

سنتر سونوشیمیایی نانو ترکیب‌های کوئوردیناسیونی نوین مس (II) و بررسی تبدیل آن‌ها به نانو ذره‌های مس اکسید

سارا چمنی گوروان، غلامحسین شاهوردیزاده*⁺

گروه شیمی، دانشکده علوم، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده: نانو ساختارهای نوین پلیمر کئوردیناسیونی مس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ به روش سونوشیمیایی سنتز شد [لیگاند ۲،۶- پیریدین دی کربوکسیلیک اسید H_2DPC]. نانو ساختار نوین توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، الگوی XRD، طیف FT-IR، آنالیز عنصری و طیف UV-Vis شناسایی شد. پایداری گرمایی ترکیب به وسیله تجزیه وزن سنجی (TG) و تجزیه جز به جز گرمایی (DTA) مورد مطالعه قرار گرفت. نانو ذره‌های مس (II) اکسید که از کلسیناسیون مستقیم نانو کمپلکس‌ها در دماهای ۴۵۰، ۵۰۰، ۵۵۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس در جو هوا سنتز شده‌اند دارای ریخت شناسی و اندازه‌های گوناگونی در اندازه نانو می‌باشند. همچنین نانو ذره‌های مس (II) اکسید توسط ترمولیز نانو کمپلکس به دست آمده در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس به روش سورفکتانت اولتیک اسید سنتز شدند.

کلید واژه‌ها: سونوشیمیایی؛ نانو ذره‌ها؛ سورفکتانت؛ مس (II) اکسید.

Keywords: Sonochemical; Nanoparticles; Surfactant; Copper(II)oxide

مقدمه

دارا بودن ویژگی‌هایی مانند رسانایی بالا، انعطاف‌پذیری زیاد و ... دارای اهمیت زیادی در صنایع گوناگون است [۶، ۵]. مس اکسید نیمه‌هادی نوع p با یک باند شکاف باریک است که به عنوان یک ماده مهم صنعتی به رسمیت شناخته شده است که دارای کاربردهایی زیادی در کاتالیست‌ها، باتری‌ها، تبدیل انرژی خورشیدی و ... می‌باشد [۱۳، ۱۲، ۵]. برای تولید نانو ذره‌های مس و ترکیب‌های آن از روش‌های گوناگون مانند تجزیه گرمایی، کاهش نمک فلزی، روش تابش و سونوشیمی استفاده می‌شود [۱۴، ۵]. از آنجا که اندازه، توزیع، ریخت شناسی، خلوص و درجه بلوری بودن نانوذره‌ها به روش تولید آن‌ها بستگی دارد، بنابراین روش تولید این مواد از اهمیت زیادی برخوردار است [۷، ۸]. در این پژوهش

روش سونوشیمی بر پایه فرایندی به نام حفره‌زایی است که موجب ایجاد دما و فشار موضعی خیلی زیاد در محیط واکنش می‌شود. این فرایند شامل ایجاد، رشد تدریجی و سرانجام انفجار تعدادی حباب در اثر اعمال موج فراصوت به محلول است که موجب تولید موج ضربه‌ای می‌شود. انرژی ناشی از این موج ضربه‌ای برای شکستن پیوندهای کووالانسی، انجام برخی واکنش‌های شیمیایی به ویژه سنتز نانوذره‌ها، سنتز مواد آلی و ... استفاده می‌شود [۳-۱]. یکی از کاربردهای رایج سونوشیمی سنتز نانومواد است و در سال‌های اخیر نانومواد به دلیل دارا بودن تفاوت‌های بارز از نظر ویژگی‌های نوری، الکتریکی، مغناطیسی و شیمیایی در مقایسه با مواد دارای ساختار و اندازه‌های بزرگ‌تر مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند. مس به دلیل

*عهدہ دار مکاتبات

+E-mail: shahverdizadeh@iaut.ac.ir

Cu: 22.54, N: 4.93, O: 39.44% , Found, C: 29.52, H: 3.23, N: 5.11, UV-Vis, [λ_{\max}]: 268 nm.

سنتز نانوذره‌های کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃] با غلظت‌های ۰/۱ M ، ۰/۱۵ M ، ۰/۲ M لیگاند H₂DPC با استفاده از موج فراصوت

برای تهیه نانو ذره‌های کمپلکس فوق‌مقدار ۱۰ ml محلول ۰/۲M، پی‌ریدین دی کربوکسیلیک اسید در اتانول تهیه شد و در فرکانس ۲۴KHz قرار داده شد. سپس ۱۰ mL محلول ۰/۲M سولفات مس در آب مقطر، قطره قطره در مدت زمانی یک ساعت به محلول پیشین افزوده شد. محلول محتوی بالن‌ها سانتی‌فیوژ شده و رسوب‌های به‌دست آمده صاف شده سپس با اتانول و آب مقطر شستشو و در دمای آزمایشگاه خشک شد. برای دو غلظت بعدی نیز کام‌های بالا انجام شد.

سنتز نانوذره‌های CuO از کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃] با استفاده از سورفکتانت اولئیک اسید

۰/۲۵ میلی مول از نانو ذره‌های کمپلکس را در بوته چینی ریخته شد سپس به آن ۱ الی ۲ قطره اولئیک اسید افزوده شده و به‌وسیله هم‌زن مغناطیسی و بدون گرما به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد. سپس بوته چینی به مدت ۲ ساعت درون کوره در دمای ۱۸۰°C قرار داده شد. پس از گذشت این زمان نمونه از کوره خارج شده به آن ۱ میلی‌لیتر تولوئن و ۵ میلی‌لیتر متانول افزوده شده، به مدت ۱۵ دقیقه بدون گرما توسط همزن هم زده شد. سپس مخلوط به دست آمده سانتی‌فیوژ شده و رسوب به‌دست آمده با متانول شستشو داده شده و در دمای آزمایشگاه خشک شد.

سنتز نانو ذره‌های CuO از کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃] به روش کلسینه کردن

۰/۲۵ میلی مول از نانو ذره‌ها کمپلکس در بوته چینی ریخته شد و در کوره با دماهای ۴۵۰، ۵۵۰، ۵۰۰، ۶۰۰ به مدت ۲ ساعت گرما داده شد. در نتیجه این عمل نانوذره‌های مس اکسید به‌دست آمد.

نتیجه‌ها و بحث

بررسی و تفسیر نتیجه‌های تهیه کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃]

مقایسه طیف FT-IR کمپلکس سنتز شده [Cu(DPC)(H₂O)₃]

همراه با تهیه نانو ذره‌های ترکیب‌های مس به روش سونوشیمی، تاثیر افزایش دمای کوره و همچنین افزودن سورفکتانت اسید اولئیک در تهیه نانو اکسیدمس مورد بررسی قرار گرفت.

بخش تجربی

مواد شیمیایی مورد استفاده

همه مواد استفاده شده شامل مس (II) سولفات پنج آبه، ۶،۲- پی‌ریدین دی کربوکسیلیک اسید، اتانول، تولوئن، متانول و اولئیک اسید از شرکت مرک (Merck) خریداری شدند. همه مواد شیمیایی به کار برده شده دارای خلوص موردنظر بوده و بدون خالص سازی مصرف شدند.

دستگاه‌های مورد استفاده

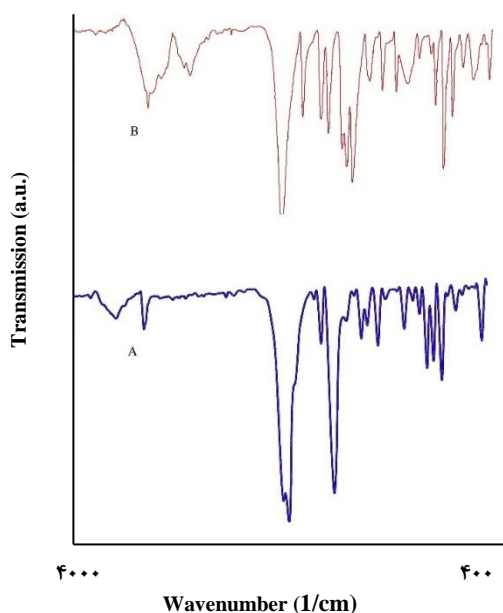
از دستگاه مولد موج فراصوت ساخت شرکت USA و Sonicator ۳۰۰۰ برای انجام واکنش برای سنتز نانو ساختار استفاده شد. مولد در فرکانس ثابت ۲۰kHz با بیش‌ترین توان ۶۰۰W کار می‌کند. برای تعیین شکل ظاهری و ریخت شناسی و همچنین تعیین تقریبی اندازه ذره‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM هیتاچی مدل S۴۱۶۰ استفاده شد. گروه‌های عاملی با استفاده از اسپکتروفتومتر FT-IR مدل S۸۴۰۰ تعیین شد. مطالعه‌های پراش پرتو ایکس برای بررسی ساختار نمونه‌های تهیه شده با استفاده از دیفرکتومتر مدل Philips Xpert و با استفاده از تابش CuK α ($\lambda=0.15406$) و در بازه θ ۲۰ بین ۲۰ تا ۸۰ درجه انجام شد.

سنتز کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃]

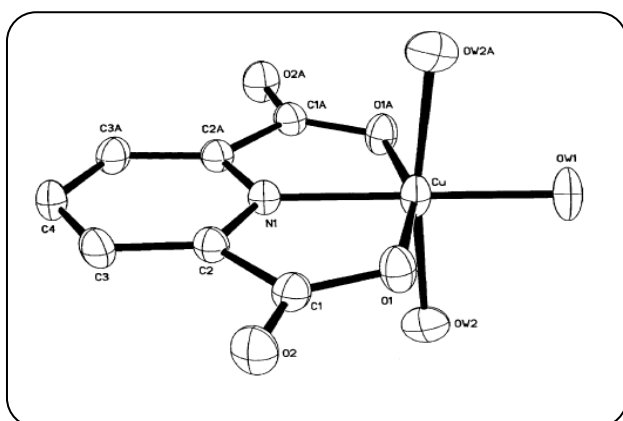
(H₂DPC= Pyridine-2,6-dicarboxylic acid)

این کمپلکس به‌وسیله‌ی مائو و همکاران در سال ۲۰۰۴ میلادی سنتز شد [۹]. ۱ میلی مول (۰/۳۳ گرم) از لیگاند ۶،۲- پی‌ریدین دی کربوکسیلیک اسید (H₂DPC) در ۱۰ میلی لیتر اتانول حل شد و در حالی که محلول به‌وسیله همزن مغناطیسی هم زده شد، ۱ میلی مول (۰/۵ گرم) سولفات مس حل شده در ۱۰ میلی لیتر آب مقطر، قطره قطره به محلول فوق افزوده شد. محلول آبی رنگ به دست آمده در دمای آزمایشگاه ساکن نگه داشته شد. پس از ۲۴ ساعت بلورهای آبی رنگ تشکیل شد.

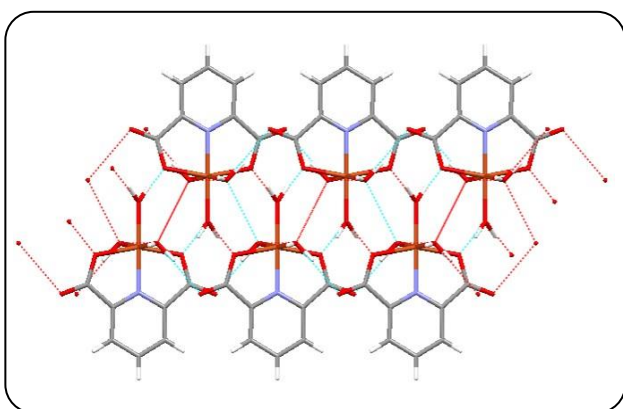
IR (KBr) selected bond: 1681(vs), 1643(vs), 1365(vs), 1180(m), 1080(m), 771(m), 686(m), 1141 (w), 856(w), 594(w). Anal. Calc. for C₇H₁₀CuNO₇, C: 29.58, H: 3.52,



شکل ۱- طیف FT-IR کمپلکس (A) ولیگاند (B).



شکل ۲- ساختار ORTEP بلور [Cu(DPC)(H₂O)₃].



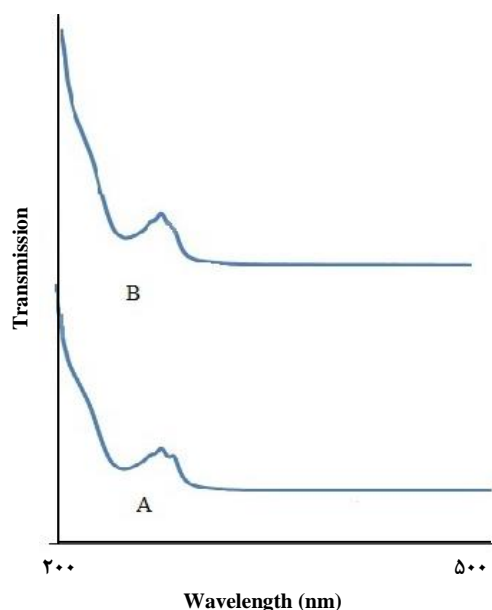
شکل ۳- ساختار پلیمری کمپلکس با تشکیل پیوندهای هیدروژنی.

با طیف لیگاند [H₂DPC] نشان می‌دهد که در طیف ماده سنتز شده برخی از نوارهای جذبی گروه لیگاند که در کوئوردیناسیون دخالت دارند جابه‌جا شده‌اند (شکل ۱). این جابه‌جایی به علت کوئوردینه شدن برخی اتم‌های لیگاند با کاتیون مس است که دلیلی بر سنتز کمپلکس است. در طیف FT-IR کمپلکس ارتعاش‌های گروه کربنیل (C=O) در بازه‌ی ۱۶۵۰ cm⁻¹ دیده شده ولی این گروه عاملی در لیگاند در ناحیه ۱۶۸۰ ظاهر می‌شود که این گروه عاملی در کمپلکس نسبت به لیگاند به فرکانس‌های پایین‌تر کشیده شده است. ارتعاش‌های گروه (C=C) و (C=N) از حلقه پیریدین در ناحیه‌ی ۴۰۰ تا ۱۶۰۰ cm⁻¹ دیده می‌شوند. همچنین ارتعاش‌های حلقه پیریدین در ناحیه‌های ۷۷۵ و ۷۳۴، ۶۴۴ و ۳۳۰.۵ cm⁻¹ دیده شده و ارتعاش‌های گروه (C-H) آروماتیک در ۳۳۰.۵ دیده می‌شوند [۹].

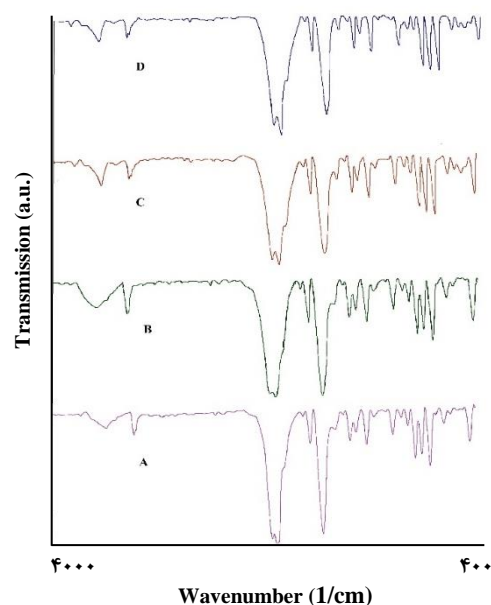
نانو ساختارهای ترکیب ۱ در محلول آب و الکل به وسیله موج فراصوت سنتز شده در حالی که تک بلور ترکیب ۱ از واکنش لیگاند ۶،۲- پیریدین دی کربوکسیلیک اسید با سولفات مس در حلال آب و اتانول سنتز شده است [۱]. شکل ۲ ساختار ORTEP بلور سنتز شده را نشان می‌دهد [۹]. کره کوئوردیناسیونی اطراف یون‌های مس به صورت هشت وجهی انحراف یافته بوده و لیگاند DPC از طریق دو اتم اکسیژن و یک اتم نیتروژن به اتم مرکزی متصل شده و سه مولکول آب به وسیله اتم‌های اکسیژن به یون مس کوئوردینه شده‌اند.

با توجه به شکل ۳ در این ترکیب با ایجاد پیوند هیدروژنی بین اتم‌های اکسیژن گروه‌های کربوکسیلات با اتم‌های هیدروژن مولکول‌های آب پلیمر دوبعدی تشکیل شده است.

از واکنش ۶،۲- پیریدین دی کربوکسیلیک اسید با مس سولفات به نسبت مولی ۱:۱ در حلال اتانول-آب تحت امواج فراصوت نانو ساختارهایی از کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃] سنتز شدند. طیف‌های FT-IR نانو ذره‌های سنتز شده در غلظت‌های متفاوت در شکل ۴ نشان داده شده است. طیف‌های FT-IR نانوذره‌های کمپلکس در هر سه غلظت (شکل ۴- A, B, C) با طیف کمپلکس در حالت بلوری (شکل ۴- D) به تقریب همانند هستند. در این ناحیه بیش‌تر نوارهای کمپلکس در نانو ذره‌ها دیده می‌شود. یکسان بودن طیف‌های FT-IR کمپلکس با ماده سنتز شده بیانگر سنتز شدن نانو ساختار کمپلکس [Cu(DPC)(H₂O)₃] است.



شکل ۵ - نمودار طیف جذب الکترونی کمپلکس (A) و لیگاند (B)



شکل ۴ - طیف FT-IR نانو ساختارهای کمپلکس در غلظت ۰/۲M (A)، غلظت ۰/۱۵M (B)، غلظت ۰/۱M (C) و تک بلور کمپلکس (D).

قرار گرفتند و همان گونه که از شکل ۷ دیده می شود در غلظت ۰/۲M نانوذره های سنتز شده اندازه بزرگ تری نسبت به غلظت های دیگر دارند. ولی اندازه نانو ذره های سنتزی با استفاده از موج فراصوت در غلظت ۰/۱ مولار از پراکندگی و نظم بیش تری برخوردار است. تصویرهای SEM نشان می دهد که با کاهش غلظت مواد واکنش دهنده، اندازه نانو ذره های کمپلکس کوچک تر شده و به صورت منظم تری در کنار هم قرار می گیرند.

الگوی XRD نانو ذره های به دست آمده از امواج فراصوت با غلظت ۰/۱ M

شکل ۸a الگوی XRD شبیه سازی شده از داده های پراش پرتو X تک بلور کمپلکس را نشان داده و شکل ۸b الگوی XRD نانوذره های به دست آمده از امواج فراصوت با غلظت ۰/۱M از کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ را نشان می دهد. تطابق قابل پذیرش الگوی XRD شبیه سازی شده با کمک داده های به دست آمده از بلور نگاری پرتو X بلورهای کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ و طیف XRD به دست آمده از نتیجه های تجربی، نشان دهنده حضور یک نوع فاز جامد در این ترکیب بوده و نانو ذره ها با بلورینگی خوب تحت این شرایط سنتزی به دست آمده اند. به دلیل این که نوار مشخصه ای از ناخالصی در فاز بلوری دیده نمی شود

بررسی طیف جذبی الکترونی کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ در حالت تک بلور و نانو ذره ها

با توجه به این که طیف جذبی الکترونی لیگاند با طیف کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ سنتز شده متفاوت است شکل ۵. بنابراین کمپلکس سنتز شده است. کمپلکس بالا به علت داشتن حلقه آروماتیک انتقالی را در ناحیه UV در 268nm و 277nm نشان می دهد. به همین دلیل می توان انتقال های درون لیگاندی $\pi \rightarrow \pi^*$ و $n \rightarrow \pi^*$ را برای آن انتظار داشت [۱۰].

در هر یک از غلظت های (۰/۲، ۰/۱۵ و ۰/۱ مولار) از لیگاند طیف جذبی الکترونی کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ در حلال آب پیک های 269nm و 279nm را نشان می دهد که مربوط به انتقال های درون لیگاندی $\pi \rightarrow \pi^*$ و $n \rightarrow \pi^*$ می باشد شکل ۶. همچنین طیف های جذبی الکترونی مربوط به نانو ذره های سنتز شده در هر سه غلظت با طیف کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ یکسان می باشد که دلیل بر سنتز نانو ذره های کمپلکس بالا با همان ساختار همانند کمپلکس در حالت بلوری است.

بررسی طیف های SEM

ریخت شناسی و اندازه نانو ذره های سنتز شده در غلظت های گوناگون با میکروسکوب الکترونی روبشی SEM مورد بررسی

فراورده واکنش خلوص بالایی دارد. با استفاده از معادله شرر $(D = K\lambda/\beta\cos\theta)$ که D اندازه نانوذره‌ها، $K=0.9$ ضریب شکل بلور، $\lambda=0.1546$ طول موج پرتو ایکس و β پهنای پیک در نصف ارتفاع است اندازه نانو ذره‌ها در غلظت ۰/۱ مولار حدود ۶۵ nm محاسبه شد [۱۱].

بررسی تجزیه گرمایی نانو کمپلکس $[\text{Cu}(\text{DPC})(\text{H}_2\text{O})_3]$

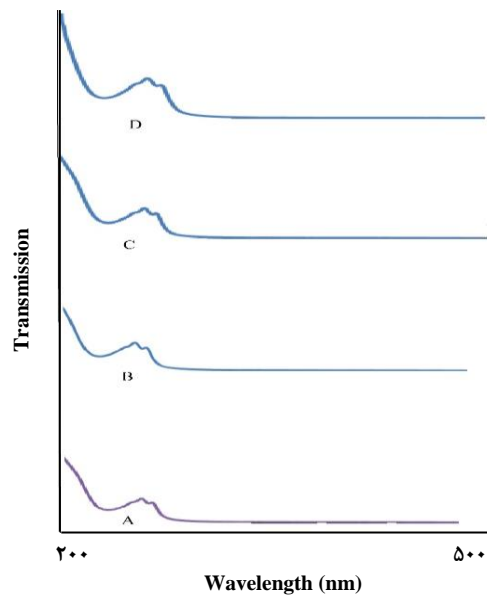
به منظور آزمایش پایداری گرمایی کمپلکس سنتز شده، تجزیه وزن سنجی (TG) و تجزیه جزء به جزء گرمایی (DTA) در بازه‌ی دمایی 35°C – 600°C در اتمسفر نیتروژن انجام گرفت. شکل منحنی TG ترکیب نشان می‌دهد که تجزیه کمپلکس در سه مرحله انجام می‌گیرد. کمپلکس تا دمای 127.8°C ذوب نشده و پایدار است. اولین کاهش وزن که در حدود ۱۳/۴٪ است در بازه‌ی دمایی 127.8°C تا 264.4°C دیده می‌شود که مربوط به خارج شدن مولکول‌های آب کوئوردینه شده است. کاهش وزن بعدی که در حدود ۳۴٪/۶۲ است در بازه‌ی دمایی 264.4°C تا 313.7°C دیده می‌شود که مربوط به خارج شدن لیگاند DPC است و در دماهای بالاتر از 313.7°C کاهش وزنی دیده نمی‌شود و جامد باقی مانده CuO است. منحنی DTA نشان می‌دهد که کمپلکس با ۵ اثر گرماگیر به ترتیب در دماهای 75°C و 180°C و 270°C و 310°C و 350°C و یک اثر گرمازا در دمای 290°C تجزیه می‌شود (شکل ۹).

بررسی ساختار و ریخت شناسی نانو ذره‌های CuO سنتز شده

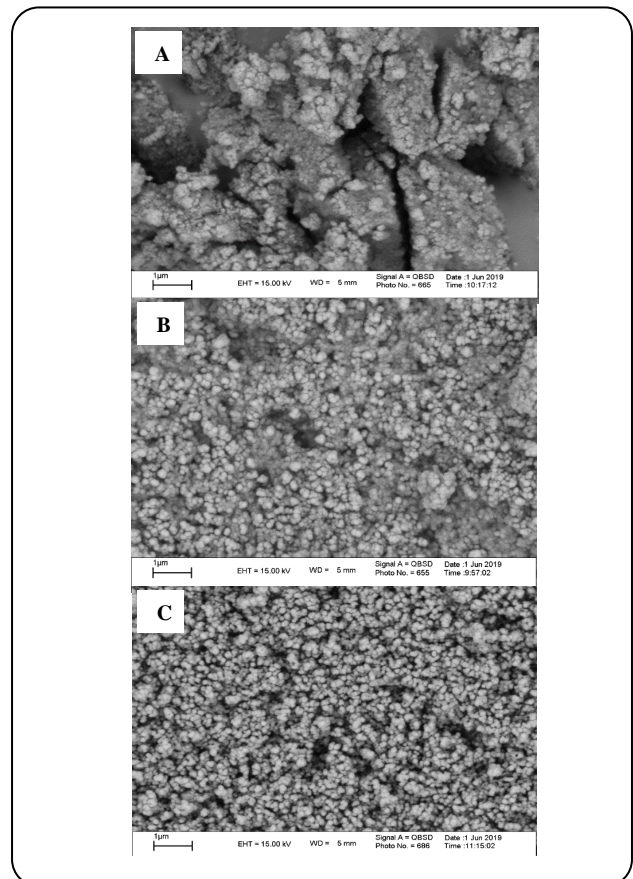
از نانو کمپلکس $[\text{Cu}(\text{DPC})(\text{H}_2\text{O})_3]$ به روش سورفکتانت

از گرما دادن این نانو کمپلکس به همراه اولئیک اسید در کوره در دمای 180°C درجه سلسیوس نانو ذره‌های CuO سنتز شدند. طیف FT-IR نانو ذره‌های مس اکسید به دست آمده از این روش در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به طیف‌ها ناخالصی مواد آلی در نانوذره‌های CuO دیده نمی‌شود.

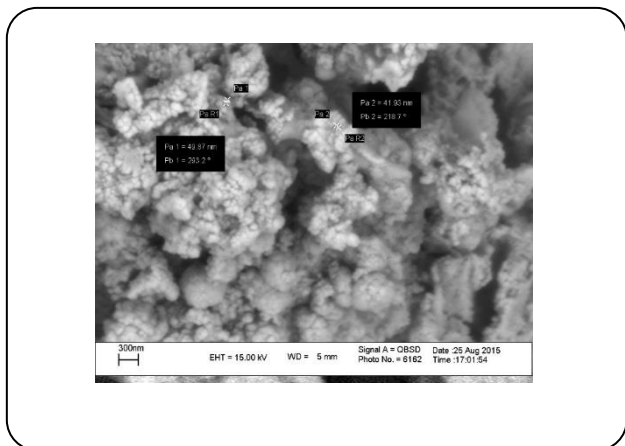
ریخت شناسی و اندازه ذره‌های سنتز شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۱). دما، سورفکتانت و نوع کمپلکس در شکل و اندازه‌ی نانو ذره‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود نانو ذره‌های CuO به روش سورفکتانت اولئیک اسید در دمای 180°C درجه سلسیوس از نظم خوبی برخوردارند ذره‌ها به صورت توده‌ای و کروی شکل می‌باشند و سورفکتانت اولئیک اسید دمای تجزیه کمپلکس را پایین می‌آورد.



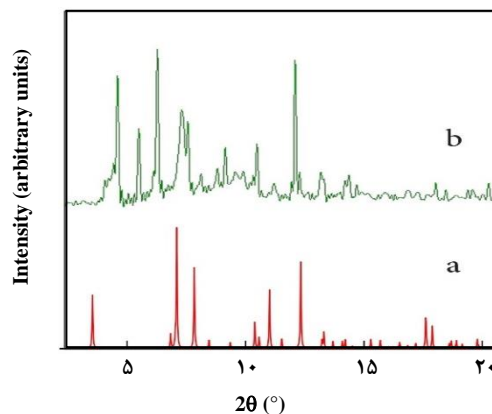
شکل ۶ - نمودار طیف جذب الکترونی نانو ساختارها غلظت ۰/۲M (A)، غلظت ۰/۱۵M (B)، غلظت ۰/۱M (C) و غلظت ۰/۰۷۵M (D).



شکل ۷ - تصویرهای SEM نانو ساختارها غلظت ۰/۲M (A)، غلظت ۰/۱۵M (B) و غلظت ۰/۱M (C)



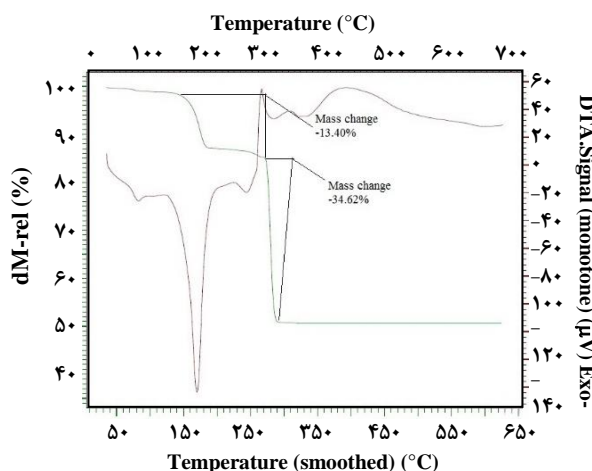
شکل ۱۱- تصویرهای SEM نانو ذره‌های CuO سنتز شده به روش سورفکتانت.



شکل ۸ - طیف XRD شبیه سازی شده با استفاده از داده‌های بلور نگاری (a) و نانو ذره‌های سنتز شده (b).

بررسی ساختار و ریخت شناسی نانو ذره‌های CuO سنتز شده از نانو کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ به روش کلسینه کردن در دمای ۴۵۰، ۵۰۰، ۵۵۰، ۶۰۰ درجه سلسیوس

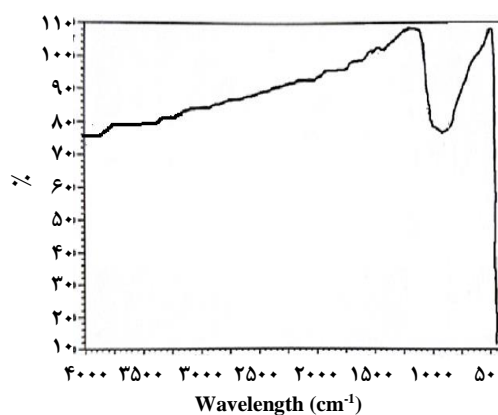
از گرما دادن نانو کمپلکس‌ها در کوره در دماهای ۶۰۰، ۵۵۰، ۵۰۰، ۴۵۰ درجه سلسیوس نانو ذره‌های CuO سنتز شده است. ریخت شناسی و اندازه ذره‌های سنتز شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مورد بررسی قرار گرفته است شکل ۱۲. دما نقش مهمی بر روی ریخت شناسی نانو ذره‌ها دارد. با افزایش دما پراکندگی ذره‌ها با نظم بهتری صورت گرفته است ولی اندازه نانوذره‌ها بزرگ‌تر می‌شود.



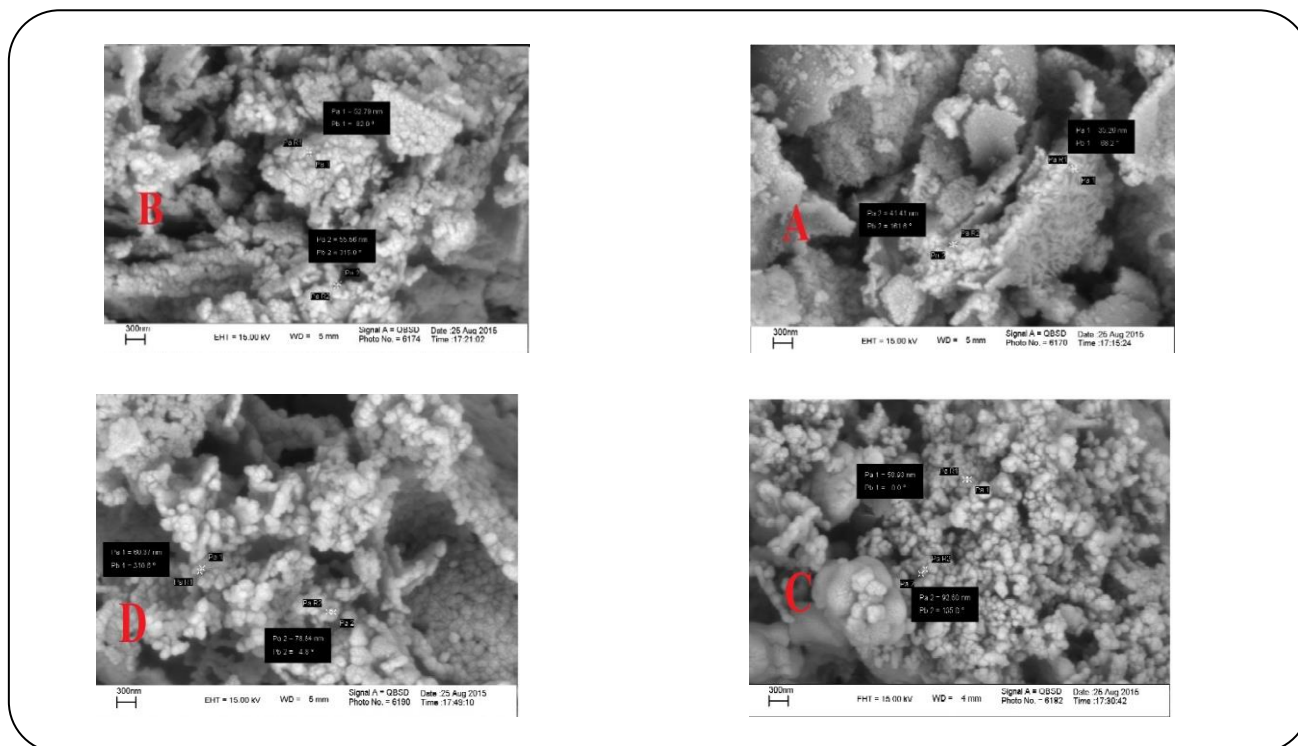
شکل ۹ - منحنی تجزیه گرمایی کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$.

نتیجه گیری

در این پژوهش کمپلکس $[Cu(DPC)(H_2O)_3]$ سنتز شد، همچنین از واکنش لیگاند (H_2DPC) با نمک مس سولفات در غلظت‌های گوناگون به وسیله‌ی تابش موج فراصوت نانو کمپلکس بالا سنتز شده و اثر پارامتر غلظت بر روی ریخت شناسی و اندازه ذره‌های به دست آمده مورد مطالعه قرار گرفت. نانوذره‌ها در غلظت‌های گوناگون ریخت شناسی متفاوت دارند و هرچقدر غلظت کم‌تر می‌شود ریخت شناسی و نظم نانو ذره‌ها بهتر می‌شود. ساختار نانو ذره‌های به دست آمده توسط پراش پرتو ایکس پودری و اسپکتروسکوپی فروسرخ مورد شناسایی قرار گرفت. ریخت شناسی این نانوذره‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت. نانوذره‌های CuO از این کمپلکس‌ها با استفاده از روش کلسینه کردن مستقیم در دماهای گوناگون و با استفاده از اولئیک اسید به عنوان



شکل ۱۰ - طیف FT-IR نانو ذره‌های CuO سنتز شده به وسیله سورفکتانت.



شکل ۱۲- تصاویر SEM در دماهای ۴۵۰ (A)، ۵۰۰ (B)، ۵۵۰ (C) و ۶۰۰ (D) درجه سلسیوس.

از کاربردهای نانوذره‌های CuO می‌توان به نیمه هادی بودن آنها اشاره کرد که کاربردهای گسترده‌ای در صنعت دارند.

در دمای ۱۸۰ درجه سلسیوس سنتز شدند. دما و سورفکتانت در شکل و اندازه‌ی نانو ذره‌ها تأثیر به‌سزایی دارد. تصاویر SEM به دست آمده از روش سورفکتانت نشان داد که نانوذره‌های CuO از نظم خوبی برخوردارند و اندازه‌ی آنها نسبت به نانوذره‌های CuO به دست آمده از روش کلسینه کردن مستقیم کم‌تر است.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۱

مراجع:

- [1] Shahverdizadeh G.H., Morsali A., [Sonochemical Synthesis of One-Dimensional Nano-Structure of Three-Dimensional Cadmium \(II\) Coordination Polymer](#), *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **21**: 694–699 (2011)
- [2] Shahverdizadeh G.H., Hakimi F., Mirtamizdoust B., Soudi A., Talemi P., [Synthesis and Structural Characterization of New Lead\(II\) Discrete and Infinite Cage-Like Framework: A Precursor to Produce Pure Phase Nano-Sized Lead\(II\) Oxide](#), *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, **22**: 903-909 (2012).
- [3] Mohaghegh F., Akhbari K., Phuruangrat A., [Preparation of Thallium Nanomaterials from Thallium \(I\) Coordination Polymers Precursors Synthesized by Green Sonochemical and Mechanochemical Processes.](#), *Ultrason. Sonochem.*, **40**: 594-600 (2018).
- [4] Stubbing J., Brown J., Price G.J., [Sonochemical Production of Nanoparticle Metal Oxides for Potential Use In Dentistry](#), *Ultrasonics Sonochemistry*, **35**: 646-654 (2016).

- [5] Huang L., Lee E.S., Kim K.B., [Electrodeposition of Monodisperse Copper Nanoparticles on Highly Oriented Pyrolytic Graphite Electrode with Modulation Potential Method](#), *Physicochem. Eng. Aspects*, **262**: 125-131 (2005).
- [6] Khanna P.K., Gaikwad S., Adhyapak P.V., Singh N., Marimuthu R., [Synthesis and Characterization of Copper Nanoparticles](#), *Materials Letters*, **25**: 4711-4714 (2007).
- [7] Salavati-Niasari M., Davar F., [Synthesis of Copper and Copper \(I\) Oxide Nanoparticles by Thermal Decomposition of a New Precursor](#), *Materials Letters*, **63(3)**: 441-443 (2009).
- [8] Dar M. A., Kim Y. S., Kim W. B., Sohn J. M., Shin H. S., [Structural and Magnetic Properties of CuO Nanoneedles Synthesized by Hydrothermal Method](#), *Applied Surface Science*, **254(227)**: 477-7481 (2008).
- [9] Mao L., Wang Y., Qi Y., Cao M., Hu CH., [A Novel Three-Dimensional Supramolecular Framework with One-Dimensional Channels: Synthesis and Crystal Structure of \[Cu \(DPC\)\(H₂O\) 3\]\(H₂DPC= Pyridine-2, 6, J. M. Struc., 688: 197-201 \(2004\).](#)
- [10] Yue Ch., Lin Zh., Chen L., Jiang F., Hong M., [The 2D–3D Networks with Infinite Channels or Difform Chains of Copper \(II\) Complexes Via Weak Non-Covalent Interactions](#), *J. M. Struc.*, **779**: 16-22 (2005).
- [11] Colson A.C., Chen Ch., Morosan E., Whitmire K.H., [Synthesis of Phase-Pure Ferromagnetic Fe₃P Films from Single-Source Molecular Precursors](#), *Adv. Funct. Mater.*, **22**: 1850-1855 (2012).
- [12] Mirzaei M., Aghabozorg H., Hosseini, H.A., [Brief Review of Structural Concepts of Novel Supramolecular Proton Transfer Compounds and their Metal Complexes \(part II\)](#), *J. Iran. Chem. Soc.*, **8**: 580-607 (2011).
- [13] Mirzaei M., Hosseini H.E., Karrabi Z., Notash B., [catena-Poly\[\[di-μ₂-aqua-hexa-aquabis-\(μ₃-4-oxido-pyridine-2,6-di-carboxyl-ato\)tri-manganese\(II\)\] trihydrate\]: A New One-Dimensional Coordination Polymer Based on a Trinuclear Mn\(II\) Complex of Chelidamic Acid](#), *Acta Cryst.*, **C69**: 1140-1143 (2013).
- [14] Mirzaei M., Eshtiagh-Hosseini H., Lippolis V., Aghabozor H., Kordestani D., Shokrollahi A., Aghaei R., Blake A.J., [Structural Variation within UraniumVI Heterocyclic Carboxylates: Solid and Solution States Studies](#), *Inorganica Chimica Acta*, **3**: 141–149 (2011).