



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال نهم، شماره‌ی ۳۵
تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۲۷-۲۱

سنتز هیدروترمال و خاصیت فوتولومینسانس ترکیب جدید نانوهیبرید آلی- معدنی بر پایه مس، مولیبدن و ۴-سیانوپیریدین

رویا رنجینه خجسته

گروه شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Email: r_ranjinehkhajasteh@iau-tnb.ac.ir

صفورا قلنجی

گروه شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

Email: safooraghelenji@gmail.com

چکیده

ترکیب جدید نانو کریستالی با استفاده از Cu(II) و MoO_3 و 4-CN-py (4-cyanopyridine) به روش هیدروترمال سنتز شده است. ساختار، مورفولوژی و خاصیت فوتولومینسانس نانو کریستال‌ها به وسیله پراش اشعه ایکس (XRD)، طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف فوتولومینسانس (PL)، آنالیزهای وزن سنجی گرمایی (TGA-DTA) و آنالیز عنصری (EDX) بررسی شده است. در تهیه ترکیب تاثیر عواملی همچون نوع و غلظت مواد اولیه، مقادیر pH، دما و زمان واکنش بر روی ساختار و مورفولوژی نانو کریستال‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که مقدار pH محلول اولیه بر سایز نانوپودرهای سنتزی تاثیر داشته و با افزایش pH مورفولوژی نانو ساختارها تغییر کرده و سایز کریستال‌ها افزایش می‌یابد. ترکیب حاصل در فاز مونوکلینیک کریستالیزه شده و ساختار آن شامل گروه‌های فاصله‌دهنده 4-CN-py است که به صورت پل بین واحدهای CuMoO_4 قرار گرفته و شبکه‌ای سه بعدی را با سایز ۳۰ nm در pH خنثی تشکیل می‌دهند. نانو کریستال‌های حاصل نشر PL شدیدی را در دمای اتاق با پیک ماکزیمی در ۴۴۸ nm با برانگیختگی در طول موج ۲۷۰ nm نشان می‌دهند.

کلیدواژه: نانوهیبرید آلی-معدنی، فوتولومینسانس، هیدروترمال، نانوذرات.

مقدمه

به دلیل خواص و ویژگی‌های منحصر بفردی که مواد نانو هیبرید آلی-معدنی در صنایع مختلف از خود نشان داده‌اند، تمایل بسیار زیادی به تهیه و بررسی کاربردهای آن‌ها وجود دارد. ویژگی‌های سطحی و حجمی نانو هیبریدهای آلی-معدنی و هم‌چنین نسبت سطح به حجم ماده در مقیاس نانومتری تغییرات چشم‌گیری را در این مواد ایجاد می‌کنند [۴-۱].

مهندسی نانو کریستال‌های مواد هیبرید آلی-معدنی از دو جنبه مورد توجه است، یکی از نظر تفاوت در انعطاف‌پذیری ساختاری آن‌ها [۵] و دیگری از نظر قابلیت کاربرد آن‌ها به-عنوان کاتالیست، ذخیره گاز، جداسازی، تبادل یون و الکترومغناطیس [۶-۱۰]. یکی از روش‌هایی که به‌طور گسترده برای سنتز این مواد به‌کار می‌رود، استفاده از کریستالیزاسیون هیدروترمال در حضور آمین‌های چند عاملی آلی است. لیگاندهای چند عاملی آلی نیتروژن دار مانند بی‌پیریدین [۱۱] اتیلن دی آمین [۱۲]، فنانترویلین [۱۳] و ... به‌صورت پل بین بلوک‌های ساختمانی مولیبدات‌ها قرار گرفته و به‌عنوان عوامل جهت‌دهنده ساختاری برای تسهیل تشکیل شبکه‌های مختلف، به‌طور گسترده در ساختار مواد نانو هیبرید آلی-معدنی به‌کار می‌روند. این لیگاندها نه تنها به‌عنوان عوامل کوئوردیناسیون به فلزات واسطه به‌کار می‌روند بلکه با تشکیل برهم‌کنش‌های بین مولکولی مانند پیوند هیدروژنی، باعث تشکیل شبکه‌های یک بعدی یا چند بعدی می‌شوند [۱۴-۱۶]. این ترکیبات معمولاً با روش هیدروترمال در حالت جامد و در دمای بالاتر از 150°C سنتز می‌شوند. مزیت این روش آن است که هم‌وزن شیمیایی، خلوص مورفولوژی، شکل و فاز ترکیب کریستال-ها تحت شرایط معتدلی کنترل شده و در نتیجه ساختاری نانو کریستالی با قابلیت‌های مختلف مانند خواص الکتریکی به-دست می‌آید.

مواد هیبرید آلی-معدنی بیش‌تر از نظر نوع ساختار بلوری بررسی شده‌اند، اما تهیه نانوذرات آن‌ها گزارش نشده است

بنابراین ما علاقمند شدیم تا این نانوذرات را تهیه کرده و ساختار و خواص آن‌ها را مورد بررسی قرار دهیم. در این مقاله، روش هیدروترمال برای سنتز پودرهای نانو ساختاری مس (Cu(II)) و مولیبدن (Mo(VI)) به‌وسیله فاصله دهنده-های ۴- سیانوپیریدین (4-CN-py) به‌کار رفته است. تاثیر عوامل موثر بر فرآیند هیدروترمال و مقادیر pH بر روی مورفولوژی نانوکریستال‌ها و هم‌چنین خاصیت لومینسانس آن مورد بحث قرار گرفته است.

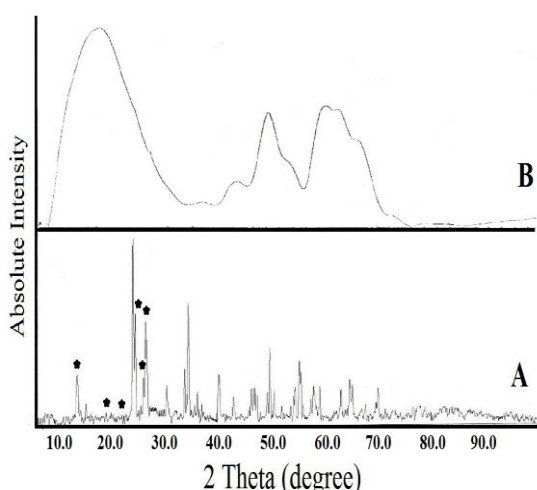
مواد و روش‌ها

- مواد و دستگاه‌ها

تمام مواد شیمیایی از شرکت مرک و آلدریچ تهیه شده و بدون خالص‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است. دستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتست از: ۱) دستگاه طیف سنجی FT-IR با مدل Perkin-Elmer 78، ۲) دستگاه پراش اشعه ایکس پودری (XRD) با مدل STOE-SEIPID، ۳) میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آنالیز عنصری (EDX) با مدل EM3200-KYKY، ۵) دستگاه طیف سنج فوتولومینسانس (PL) با مدل Perkin-Elmer، ۴) دستگاه آنالیز حرارتی- گرماسنجی تفاضلی- طیف سنج جرمی (TGA- DTA-MS) با مدل STA 503 BHR.

- روش عمومی تهیه نانوکریستال‌ها

مخلوطی از مس سولفات ۵ آب، مولیبدن تری اکسید، ۴- سیانوپیریدین و آب با نسبت‌های مولی به ترتیب (۱:۱:۱:۵) و (۲:۱:۱:۵) در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه هم‌زده شدند. pH مخلوط به‌وسیله محلول‌های آبی کلریدریک اسید و سود ۱ مولار دقیقاً در ۲ و ۴ و ۶ و ۱۰ تنظیم شد. مخلوط به یک اتوکلاو استینلس استیل با لایه تفلونی (۲۵ mL) منتقل شده و دما با سرعت $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، ۵ افزایش داده شد تا در دمای 180°C ثابت گردید. پس از ۴ روز، دما با سرعت $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ، ۵ کاهش داده شد تا به دمای اتاق برسد. در پایان واکنش، مقدار pH محلول تغییری نداشت. رسوب سیاه رنگ (با راندمان ۷۸/۴٪ بر



شکل ۱: الگوهای پراش اشعه ایکس نانو کریستال‌هایی که به روش هیدروترمال از سوسپانسیون مواد اولیه با نسبت‌های مولی (A) $Cu/Mo=1$ و (B) $Cu/Mo=2$ سنتز شده است.

شکل ۲ الگوهای پراش اشعه X نانو کریستال‌هایی که با نسبت مولی $Cu/Mo=2$ سنتز شده‌اند را در pH های مختلف نشان می‌دهد. نانو کریستال‌های حاصل در pH های کم‌تر از ۸ از ۲ فاز تشکیل شده است. اولین فاز، فاز اصلی (p-copper bis(cyanopyridine) مربوط به JCPDS No. 00-024-1914 است و دومین فاز، فاز کوچک‌تر $CuMoO_4$ مربوط به JCPDS No. 00-028-1469 است. در شکل ۲ پیک‌های فاز اصلی با علامت * و پیک‌های مربوط به فاز $CuMoO_4$ با علامت \uparrow مشخص شده است. فاز اصلی در pH های ۴، ۶ و ۸ مونوکلینیک است که اولین پیک بلند آن در $2\theta \approx 16.251$ ، دومین پیک بلند در $2\theta \approx 24.299$ و سومین پیک بلند در $2\theta \approx 27.250$ مشاهده می‌شوند. در pH ۲ فاز کوچک‌تر، فاز غالب است که اولین پیک بلند آن در $2\theta \approx 13.782$ ، دومین پیک بلند در $2\theta \approx 33.103$ و سومین پیک بلند در $2\theta \approx 48.818$ مشاهده می‌شوند. پیک‌های کوچکی که در 2θ بیش‌تر از ۵۰ مشاهده می‌شوند مربوط به پیک‌های پراش فاز کوچک‌تر است و اورلپ در پیک‌های این دو فاز دیده می‌شود.

اساس Cu) را صاف کرده، با آب مقطر شستشو داده شد و در دمای اتاق در دسیکاتور خشک شد. محصول دارای نقطه ذوب $1600^\circ C$ و غیر قابل حل در آب و سایر حلال‌های معمول می‌باشد.

بحث و یافته‌ها

- تحلیل الگوی پراش اشعه X

عوامل بسیاری بر تشکیل محصولات نانو کریستالی موثر است. این عوامل عموماً عبارتند از: نوع مواد اولیه، نسبت مولی، مقادیر pH، زمان واکنش و دما در طی پروسه سنتز هیدروترمال. با تغییر این عوامل واکنش‌های بسیاری در شرایط مختلف انجام شده است. دما در محدوده $150^\circ C$ - $200^\circ C$ و زمان واکنش از ۲ تا ۶ روز بررسی شد و نهایتاً نتیجه گرفتیم که نانو کریستال‌های مناسب در دمای $180^\circ C$ به مدت ۴ روز تشکیل می‌شوند. با تغییر ماده اولیه از مولیبدن تری اکسید به آمونیم هپتا مولیبدات هیچ محصول نانو کریستالی تشکیل نشد.

XRD برای بررسی تغییرات ساختار فازی نانو پودرهای حاصل به کار رفته است. شکل ۱ الگوهای پراش اشعه X پودرهای سنتزی را نشان می‌دهد که از سوسپانسیون مواد اولیه شامل مس سولفات ۵ آب، مولیبدن تری اکسید، ۴-سیانوپیپریدین و آب به روش هیدروترمال در pH ۵ و در دمای $180^\circ C$ به مدت ۴ روز با نسبت‌های مولی مختلف Cu/Mo انجام شده است. با توجه به الگوهای پراش اشعه X مشاهده می‌شود که پودرهای سنتز شده از نسبت مولی $Cu/Mo=1$ مواد اولیه کریستال‌های آمورف (شکل ۱-B) تشکیل می‌دهند در حالی که با نسبت مولی $Cu/Mo=2$ نمونه کاملاً کریستالیزه (شکل ۱-A) می‌شود. این مسئله نشان‌دهنده آن است که نانو کریستال‌های سنتزی با مقدار اضافی از MoO_3 هسته زایی بهتری را ایجاد می‌کنند.

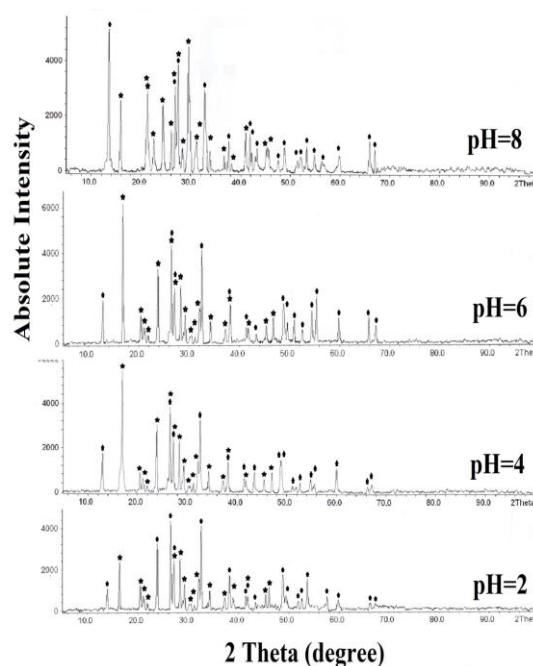
۱ ارائه شده است. بر اساس این رابطه میانگین سایز نانوکریستال‌ها در pH های مختلف در محدوده ۳۳-۵۲ به دست آمده است. نتایج XRD نشان می‌دهند که تغییر pH تاثیر ویژه و مشخصی بر سایز کریستال‌ها ندارد.

جدول ۱- قطر متوسط بلندترین ۵ پیک پراش نانوکریستال‌های تهیه شده در pH های مختلف

شماره پیک	D(pH=8) (nm)	D(pH=6) (nm)	D(pH=4) (nm)	D(pH=2) (nm)
۱	۴۳/۹۹	۴۹/۷۹	۴۴/۸۸	۴۱/۶۵
۲	۳۶/۸۹	۴۱/۷۳	۳۷/۹۳	۴۰/۸۹
۳	۳۸/۲۸	۴۰/۷۷	۳۶/۸۸	۵۲/۸۳
۴	۵۰/۴۹	۴۳/۹۴	۴۵/۵۵	۴۹/۰۲
۵	۴۱/۲۰	۳۶/۸۷	۳۴/۶۶	۳۳/۹۶

- تحلیل مورفولوژی

شکل ۳ میکروگراف‌های SEM کریستال‌هایی را نشان می‌دهد که با نسبت مولی Cu/Mo=۲ در pH های مختلف انجام شده است. نتایج نشان می‌دهند که نانوکریستال‌ها در تمامی pH های ۲-۱۰ می‌توانند تشکیل شوند اما مورفولوژی کریستال‌ها در pH های مختلف تغییر می‌کند. مورفولوژی نانوکریستال‌ها در pH های ۲ و ۶ و ۱۰ به صورت کروی (spherical) با سایز ۳۸-۵۰ nm و در pH ۴ با سایز ۳۰ nm و در pH ۸ به صورت صفحه‌ای (plate) با سایز ۳۵ nm است، بنابراین طبق SEM کوچک‌ترین سایز کریستال‌ها در pH ۴ (۳۰ nm) مشاهده می‌شود.



شکل ۲: الگوهای پراش اشعه X نانوکریستال‌هایی که با نسبت مولی Cu/Mo=۲ در pH های مختلف سنتز شده‌اند (پیک‌های فازهای اصلی و فرعی به ترتیب با علامت * و ↑ مشخص شده است)

با افزایش pH از ۲ به ۴ و ۶ شدت پیک‌های پراش اصلی افزایش می‌یابد و در مقابل شدت پیک‌های پراش فاز کوچک‌تر بسیار کاهش می‌یابند. در pH ۸ شدت پیک‌های فاز اصلی مجدداً کمی کاهش یافته و نهایتاً در pH ۱۰ پهن شدگی پیک‌ها دلالت بر آمورف شدن پودرها دارد. نتایج پیشنهاد می‌کنند که شرایط pH خنثی یا قلیایی کم برای تشکیل فاز اصلی مطلوب‌تر است در حالی که فاز کوچک‌تر در شرایط اسیدی بهتر تشکیل می‌شود. میانگین سایز کریستال‌ها به وسیله معادله شرر (رابطه ۱) تخمین زده می‌شود.

$$0.9 \lambda / \beta \cos \theta = D \quad (1)$$

در این رابطه، D قطر متوسط دانه‌ها (بر حسب نانومتر)، λ طول موج اشعه مورد استفاده (بر حسب نانومتر)، β عرض پیک در نصف ارتفاع (بر حسب رادیان) و θ زاویه پراش براگ (بر حسب رادیان) است. نتایج بلندترین ۵ پیک پراش در pH های مختلف از رابطه شرر حساب شده و در جدول

در جدول ۲ درصدها و نسبت‌های وزنی حاصل از آنالیز عنصری EDX نانوپودرهای حاصل از pH های ۱۰-۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از جدول نشان می‌دهد که با افزایش مقدار pH به وضوح نسبت درصدهای وزنی Cu/Mo افزایش می‌یابد. نسبت Cu به Mo در pH های ۴ و ۶ به ترتیب تقریباً ۱ به ۴ و ۱ به ۳ به دست آمده است.

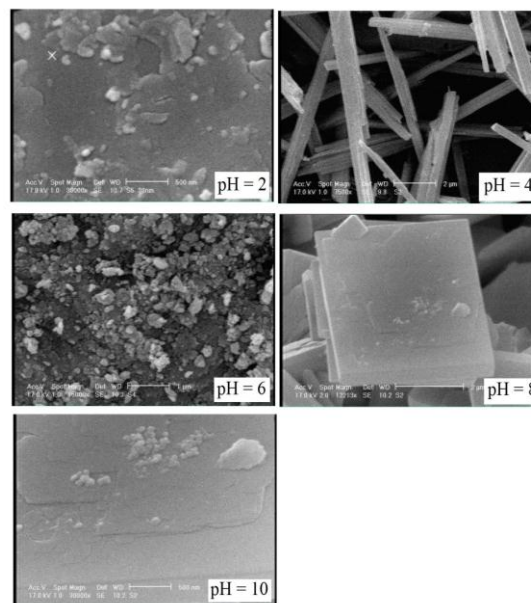
جدول ۲- درصدها و نسبت‌های وزنی حاصل از آنالیز عنصری

EDX نانوپودرهای تهیه شده در pH های ۲ تا ۱۰

pH	۲	۴	۶	۸	۱۰
Mo (Wt %)	۲۸/۶۶	۱۶/۱۵	۱۷/۷۷	۱۴/۸۷	۵/۹۲
Cu (Wt %)	۱/۴۰	۳/۳۵	۵/۵۱	۱۸/۳۳	۴۷/۹۹
4-CN-py (Wt %)	۶۹/۹۴	۸۰/۵۰	۷۶/۷۱	۶۶/۸۰	۴۶/۰۹
Cu/Mo	۰/۰۴۹	۰/۲۱	۰/۳۱	۱/۲۳	۸/۱۱
Cu/4-CN-py	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۲۷	۱/۰۴

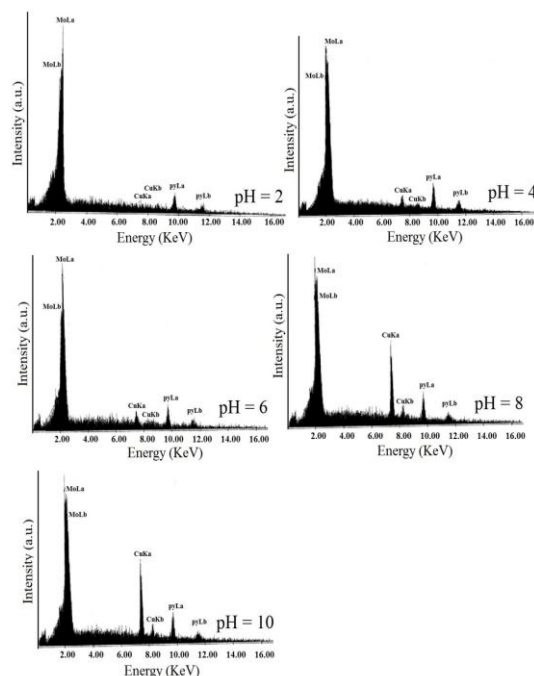
- تحلیل وزن سنجی گرمایی

شکل ۵ آنالیز وزن سنجی حرارتی TGA و DTA نانوکریستال تهیه شده در pH=۴ را نشان می‌دهد. نمودار TGA محصول حاصل با سرعت گرمادهی $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ در اتمسفر هوا شامل سه مرحله کاهش وزنی است. اولین کاهش وزنی ۹/۴۳٪ در دمای کم‌تر از $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ مربوط به ترک مولکول‌های آب شبکه است که با پیک گرمایگر $79/24\text{ }^{\circ}\text{C}$ DTA مطابقت دارد. دومین کاهش وزنی ۳۱/۲۳٪ در محدوده دمایی $205-459\text{ }^{\circ}\text{C}$ مربوط به ترک مولکول‌های آب کوئوردینه شده است که با پیک گرمایزی $249/11\text{ }^{\circ}\text{C}$ DTA تائید می‌گردد. سومین کاهش وزنی ۲۳/۴۲٪ در محدوده دمایی $471-533\text{ }^{\circ}\text{C}$ همراه با دکامپوز شدن لیگند 4-CN-py و ساختار کمپلکس است که با پیک گرمایزی $511/04\text{ }^{\circ}\text{C}$ DTA تائید می‌گردد.



شکل ۳: میکروگراف‌های SEM کریستال‌هایی که با نسبت مولی Cu/Mo=۲ در pH های مختلف تهیه شده است.

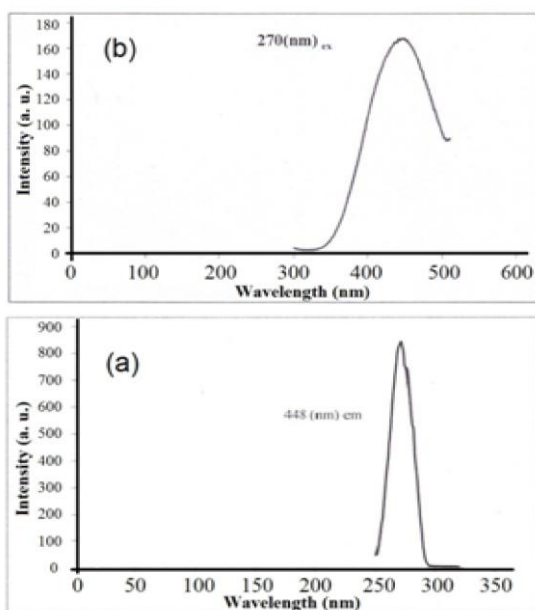
در شکل ۴ طیف‌های آنالیز عنصری EDX محصولات در pH های ۱۰-۲ ارائه شده و حضور عناصر Cu و Mo و گروه آلی 4-CN-py را در هر دو فاز تائید می‌کند.



شکل ۴: طیف‌های آنالیز عنصری EDX محصولات در pH های ۲ تا ۱۰.

- تحلیل فوتولومینسانس

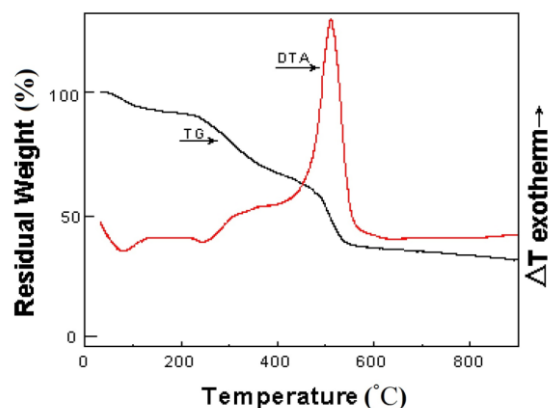
طیف نشری و جذبی نانو کریستال‌های تهیه شده در pH ۴ در حالت جامد و در دمای اتاق در شکل ۶ نشان داده شده است. نانو کریستال‌های حاصل فوتولومینسانس شدیدی را با ماکزیمم نشری طول موج ۴۴۸ nm بر اساس برانگیختگی در طول موج ۲۷۰ nm نشان می‌دهد که این نور می‌تواند به نشر انتقال بار LMCT نسبت داده شود و نتیجه می‌گیریم که این ترکیب جزو مواد فوتولومینسانس می‌باشد.



شکل ۶: طیف جذبی (a) و نشری (b) نانو کریستال تهیه شده در pH ۴

نتیجه گیری

ترکیب هیبرید آلی-معدنی جدید بر اساس Cu(II) و MoO_3 و 4-CN-py تحت شرایط هیدروترمال سنتز شده است. این ترکیب نشان می‌دهد که می‌توان گروه معدنی MoO_4 را به‌طور کوالانسی به کمپلکس‌های فلزات واسطه-ای مانند Cu-CN-py متصل نمود و ساختارهای چند بعدی جالبی را به‌دست آورد. در طی فرآیند سنتز مشاهده شد که نسبت‌های مولی Cu/Mo، مقادیر pH، دما و زمان واکنش به‌طور موثری بر روی مورفولوژی و نانو ساختار کریستال‌های نهایی تاثیر می‌گذارند. بر اساس الگوهای XRD نانو پودرهای حاصل فازهای مختلفی نشان می‌دهند که در pH



شکل ۵: آنالیز وزن سنجی گرمایی (TGA-DTA) نانو کریستال تهیه شده در pH=۴

- تحلیل طیف‌های مادون قرمز

طیف IR ترکیبات حاصل از pH ۱۰-۲ نوارهای مربوط به ارتعاشات کششی آب را در محدوده $3700-3330 \text{ cm}^{-1}$ ، C-N در محدوده $1238-1288 \text{ cm}^{-1}$ و حلقه C=C در 4-CN-py را در محدوده $1508-1516 \text{ cm}^{-1}$ نشان می‌دهند. نوارهای ارتعاشات کششی Cu-N در محدوده $636-695 \text{ cm}^{-1}$ و Cu-O در محدوده $517-587 \text{ cm}^{-1}$ مشاهده می‌شوند. ارتعاشات کششی متقارن و نامتقارن گروه MoO_2 در حدود 800 و 950 cm^{-1} شناسایی شدند.

جدول ۳- نتایج حاصل از طیف IR نمونه‌های سنتز شده در pH های اندازه گیری شده

pH=۱۰	pH=۸	pH=۶	pH=۴	pH=۲	گروه‌های عاملی
۱۵۱۸	۱۵۲۷	۱۵۱۹	۱۵۱۸	۱۵۱۹	V(C=C)
۱۲۷۲	۱۲۴۵	۱۲۹۷	۱۲۶۶	۱۲۹۵	V(C-N)
۳۶۰۲	۳۳۸۱	۳۴۳۳	۳۴۳۲	۳۷۵۲	V(OH)
۸۷۸ و	۸۷۱ و	۸۵۹ و	۸۶۰ و	۸۲۸ و	v
۹۴۷	۹۶۰	۹۲۹	۹۳۲	۹۵۸	(MoO ₂)
۵۲۹	۵۷۶	۵۵۵	۵۵۶	۵۹۸	V(Cu-O)
۶۸۹	۶۷۴	۶۴۹	۶۴۲	۶۷۳	V(Cu-N)

- [10] Li, S., Han, C.-H., Mai, L.-Q., Han, J.-H., Xu, X., Zhu, Y.-Q., 2011, Rational synthesis of coaxial MoO₃/PTh nanowires with improved electrochemical cyclability, *International Journal of Electrochemical Science*, 6, 4504-4511.
- [11] Wang, H., Xie, J., Yan, K., Duan, M., 2011, Growth mechanism of different morphologies of ZnO crystals prepared by hydrothermal method, *Journal of Materials Science & Technology*, 27, 153-158.
- [12] Han, G. H., Lin, B. Z., Li, Z., Sun, D. Y., Liu, P. D., 2005, Hydrothermal synthesis and characterization of a new hybrid organic-inorganic compound [Cd(en)₃]MoO₄, *Journal of Molecular Structure*, 741, 31-35.
- [13] Wu, L., Ma, H., Han, Z., Li, C., 2009, Synthesis, structure and property of a new inorganic-organic hybrid compound [Cu(phen)₂][Cu(phen)H₂O]₂[Mo₅P₂O₂₃].3.5H₂O, *Solid State Sciences*, 11, 43-48.
- [14] Niu, J. Y., Guo, D. J., Wang, J. P., Zhao, J. W., 2004, 1D Polyoxometalate-based composite compounds derived from the Wells-Dawson subunit: synthesis and crystal structure, *Crystal Growth & Design*, 4, 241-247.
- [15] Feng, S., Pan, D., Wang, Z., 2011, Facile synthesis of cubic fluorite nano-Ce_{1-x}Zr_xO₂ via hydrothermal crystallization method, *Advanced Powder Technology*, 22, 678-681.
- [16] Nezamzadeh-Ejehieh, A., Salimi, Z., 2010, Heterogeneous photodegradation catalysis of o-phenylenediamine using CuO/X zeolite, *Applied Catalysis A: General*, 390, 110-118.

۴، ۶ و ۸ در فاز غالب مونوکلینیک کریستالیزه می‌شوند اما در pH ۲ و ۱۰ چنین فازی مشاهده نمی‌شود. بر اساس SEM، سایز ذرات با افزایش pH و ثابت نگاه داشتن سایر پارامترها افزایش می‌یابد و ذراتی با سایز کوچک‌تر از ۵۰ nm تشکیل می‌دهند. با توجه به نتایج حاصل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تشکیل نانو کریستال‌ها در محیط اسیدی و pH ۴ بهینه می‌باشد.

طیف فوتولومینسانس، ویژگی‌های نوری نانو کریستال‌های سنتزی را تأیید می‌کند که به تفاوت انرژی بین نوارهای ظرفیت و هدایت وابسته است. PL در دمای اتاق نشی در طول موج ۴۴۸ nm را حاصل از برانگیختگی در طول موج ۲۷۰ nm نشان می‌دهد.

قرارگیری گروه‌های 4-CN-py به صورت پل بین گونه‌های معدنی، باعث افزایش سختی ساختار و در نتیجه مشاهده نشر فلئوئورسان می‌شود. به نظر می‌رسد کریستالیزاسیون نانو پودرهای حاصل در pH خنثی و یا اسیدی کم تحت پروسه هسته زایی تصادفی کنترل می‌شوند.

منابع

- [1] Spodine, E., Valencia-Galvez, P., Fuentealba, P., Manzur, J., Ruiz, D., Venegas-Yazigi, D., 2011, Magnetic behavior of MnPS₃ phases intercalated by [Zn 2L] 2, *Journal of Solid State Chemistry*, 184, 1129-1134.
- [2] Hassan, M. F., Guo, Z. P., Chen, Z., Liu, H. K., 2010, Carbon-coated MoO₃ nanobelts as anode materials for lithium-ion batteries, *Journal of Power Sources*, 195, 2372-2376.
- [3] Ma, H.-Y., Wu, L.-Z., Pang, H.-J., Meng, X., Peng, J., 2010, Hydrothermal synthesis of two Anderson POM-supported transition metal organic-inorganic compounds, *Journal of Molecular Structure*, 967, 15-19.
- [4] Yan, M., Shen, Y., Zhao, L., Li, Z., 2011, Synthesis and photochromic properties of EDTA-induced MoO₃ powder, *Materials Research Bulletin*, 46, 1648-1653.
- [5] Dai, J., Zhang, C., Shi, L., Song, W., Wu, P., Huang, X., 2012, Low-temperature synthesis of ZnNb₂O₆ powders via hydrothermal method, *Ceramics International*, 38, 1211-1214.
- [6] Chang, J. S., Hwang, J. S., Jhung, S. H., Park, S. E., Ferey, G., Cheetham, A. K., 2004, Nanoporous metal-containing nickel phosphates: a class of shape-selective catalyst, *Angewandte Chemie International Edition*, 43, 2819-2822.
- [7] Perles, J., Iglesias, M., Martin-Luengo, M. A., Monge, M. A., Ruiz-Valero, C., Snejko, N., 2005, Metal-Organic Scandium Framework: Useful Material for Hydrogen Storage and Catalysis, *Chemistry of Materials*, 17, 5837-5842.
- [8] Liu, J., Ye, J., Liu, P., Chen, L., Zhang, M., 2011, Synthesis of monodisperse samarium-doped ceria nanocrystals via a microemulsion-mediated hydrothermal method with secondary light irradiation treatment, *Materials Letters*, 65, 143-145.
- [9] Xing, G., Xu, Y., Zhao, C., Wang, Y., Liu, T., Wu, G., 2011, Photoluminescence properties of CdMoO₄ disk and hollow microsphere-like crystals synthesized by hydrothermal conventional method, *Powder Technology*, 213, 109-115.