یکنواخت همه عناصر را در سرتاسر نمونه به خوبی نشان داد.

VSM ترکیب‌ها

ویژگی مغناطیسی نانوچندسازه با روش VSM بررسی شد. شکل ۹ نمودار مغناطیسی شدن در میدان خارجی برای نانوچندسازه و نانوذره‌های Fe_3O_4 را نشان می‌دهد. این منحنی‌ها در دمای محیط ثبت شده‌اند و نشان می‌دهند که هر دو ماده ویژگی فرومغناطیسی دارند. همان‌طور که انتظار می‌رود مقادیرهای سیرشدگی مغناطیسی (emu/g) Ms، برای چندسازه

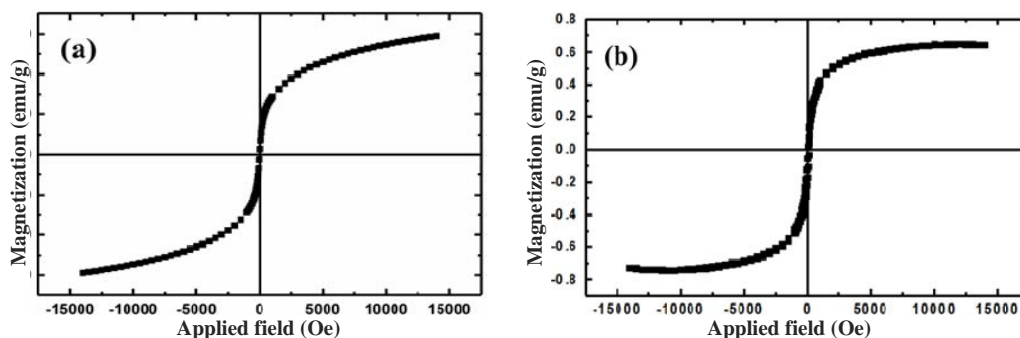
مطالعه EDS نانو ذره‌های Fe_3O_4 و نانوچندسازه

کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4

در این پژوهش، مطالعه‌های EDS برای تجزیه عنصری نانوچندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4 به کار گرفته شد. در طیف‌های EDS پیک‌های O، Fe، N، C و P اجزای اصلی کیتوسان/فسفر تری‌آمید و Fe_3O_4 به خوبی مشاهده شد. افزون‌براین، عنصرهای P و Fe به ترتیب در حدود ۲/۱ Kev و ۰/۵۳ در طیف نشان‌دهنده حضور فسفر تری‌آمید و نانوذره‌های Fe_3O_4 در سطح کیتوسان بود. همچنین، نقشه عناصر موجود در نانوذره‌های Fe_3O_4 و نانوچندسازه کیتوسان/فسفر

فرایندها و عامل‌های زیادی مانند وجود لایه‌های مرده مغناطیسی (مانند لایه‌های اکسیدی) و وجود اسپین‌های مورب بر سطح ذره‌ها و نیز از افزایش تفاوت بین انرژی ناهمسانگردی سطحی و انرژی ماندگاری حجمی ناشی می‌شود. مقدار Ms کمتر چندسازه می‌تواند به درصد کم Fe_3O_4 و حضور کیتوسان و فسفر تری‌آمید نسبت داده شود که فاقد ویژگی مغناطیسی هستند.

(0.64 emu/g) نسبت به Fe_3O_4 خالص (29.48 emu/g) کاهش یافته است. مقدار درجه سیرشدگی مغناطیسی به عامل‌های زیادی مانند غیراستوکیومتری بودن نمونه و مقدار کمبود آهن و اندازه نانوذره‌ها برمی‌گردد [۱۴ و ۲۷]. برخی مطالعه‌ها نشان داده‌اند که نسبت سطح به حجم و بروز اثرات سطحی قابل‌توجه در نانوذره‌ها در مقایسه با ساختارهای درشت و توده‌ای منجر به کاهش مقدار درجه سیرشدگی مغناطیسی نانوذره‌ها می‌شود. این کاهش درجه سیرشدگی مغناطیسی از



شکل ۹ منحنی‌های VSM ترکیب Fe_3O_4 (a) و نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید/۵٪ Fe_3O_4 (b)

می‌یابد. با افزودن درصد‌های متفاوتی از نانوذره‌های آهن مشاهده شد، نانوجندسازه مغناطیسی تهیه‌شده در مقابل باکتری‌های گرم مثبت و منفی انتخاب شده، قطر هاله و اثر مهارکنندگی بیشتری نشان می‌دهند که به خوبی با بررسی این اثر به فیلم دیگری از کیتوسان/فسفر تری‌آمید همخوانی دارد. نانوجندسازه کیتوسان/فسفر تری‌آمید/۵٪ Fe_3O_4 بیشترین تاثیر را در مقابل باکترهای باسیلوس سروئوس و سودوموناس اثرورژینوزا در مقایسه با پژوهش‌های پیشین از خود نشان می‌دهد [۲۸].

مطالعه‌های پادباکتری

نتیجه‌های بررسی ویژگی پادباکتری کیتوسان، فسفر تری‌آمید، کیتوسان/فسفر تری‌آمید، Fe_3O_4 ، کیتوسان/فسفر تری‌آمید/ Fe_3O_4 تهیه‌شده در این پژوهش نسبت به دو رده باکتری استافیلوکوکوس اورئوس، باسیلوس سروئوس (گرم مثبت) و یک رده باکتری سودوموناس اثرورژینوزا (گرم منفی) در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. کیتوسان در برابر باکتری‌های گرم مثبت انتخاب‌شده ویژگی پادباکتری متوسطی از خود نشان می‌دهد. با افزودن فسفر تری‌آمید و تشکیل نانوجندسازه در این مطالعه، ویژگی پادباکتری آن در برابر باکتری گرم منفی افزایش

جدول ۱ نتیجه‌های مطالعه پادباکتری نمونه‌ها

باکتری			نمونه
استافیلوکوکوس اورئوس	باسیلوس سروئوس	سودوموناس اثرژی‌نوزا	
۱۳	۱۰	۷	کیتوسان
۷	۷	۷	فسفرتری‌آمید
۱۰	۷	۱۰	کیتوسان/فسفرتری‌آمید
۶	۶	۶	Fe ₃ O ₄ NPs
۱۰	۱۳	۱۰	کیتوسان/فسفرتری‌آمید/ 1% Fe ₃ O ₄ NPs
۱۲	۲۰	۱۴	کیتوسان/فسفرتری‌آمید/ 2.5% Fe ₃ O ₄ NPs
۱۵	۲۵	۱۷	کیتوسان/فسفرتری‌آمید/ 5% Fe ₃ O ₄ NPs

انتخاب‌شده، ویژگی پادباکتری بالایی از خود نشان می‌دهد و بیشترین تاثیر این چندسازه جدید بر باکتری گرم مثبت باسیلوس سروئوس مشاهده شد.

سیاسگزاری

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی دانشگاه لرستان در راستای انجام پایان‌نامه‌های دانشجویی صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نانوذره‌های فسفرتری‌آمید کروی شکل بر صفحه‌های کیتوسان نشانده شد. پس از افزودن درصدی متفاوتی (۱، ۲/۵، ۵ درصد) از نانوذره‌های Fe₃O₄، نانوجند سازه‌ای از ذره‌های Fe₃O₄ کروی شکل با اندازه ۱۴ تا ۲۴ نانومتر بر بستر کیتوسان/فسفرتری‌آمید در بسامد ۸۰ هرتز و توان ۳۰ وات به دست آمد. افزون‌براین، مشخص شد نانوجندسازه کیتوسان/فسفرتری‌آمید (۵٪) در مقابل دو رده باکتری گرم مثبت و یک رده باکتری گرم منفی

مراجع

- [1] Bernkop-Schnürch, A.; Dünhaupt, S.; European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 81, 463-469, 2012.
- [2] Kou, S.; Peters, L.; Mucalo, M.; International Journal of Biological Macromolecules 169, 85-94, 2021.
- [3] Aranaz, I.; R. Alcántara, A.; Concepción Civera, M.; Arias, C.; Elorza, B.; Heras Caballero, A.; Acosta, N.; Polymers 13, 3256-3283, 2021.
- [4] Mukheem, A.; Shahabuddin, S.; Akbar, N.; Miskon, A.; Muhamad Sarih, N.; Sudesh, K.; Ahmed Khan, N.; Saidur, R.; Sridewi, N.; Nanomaterials 9, 645- 659, 2019.
- [5] Li, J.; Zhuang, S.; European Polymer Journal 138, 109984-109996, 2020.
- [6] Wang, W.; Meng, Q.; Li, Q.; Liu, J.; Zhou, M.; Jin, Z.; Zhao, K.; International Journal of Molecular Sciences 21, 513-513, 2020.
- [7] Ke, C.; Deng, F.; Chuang, C.; Lin, C.; Polymers 13(6), 904-925, 2021.
- [8] Mukheem, A.; Shahabuddin, S.; Akbar, N.; Miskon, A.; Muhamad Sarih, N.; Sudesh, K.; Ahmed Khan, N.; Saidur, R.; Sridewi, N.; Nanomaterials 9, 645, 2019.
- [9] Abd El-Hack, M.E.; El-Saadony, M.T.; Shafi, M.E.; Zabermaawi, N.M.; Arif, M.; Batiha, G.E.; Khafaga, A.F.; Abd El-Hakimi, Y.M.; Al-Sagheer, A.A.; International Journal of Biological Macromolecules 164, 2726-2744, 2020.
- [10] Ke, C.L.; Deng, F.S.; Chuang, C.Y.; Lin, C.H.; Polymers 13, 904-925, 2021.

- [11] Saeb, M.R.; Nonahal, M.; Rastin, H.; Shabaniyan, M.; Ghaffari, M.; Bahlakeh, Gh.; Ghiyasi, S.; Ali Khonakdarg, H.; Goodarzi, V.; Vijayan P, P.; Puglia, D.; *Progress in Organic Coatings* 112, 176–186, 2017.
- [12] Zhu, A.; Yuan, L.; Dai, S.; *J. Phys. Chem. C* 112, 5432-5438, 2008.
- [13] Qu, J.; Liu, G.; Wang, Y.; Hong, R.; *Advanced Powder Technology* 21, 461–467, 2010.
- [14] Zhi, J.; Wang, Y.; Lu, Y.; Ma, J.; Luo, G.; *React. Funct. Polym.* 66, 1552-1558, 2006.
- [15] Mukred Saeed, R.; Dmour, I.; O. Taha, M.; *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 8, 2020.
- [16] Le, T.; Du Nguyen, H.; Ngoc Linh Nguyen, T.; Vuong Nguyen, T.; Thi Hong Tuyet, T.; P.; Hai Hoa Nguyen, T.; Thang Nguyen, Q.; Ha Hoang, T.; Chien Dang, T.; Le Minh, B.; Trong Lu, L.; Duong La, D.; V. Bhosale, S.; Lam Tran, D.; *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 20, 5338–5348, 2020.
- [17] Jouyandeh, M.; Paran, S.M.R.; Shabaniyan, M.; Ghiyasi, S.; Vahabi, H.; Badawi, M.; Formela, K.; Puglia, D.; Saeb, M.R.; *Progress in Organic Coatings* 123, 10–19, 2018.
- [18] Gholivand, Kh.; Rajabi, M.; Dorosti, N.; Molaee, F.; *Appl. Organometal. Chem*, 29, 739–745, 2015.
- [19] Dorosti, N.; Delfan, B.; Gholivand, K.; Ebrahimi Valmoozi, A. A.; *Medicinal Chemistry Research* 25, 769-789, 2016.
- [20] Gholivand, Kh.; Faraghi, M.; K. Tizhoush, S.; Ahmadi, S.; Yousefian, M.; Mohammadpanah, F.; Roe, S. M.; *New Journal of Chemistry* 46, 18326-18335, 2022.
- [21] Gholivand, Kh.; Pooyan, M.; Mohamadpanah, F.; Pirastefar, F.; Junk, P.C.; Wang, J.; Ebrahimi Valmoozi, A. A.; Mani-Varnosfaderani, A.; *Bioorganic Chemistry* 86, 482-493, 2019.
- [22] Gholivand, Kh.; Mohammadpanah, F.; Pooyan, M.; Ebrahimi Valmoozi, A.A.; Sharifi, M.; Mani-Varnosfaderani, A.; Hosseini, Z.; *Biochemistry and Physiology* 157, 122-137, 2019.
- [23] Gholivand, Kh.; Rahimzadeh Dashtaki, M.; Alavinasab Ardebili, S.A.; Mohammadpour, M.; Ebrahimi Valmoozi, A.A.; *Journal of Molecular Structure* 1240, 130528, 2021.
- [24] Liu, S.; Zhang, Z.; Xie, F.; A. Butt, N.; Sun, L.; Zhang, W.; *Tetrahedron: Asymmetry* 23, 329–332, 2012.
- [25] Gholivand, Kh.; Molaee, F.; Hosseini, M.; *Acta Crystallographica Section B* 71, 176–185, 2015.
- [26] Ahmadi, A.; Sedaghat, T.; Azadi, R.; Motamedi, H.; *Catalysis Letters* 150, 112–126, 2020.
- [27] El Ghandoor, H.; Zidan, H.M.; Khalil, M.M.H.; Ismail, M.I.M.; *International Journal of Electrochemical Science* 7, 5734 – 5745, 2012.
- [28] Shariatinia, Z.; Nikfar, Z.; *International Journal of Biological Macromolecules* 60, 226 – 234, 2013.