

ساخت نانو کامپوزیت پلیمری کبالت اکسید/n-ایزوپروپیل آکریل آمید و بررسی خواص ترکیب

مهداد انکاری^{۱*}، الهام ابراهیمی آقسجد^۲

۱- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

۲- گروه شیمی، مرکز پژوهش و فناوری شهید فهمیده، رضوانشهر، گیلان

چکیده

هدف از انجام این پژوهش سنتز نانو کامپوزیت هسته-پوسته کبالت اکسید/n-ایزوپروپیل آکریل آمید می باشد. این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپوسته انجام شد. در این پژوهش ابتدا نانو ذرات اکسید کبالت با روش تخریب حرارتی سنتز و خواص ساختاری با استفاده از دستگاه SEM و XRD بررسی شد. سپس نانو کامپوزیت با استفاده از نانو ذرات اکسید کبالت و پلیمر مذکور با روش پلیمریزاسیون سنتز گردید. پیوندهای تشکیل شده بین ذرات هسته و پوسته با استفاده از دستگاه FTIR و TEM ارزیابی شد که اندازه ذرات سنتز شده اکسید کبالت در حدود ۵۵nm می باشد. طیف FTIR از نانوکامپوزیت تشکیل پیوندهای مربوط به این ساختار را نشان می دهد. نتایج نشان داد که لایه پلیمری در این پژوهش، به عنوان پوسته در اطراف هسته نانو ذرات اکسید کبالت با ضخامت ۸۰nm تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: اکسید کبالت، n-ایزوپروپیل آکریل آمید، پلیمر، نانو کامپوزیت، هسته/پوسته.

ایمیل نویسنده مسئول: mehda.enkari@yahoo.com

۱- مقدمه

مواد کامپوزیتی هسته-پوسته شامل یک ساختار پوسته ای هستند که یک منطقه در مقیاس نانو و با ساختار هسته ای را پوشش می دهد و معمولا هم این مواد کروی شکل هستند. این ترکیبات هسته-پوسته ممکن است از مواد مختلفی از جمله پلیمرها و جامدات غیرآلی مانند طلا، سیلیس، نقره و کبالت تشکیل شده باشند [۱]. در سالهای گذشته نانو کامپوزیت های پلیمری با ساختار هسته-پوسته با توجه به عاملیت بالقوه آنها در کاتالیز، بیو سانسورها، زیست شناسی و الکترونیک توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۲]. روش های متنوع و جدیدی برای سنتز این نوع مواد نانوکامپوزیتی هسته-پوسته وجود دارد که از آن جمله می توان به کوپلیمرزاسیون مونومرهای هیدروفیل و هیدروفوب [۳] و پلیمرزاسیون امولسیون هسته-پوسته اشاره کرد [۴]. نانو ساختارهای هسته-پوسته از اجزایی با عملکردهای مختلف و برای استفاده در ویژگی ها و خصوصیات منحصر به فردی تولید می شوند. علاوه بر این، نانو ساختارهای هسته-پوسته یک پلت فرم آسان برای ساخت نانو کامپوزیت هایی با استفاده از ذرات کروی متخلخل و یا کپسول هایی با حذف هسته های قالب را فراهم می کنند [۵]. در میان نانو کامپوزیت های هسته-پوسته مختلف، ساخت نانو کامپوزیت پوشیده شده با پوسته پلیمری به دلیل مکانیسم و خواص الکتریکی و نوری جدید توجه بیشتری را

به خود معطوف کرده است [۶و۷]. خواص کلونییدی-هیپریدی در نانو ساختارهای هسته-پوسته را می توان با استفاده از مواد پلیمری و قابلیت های این مواد تنظیم کرد [۸]. در این پژوهش از ماده پلیمری پلی n-ایزوپروپیل آکریل آمید (PNIPAAm) به عنوان پوسته در سنتز نانوکامپوزیت هسته-پوسته استفاده شد. این ماده به دلیل کم هزینه بودن آن، پایداری اکسیداتیو، هدایت الکتریکی و آماده سازی مناسب از پتانسیل بالایی برای تولید نانو کامپوزیت های پلیمری برخوردار است [۹]. این پلیمر در میان پلیمرهای ترمو پلاستیک به طور گسترده ای مورد بررسی قرار گرفته است [۱۰و۱۱]. گرماسنجی از پلیمرهای مبتنی بر NIPAAm به دلیل گذار از حالت حلقوی به یک حالت کروی از زنجیره های پلیمری در محلول های آبی، سبب قرارگیری پلیمر در دمایی پایین تر از دمای بحرانی محلول^۱ (LCST) می شود. قرارگیری پلیمر NIPAAm در دمایی بالاتر از دمای بحرانی محلول، هیدراته شدن زنجیره پلیمری و تبدیل شدن به یک توده بسیار فشرده را سبب می شود. محدوده دمایی که در آن گذار پلیمر NIPAAm از حالت حلقوی به حالت کروی رخ می دهد (به عنوان مثال دمای ۳۵-۳۰ درجه سانتی گراد) برای برنامه های تحول دارویی بسیار کاربردی است [۱۲و۱۳]. پلیمرهای بر پایه NIPAAm می توانند پلی

۱. Lower Critical Solution Temperature

PMMA را به عنوان یک نانوکامپوزیت پلیمری هسته-پوسته سنتز کردند [۲۹]. در پژوهشی دیگر، Liu و همکارانش (۲۰۱۷) به آماده سازی و سنتز نانو ذرات هسته-پوسته رسانا سلیسیم دی اکسید- پلی آنیلین (SiO₂-Polyaniline) اقدام کردند [۳۰].

هدف از انجام این پژوهش سنتز یک نانو کامپوزیت با ساختار هسته-پوسته با استفاده از نانو ذرات اکسید کبالت به عنوان هسته و ماده پلیمری پلی n-ایزوپروپیل آکریل آمید به عنوان پوست از طریق فرایند پلیمریزاسیون می باشد. همچنین در این پژوهش از ماده شیمیایی معدنی کبالت نیترات ۶ آبه [Co(NO₃)₂.6H₂O] به عنوان پیش ماده و همچنین از یک ماد آلی به عنوان حلال در سنتز نانو ذرات اکسید کبالت استفاده شد.

۲- بخش تجربی

۲-۱ مواد و دستگاه های مورد استفاده در سنتز نانو ذرات اکسید کبالت و نانوکامپوزیت هسته- پوسته کبالت اکسید/n-ایزو پروپیل آکریل آمید

این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام شد. برای سنتز نانو ذرات اکسید کبالت، واکنش دهنده های مورد استفاده شامل کبالت نیترات ۶ آبه [Co(NO₃)₂.6H₂O] (۹۹٪) به عنوان پیش ماده، ماده ۲- پیرولیدین (۹۷٪) به عنوان حلال و دو ماده اولئیک اسید (۹۹٪) و تری اکتیل فسفین اکساید^۱ (TOPO) (۹۸٪) به عنوان سورفکتانت بودند که تمامی این مواد از شرکت سیگما آلد ریچ خریداری شدند. همچنین در سنتز نانوکامپوزیت هسته-پوسته از مواد مس بروماید (۹۸٪)، CuBr، آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان^۲ (APTES, ۹۷٪)، ۷و۷و۴و۱و۱-پنتا متیل دی اتیلن تری آمین (۹۸٪، PMDETA)، ۲- برومو ایزوبوتیل بروماید (۹۷٪، BiBB^۳) و n-ایزو پروپیل آکریل آمید (۹۸٪، NIPAAm) استفاده شد که همه این مواد از شرکت سیگما آلد ریچ خریداری شدند. بررسی خاصیت سطحی، ساختار و اندازه ذرات نانو اکسید کبالت و نانو کامپوزیت هسته/پوسته سنتز شده با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل KYKY EM3200 ساخت شرکت Zeiss و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل CM200/FEG ساخت شرکت Philips، دستگاه الگوی پراش پرتوی ایکس (XRD) مدل STOE-STADI P ساخت شرکت Siemens و طیف سنج مادون قرمز (FT-IR) مدل Nicolet6700 ساخت شرکت Termo مققق شد که استفاده از این دستگاه های مذکور در دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی انجام گردید.

الکترولیت های موثر دمایی در صنایع مربوط به مواد معدنی باشند [۱۴]. به تازگی Asher و همکارانش [۱۵] به طور موفقیت آمیزی نانو ساختارهای هسته-پوسته SiO₂/Polymer را در مقیاس میکرومتری از طریق پراکندگی پلیمریزاسیون سنتز کرده و از این ماده سنتز شده به عنوان یک بلوک برای ساخت بلورهای فوتونی استفاده کنند. نانو کریستال های اکسید کبالت (Co₃O₄) جزء بسیار مهمی از برنامه های کاربردی در گسترش تکنولوژی و همچنین در مطالعات فیزیک می باشند. این ماده طیف گسترده ای از کاربردها مانند استفاده از آن در کاتالیزورها برای کاهش مونوکسید کربن (CO) [۱۶] و به عنوان یک ماده مغناطیسی در حسگرها و سنسورهای کربن مونوکسید [۱۷] را شامل می شود. اکسید کبالت دارای پنج حالت مختلف اکسایشی می باشد که دو ترکیب Co₃O₄ با عدد اکسایش +۳ و CoO با عدد اکسایش +۲ پایدارترین حالت هستند و خواص مغناطیسی این ترکیبات توسط پژوهشگران مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۹و۱۸]. Neel و همکاران [۲۰] در تحقیقات خود اظهار داشتند که خاصیت آنتی فرومغناطیسی نانو ذرات Co₃O₄ می تواند بسته به عدم توازن چرخشی و یا نقص ساختاری این ترکیبات دائمی باشد. همچنین خواص نوری لایه های نازک Co₃O₄ توسط Sinde و همکارانش گزارش شده است [۲۱]. تهیه و آماده سازی ذرات اکسید کبالت به روش تخریب حرارتی به دلیل آسان بودن کنترل شرایط تولید، اندازه مناسب و ساختار کریستالی ذرات به طور فزاینده ای توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [۲۳و۲۲]. برای تخریب حرارتی، ترکیب کبالت کربونیل [Co₂(CO)₈] اغلب به عنوان یک پیش ماده برای تولید نانو ذرات اکسید کبالت مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال ترکیب کبالت کربونیل یک ماده سمی و نسبتاً گران است. برای برطرف کردن این معایب اخیراً Shao و همکاران [۲۴] از استات کبالت برای سنتز نانو ذرات اکسید کبالت با روش تخریب حرارتی استفاده کردند. پژوهش های مختلفی توسط پژوهشگران در زمینه تولید نانو کامپوزیت هایی با ساختار هسته-پوسته انجام شده است. Bonnefond و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود به سنتز نانوکامپوزیتی با ساختار هسته-پوسته که در آن از پلی متیل متاکریلات به عنوان هسته و پلی وینیل آمین به عنوان پوسته استفاده شده بود، اقدام کردند [۲۵]. همچنین در پژوهشی دیگر Hongli و همکاران (۲۰۱۸) به سنتز نانو کامپوزیت سیلیکون کربن نیترید (SiCN)-تیتانیوم دی اکسید (TiO₂) که ساختار هسته-پوسته داشتند عمل کردند [۲۶]. سنتز نانوکامپوزیت هایی که از دو ماده پلیمری و اکسید فلزی ساخته شده باشند توسط محققان مختلفی مورد پژوهش واقع شده است. Cui و همکاران (2015) در پژوهش خود به سنتز و شناسایی هسته-پوسته با هسته ی سوپرپارامغناطیس مگنتیت و پوسته درختسان پلی آمیدوآمین (PAMAM) اقدام کردند [۲۷]. در پژوهشی دیگر، Zhang و همکاران (۲۰۱۷) اقدام به سنتز و بررسی مشخصات نانو کامپوزیت پلیمری هسته-پوسته سلیسیم دی اکسید (SiO₂)- پلی (۳-آمینوفنیل پرونیک اسید) کردند [۲۸]. Peng و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی نانوساختار هسته-پوسته Silica-

۱. Trioctylphosphine oxide

۲. Aminopropyl triethoxysilane

۳. Pentamethyldiethylenetriamine

۴. Bromoisobutyl Bromide

2- سنتز نانو ذرات اکسید کبالت

برای این سنتز از روش Gupta و همکاران (۲۰۱۶) استفاده شد. برای این منظور ۰/۵ g از پیش ماده کبالت نیترات ۶ آبه در ۲۵ ml از حلال ۲- پیرولیدین حل شد. سپس ۲ ml از اولئیک اسید و ۲/۴ از تری اکتیل فسفین اکساید به عنوان سورفکتانت در محلول بالا و در دمای 50°C ترکیب شده و محلول ترکیبی به مدت ۳۰ min بر روی استیرر قرار داده شد. واکنش محلول در دو مرحله انجام می شود. پس از حرارت دادن محلول در دمای 50°C و قرار گرفتن به مدت ۳۰ min بر روی استیرر، رنگ محلول به صورتی شفاف تغییر کرد. این تغییر رنگ نشان دهنده تکمیل شدن مرحله اول است. سپس محلول به مدت تقریباً یک ساعت در دمای 200°C گرم شد تا رنگ محلول به رنگ سیاه تغییر کند. پس از تغییر رنگ، محلول را با متانول رقیق شست و شو داده و در دمای اتاق نگهداری شد. پودر سیاه به دست آمده با استفاده از سانتریفیوژ با دور ۳۰۰ rpm از محلول جدا شده و به مدت ۱ h در فر با دمای 65°C نگهداری شد تا خشک شود [31].

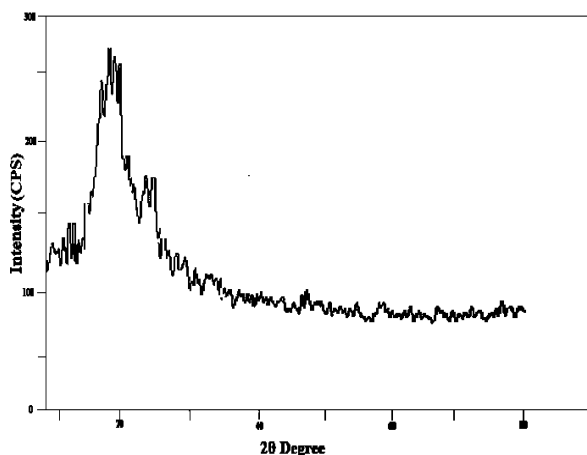
۲-۳ سنتز نانوکامپوزیت هسته پوسته کبالت اکسید-n-ایزو پروپیل آکریل آمید ($\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NIPAAm}$)

برای سنتز نانوکامپوزیت هسته پوسته کبالت اکسید-n-ایزو پروپیل آکریل آمید، ۱ g از نانو ذرات اکسید کبالت سنتز شده در داخل یک فلاسک دور گرد ۱۰۰ ml که شامل ۲۰ ml از تولوئن خشک و مجهز به یک همزن مغناطیسی و کندانسور رفلکس ۳۰ cm بود، ترکیب شد. پس از اضافه کردن ۱ ml از ماده آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان به محلول درون فلاسک؛ مخلوط مواد به مدت ۲۴ ساعت در دمای 80°C و تحت اتمسفر N_2 رفلکس شد. پس از پایان این مدت زمان، ترکیب حاصل در دمای اتاق خنک شد و سپس ذرات به مدت ۱۵ min توسط سانتریفیوژ با دور ۶۰۰ rpm از هم جدا شدند. ماده روی محلول تولوئن پس از جدا شدن چندین بار به صورت جداگانه توسط مواد دی کلرومتان و استون شست و شو داده شد. میکروسپرسهای اکسید کبالت اصلاح شده با گروه آمینه با استفاده از آون خشک کن تحت خلاء در دمای 50°C و به مدت یک شب خشک شدند. ۰/۷ g از نانو ذرات اکسید کبالت اصلاح شده آمینه با ۱/۵ ml از ماده تری اتیل آمین در درون یک فلاسک دور گرد ۱۰۰ ml ترکیب شد. سپس فلاسک در دمای 0°C خنک شد و ۱ ml از ماده ۲- برومو ایزوبوتیل بروماید به صورت قطره قطره و به مدت یک ساعت به محلول اضافه شد و بعد از ترکیب شدن به مدت ۲۴ h در دمای اتاق نگهداری شد. میکروسپرسهای کبالت به روش مشابه برای سنتز ترکیب عاملدار شده کبالت- آمینو استفاده شدند. برای انجام این عمل، ۱ g از نانو ذرات اکسید کبالت ، ۰/۱۵ ml پنتا متیل دی اتیلن تری آمین ، ۰/۱ g مس بروماید، ۱ g از ترکیب n-ایزو پروپیل آکریل آمید و آب مقطر و متانول به نسبت ۱:۱ به محلول داخل یک فلاسک دور گرد مجهز به یک همزن مغناطیسی اضافه شدند. ترکیب میکروسپارهای اکسید کبالت از طریق یک فرایند چرخه

سه مرحله ای که شامل خنک کردن، پمپاژ و گرم کردن بود، برای ایجاد پیوند ذرات اکسید کبالت با n-ایزو پروپیل آکریل آمید به مدت ۱۲ h انجام شد. پس از انجام این چرخه نانو کامپوزیت هسته-پوسته $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NIPAAm}$ با استفاده از اتانول و متانول و توسط سانتریفیوژ خالص سازی و از محلول جدا شدند.

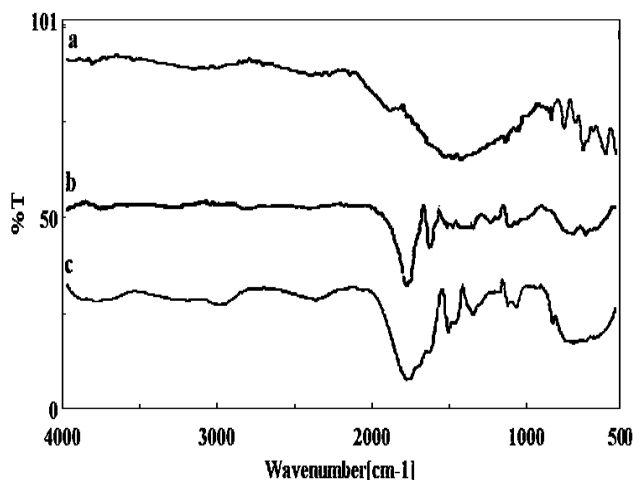
۳- یافته ها و بحث

نمونه های به دست آمده از نانو ذرات اکسید کبالت سنتز شده به روش تخریب حرارتی با استفاده از SEM و دستگاه XRD تجزیه و تحلیل شدند. الگوی پراش اشعه X نانو اکسید کبالت سنتز شده که در شکل ۱ نشان داده شده است، وجود یک پیک در محور 2θ در ناحیه 20° درجه را نشان می دهد. این پیک نشان دهنده وجود یک پیک آمورف در نانو اکسید کبالت سنتز شده می باشد. این نمونه آمورف در دمای 200°C از طریق فرایند تخریب حرارتی سنتز شد.



شکل ۱- طیف XRD نانو ذرات اکسید کبالت سنتز شده

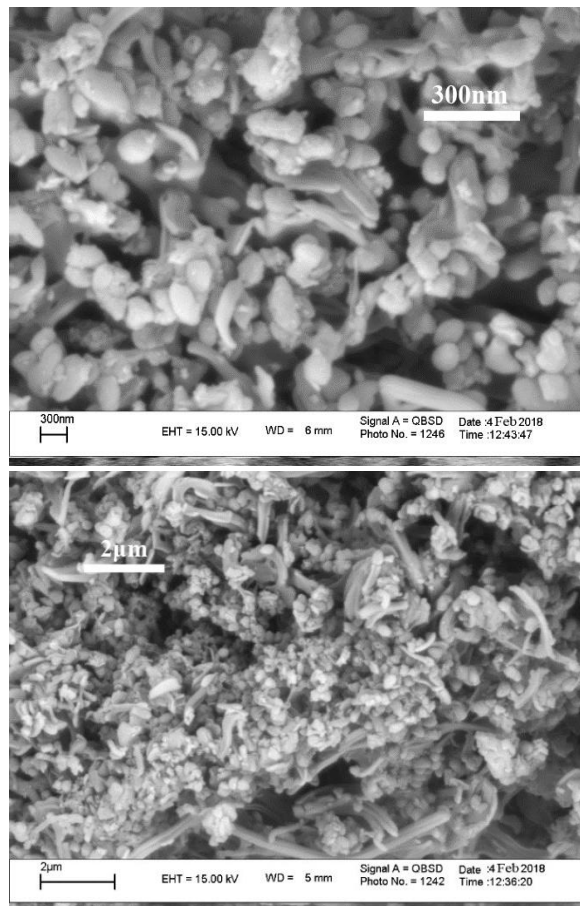
تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از ذرات نانوساختار Co_3O_4 در شکل ۲ نشان داده شده است. تصاویر SEM مربوط به ذرات نانو نشان می دهد که توزیع اندازه ذرات در سطح نانوساختارها به صورت یکنواخت می باشد. تصاویر SEM نشان می دهند که نانوذرات اکسید کبالت به شکل کروی یکنواخت می باشند و اندازه نانو ذرات در حدود ۵۵ نانومتر است. بررسی خصوصیات ساختاری نانو ذرات اکسید کبالت سنتز شده نشان می دهد که تشکیل این نانو ذرات با خاصیت کریستالی به خوبی انجام شده است. همانگونه که در تصویر مشاهده می شود نانو ذرات اکسید کبالت به هم چسبیده و به شکل خوشه ای نمایان شده اند. تصاویر به دست آمده نشان می دهد که میانگین قطر نانو ذرات اکسید کبالت که با پلیمر مذکور پیوند برقرار کرده اند در حدود $2\ \mu\text{m}$ می باشد. لازم به ذکر است که ذرات پلیمری NIPAAm از طریق فرایند پلیمریزاسیون رادیکال انتقال اتم روی سطح به نانو ذرات اکسید کبالت متصل می شوند. فرایند ATRP بر مبنای تعادل میان یک جزء فعال و یک جزء غیر فعال استوار است که این امر موجب می شود تمام زنجیرها در یک زمان و باهم شروع به رشد نموده و پلیمر حاصل توزیع وزن مولکولی باریکی دارد. در پژوهش مذکور این فرایند در محیط حلالی



شکل (3): طیف FT-IR از نانو ذرات اکسید کبالت سنتز شده (a)، نانوکامپوزیت هسته-پوسته $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{IPAAm}$ (b) و نانو کامپوزیت سنتز شده در دمای پایین تر از LCST

در این شکل طیف FT-IR از نانو ذرات اکسید کبالت و نانو ذرات اکسید کبالت عامل دار شده با ماده ۲- برومو ایزوبوتیل پروماید (BiBB) به شکل مجزا نشان داده شده است. در این شکل طیف مربوط به میکروسپرسهای اکسید کبالت سنتز شده می باشد که پیک جذب در ناحیه 600 cm^{-1} مربوط به پیوند کششی Co-O می باشد. همچنین یک پیک جذب در ناحیه 665 cm^{-1} مشاهده شده است که مربوط به پیوند خمشی Co-O است. پیک مربوط به پیوند Co-OH در ناحیه 550 cm^{-1} و پیک مربوط به پیوند Co-O-Co در ناحیه 870 cm^{-1} شناسایی شده است. طیف b طیف نانوکامپوزیت هسته-پوسته پس از اضافه کردن عامل آمیدی به نانوذرات اکسید کبالت را نشان می دهد. نوارهای ارتعاش کششی و خمشی مربوط به پیوند C-H به ترتیب در نواحی 1600 cm^{-1} و 1800 cm^{-1} ظاهر و مشاهده شده اند. علاوه بر این در طیف c نانو اکسید کبالت که با زنجیره های پلی n-ایزو پروپیل آکریل آمید ترکیب شده و نانو کامپوزیت ساختار هسته/پوسته در دمای زیر LCST تشکیل شده است، باندهای آمیدی در نواحی 1810 cm^{-1} و 1520 cm^{-1} ظاهر شده اند که می توان این پیک ها را به ارتعاش کششی پیوند C=O و N-H نسبت داد. برای بررسی میزان قطر در نانو کامپوزیت با ساختار هسته-پوسته از تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد که در شکل ۴ نشان داده شده است.

صورت گرفت [32]. علاوه بر این در این تصاویر می توان رفتار توری نانو کامپوزیت هسته-پوسته را مشاهده کرد.



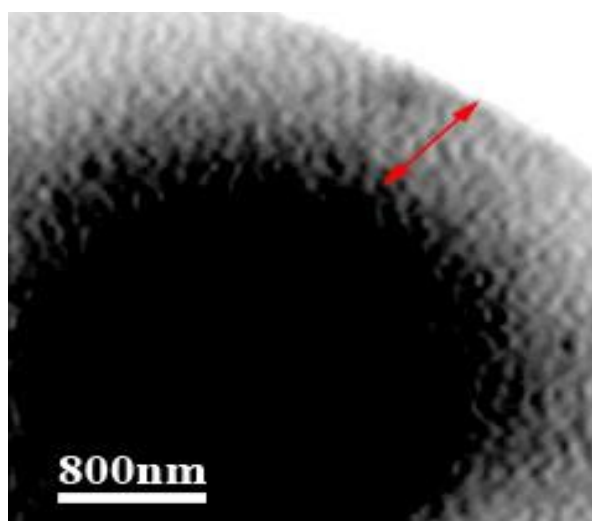
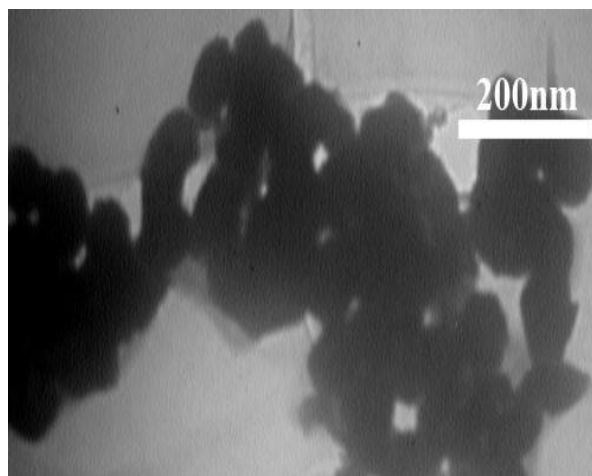
شکل ۲- تصویر SEM از نانو ذرات اکسید کبالت سنتز شده

در مورد نانو کامپوزیت هسته-پوسته اکسید کبالت/n-ایزو پروپیل آکریل آمید ساختار این نانو کامپوزیت با استفاده از تکنیک های طیف سنجی FT-IR، پراش اشعه X و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. طیف مادون قرمز این نانو کامپوزیت هسته-پوسته در شکل ۳ نشان داده شده است.

در این پروژه نانو کامپوزیتی با ساختار هسته-پوسته که حاوی هسته میکروسپرس های نانوذرات اکسید کبالت و یک پوسته PNIPAM است، سنتز شد. در این پروژه ابتدا نانو ذرات اکسید کبالت با استفاده از روش تخریب حرارتی که یک روش ساده، ارزان و کمتر سمی (سازگار با محیط زیست) سنتز شد. در سنتز این نانو ذرات از روش از پیش ماده معدنی استفاده شد. سپس ترکیب هسته-پوسته سنتز شده که این ترکیب می تواند به عنوان کریستالهای فوتونیک در لایه های آبی به صورت گروهی قرار گیرد. افزایش دمای فرایند سنتز به بالاتر از دمای LCST سبب کاهش ضخامت و فضای بین هسته اکسید کبالت با پوسته پلیمری می شود که نتیجه آن تغییر رنگ کریستالهای فوتونی می باشد [34]. به همین دلیل می توان از این نانوکامپوزیتهای هسته-پوسته $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NIPAAm}$ به عنوان کریستالهای فوتونیک که جریان نور را کنترل و به عنوان فیلم های اپتیکی نازک در بازتابنده های بالا و پایین در روی لنزها و آینه ها تا رنگ هایی با قابلیت تعویض استفاده کرد.

۵- منابع

- 1) Jang, J. Sung, H. Choi, synth Met, 152, 9-12, (2015).
- 2) W. Zhang, J. Zheng, X. Lin, S. Chen, X You, J. Mater. Chem, 3, 217-224, (2015).
- 3) . Hellweg, C.D. Dewhurst, W. Eimer, K. Kratz, Low Temp Phys, 20, 4330-4335, (2014).
- 4) R. Dullens, M. Claesson, D. Derks, A. Blaaderen, W. Kegel, J. Langmuir, 19, 5963-5966, (2013).
- 5) Z. Yang, Z. Niu, Y. Lu, Z. Hu, C.C. Han, Chem. Int. Ed, 42, 1943-1945, (2013).
- 6) R. Hong, H. Fu, J. Zhang, L. Liu, J. Wang, H. Z. Li, Y. Zheng, J. Appl. Polym. Sci, 105, 2176-2184, (2014).
- 7) B. Liu, S. Tang, Y. Yu, H. Lin, Colloids Surf., 377, 138-143, (2011).
- 8) E. Genies, A. Boyle, M. Lapkowski, C. Tsintavis, Synth. Met., 36, 139-182, (2009).
- 9) R. Liu, M. Fraylich, B. Saunders, Colloid Polym. Sci, 287, 627-643, (2012).
- 10) S. Dai, P. Ravib, K.C. Tam, Soft Matter, 5, 2513-2533, (2014).
- 11) Y. You, K. Kalebaila, S. Brock, D. Oupický, Chem. Mater., 20, 3354-3359, (2008).
- 12) Z. Zhou, S. Zhu, D. Zhang, Mater. Chem., 17, 2428-2433, (2017).
- 13) Q. Fu, G. Rama Rao, T. Ward, Y. Lu, P. Lopez, Copolymer, 23, 170-174, (2017).
- 14) T. Wu, Z. Ge, S. Liu, Chem. Mater., 23, 2370-2380, (2016).
- 15) X. Xu, S. Asher, J. Am. Chem. Soc., 126, 7940-7949, (2014).
- 16) H. Lin, H. Chiu, H. Tsai, S. Chien, C. Wang, Catal. Lett., 169, 124-139, (2013).
- 17) H. Yamaura, K. Moriya, N. Miura, N. Yamazoe, Sens. Actuators, 39, 148-165, (2000).



شکل (۴): تصاویر TEM از نانوکامپوزیت هسته-پوسته $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NIPAAm}$

تصاویر نشان دهنده افزایش میزان قطر پوسته تشکیل شده در دورتادور هسته می باشد. بررسی تصویر TEM از نانو کامپوزیت هسته-پوسته نشان می دهد که تشکیل ساختار هسته-پوسته در نانو کامپوزیت به خوبی انجام شده و لایه پلیمری به عنوان پوسته در دورتادور هسته نانو ذرات اکسید کبالت با ضخامت ۸۰ nm تشکیل شده است. Pan و همکارانش [3۳] به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما تا بالای LCST، ضخامت پوسته های پلیمری که در سنتز نانو کامپوزیت های پلیمری هسته-پوسته استفاده می شود تا حد ۱۵ تا ۱۰ nm کاهش پیدا می کند و رفتار توری برگشت پذیر و خاصیت انقباضی این نانو کامپوزیت هسته-پوسته نمایان می شود. از این رو، PNIPAM به عنوان یک ماده پوسته تشکیل دهنده عالی برای میکروسپرس های هسته اکسید کبالت برای تولید نانوکامپوزیت هسته-پوسته $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{NIPAAm}$ می باشد.

۴- نتیجه گیری



- 18) H. Zhu, J. Luo, J. Liang, G. Rao, J. Li, J. Zhang, Z. Du, *Physica*, 403, 314-330, (2018).
- 19) L. Zhang, D. Xue, C. Gao, J. Magn, *J. Mater.*, 267, 111-139, (2013).
- 20) L. Neel, C. Dewitt, B. Dreyfus, P. Gennes, *Low Temp Phys.*, 101, 413-440, (2013).
- 21) V. Shinde, S. Mahadik, P. Gujar, C. Lokhande, *Appl. Surf. Sci.*, 252, 7487-7495, (2006).
- 22) M. Salavati-Niasari, F. Davar, M. Mazaaheri, M. Shaterian, *J. Magn. Mater.*, 320, 520-535, (2008).
- 23) M. Salavati-Niasari, F. Davar, M. Mazaaheri, *Mater. Lett.*, 62, 36-68, (2008).
- 24) H. Shao, Y. Huang, H. Lee, Y. Suh, C. Kim, *J. Mater.*, 304, 20-32, (2016).
- 25) Bonnefond, C. Pereira Gomes, J. Cal, J. Leiza, *Colloid Polym Sci*, 295, 135-144, (2017).
- 26) L. Hongli, N. Wei, J. Li, H. Zhang, P. Chu, *Solid State Sciences*, 76, 15-19, (2008).
- 27) T. Cui, J. Zhang, J. Wang, F. Cui, W. Chen, F. Xu, Z. Wang, K. Zhang, B. Yang, *Adv. Funct. Mater.*, 15, 481-486, (2015).
- 28) Y. Zhang, S. Lee, k. Raddy, A. Gopalan, *Journal of Applied Polymer Science*, 104, 2743-2750, (2017).
- 29) Q. Peng, Y. Dong, Y. Li, *Chem. Int. Ed.*, 42, 1712-1730, (2016).
- 30) B. Liu, J. Syu, D. Wang, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4, 209-212, (2017).
- 31) R. Gupta, K. Sinha, N. Raja, K. Srivastava, G. Singh, K. Deb, *Appl Phys A*, 103, 113-119, (2016).
- 32) P. Armes, S. Gottesfeld, J. Beery, F. Garzon, *Polymer*, 32, 2325-2330, (2015).
- 33) V. Pan, R. Wesley, R. Luginbuhl, *Biomacromolecules*, 2, 32-36, (2015).
- 34) J. Jang, J. Ha, B. Lim, *Chem. Comm.*, 15, 1622-1630, (2016).