نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم
جلد۱۱، شماره ۳
تاریخ چاپ: پاییز ۱۳۹۱

سنتز و شناسایی برخی از باریم فسفونات‌ها: بررسی برخی ازعوامل مؤثر بر مورفولوژی (ریخت‌شناسی) آن‌ها

علی محمودی، سعید دهقان‌پور، *وحیده کرامتی: دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

یک روش هیدروترمال برای سنتز نانو ذرات باریم فسفونات در حضور سورفکتانت‌های ستیل تری متیل آمونیم بروماید (CTAB) یا سدیم دو دسیل سولفات (SDS) در pH = 6 طراحی شد. کمپلکس سنتز شده به کمک طیف‌بینی IR و EDAX و XRF شناسایی شد. فاز کریستالی کمپلکس توسط XRD مشخص گردید. مورفولوژی کمپلکس با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، بررسی شد و مشخص گردید کمپلکس ساختار لایه‌ای دارد. اثر تغییر حلّال بر مورفولوژی کمپلکس بررسی شد و تصاویر SEM این تغییر مورفولوژی را تأیید کرد و شکل‌های کروی و تقریباً میله‌ای از آن حاصل شد. پایداری گرمایی این کمپلکس، با آنالیز گرماسنجی وزنی (TGA) مشخص شد. با کمک داده‌های XRF کمپلکس مورد نظر، نسبت فلز به فسفر، ۲:۳ به‌دست آمد.

مقدمه

در سال‌های اخیر، پلیمرهای متخلخل کوئوردیناسیون (PCP ها)[۱]، به‌دلایل متعددی مانند کاتالیز [۱] تا [۶]، ذخیره‌سازی [۷] تا [۱۲]، تبادل یونی [۱۳]، [۱۴]، جداسازی [۱۵] تا [۲۲]، پلیمریزاسیون [۲۳]، [۲۴]، [۲۵] و همچنین زئولیت‌ها، به‌شکل گسترده‌ای بررسی شده‌اند.

پلیمرها بدین سبب به این نام خوانده می‌شوند که ساختار نامتناهی متشکل از پیوندهای کوئوردیناسیون یون‌های فلزی و لیگاندهای آلی [۲۶]، [۲۷]، [۲۸]، را گسترش می‌دهند. PCPها چارچوب منظم دارند که ساختارهای خلل و فرج با اندازهٔ روزنهٔ مطلوب، شکل روزنه و سطوح عملیاتی روزنه را ارائه می‌کنند و در کاربردهای مربوط به جداسازی و تفکیک، مفید هستند [۲۹]، [۳۰]، [۳۱].

ساختارها و ویژگی‌های PCPها از طریق برخی از مولکول‌ها و یون‌های مسدود شده در حفره‌های ریزشان، قابل کنترل است. به‌طور کلی، حفره‌های ریز PCPها، در ابتدا با حلّال به‌کار گرفته شده در واکنش سنتز (حلّالی مثل آب) پر می‌شوند که به‌عنوان الگو عمل می‌کند.

واژه‌های کلیدی:
دریافت ۸۹/۹/۸ پذیرش۹۰/۱۱/۸
*نویسنده مسئول mmirala@ymail.com

۱. Porous Coordination Polymer

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

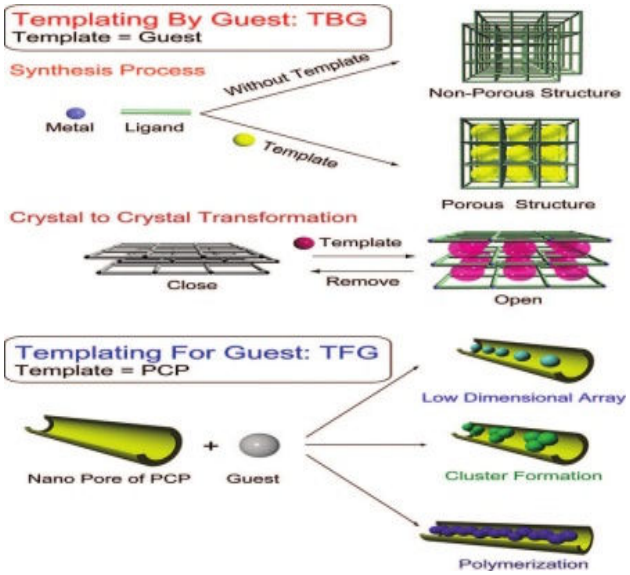
PCPها به‌عنوان الگو، فواید و مزیت‌هایی دارند:

۱. نانوکانال‌های به خوبی تنظیم شده همراه با بلورینگی
۲. سطوح قابل طراحی حفره که منجر به دیواره‌های گوناگون شده است
۳. انواع اشکال کانال در محدودهٔ 1D – 3D

تأثیر الگو در PCP ها را می‌توان به دو نوع تقسیم کرد: (مطابق شکل ۱)

a) الگوگیری با مهمان‌ها، TBG[۱]: مولکول‌های مهمان به‌عنوان الگو عمل می‌کنند. انواع الگو، مولکول کوچک مجزایی است که به‌عنوان واحد مجزایی در چارچوب PCP گنجانده می‌شود [۳۲]، [۳۳]، [۳۴]

b) الگوگیری برای مهمان‌ها، TFG[۲]: چارچوب‌های PCP به‌عنوان یک الگو عمل می‌کنند. چارچوب PCP، داربستی را به‌همراه فضاهای خالی ارائه می‌کند [۳۵]، [۳۶]، [۳۷].



شکل ۱. تأثیرات الگو در PCP ها

روش سنتز

به‌طور کلی PCPها با استفاده از حلّال به‌عنوان حدواسط برای القای چارچوب منظم در فاز مایع سنتز می‌شوند. واکنش از طریق ترکیب محلول یون‌های فلزی با محلول لیگاندها در دمای اتاق یا تحت شرایط هیدروترمال/ سولووترمال قابل انجام است [۳۸]. سه نوع لیگاندی که اغلب استفاده می‌شوند، لیگاندهای خنثی، کاتیونی و آنیونی را شامل می‌شوند.

۱. Templating By Guest ۲. Templating For Guest

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

فسفونات‌های فلزی

در سال‌های اخیر، فسفونات‌های فلزی که دسته‌ای غنی از مواد هیبریدی آلی- فلزی هستند، به‌دلیل کاربرد احتمالی‌شان در کاتالیز، تبادل یون، رسانش پروتون، مادهٔ جذب کننده، حس‌گرها و شیمی بین لایه‌ای، در معرض رشد و توسعهٔ چشم‌گیری قرار گرفته‌اند [۳۹].

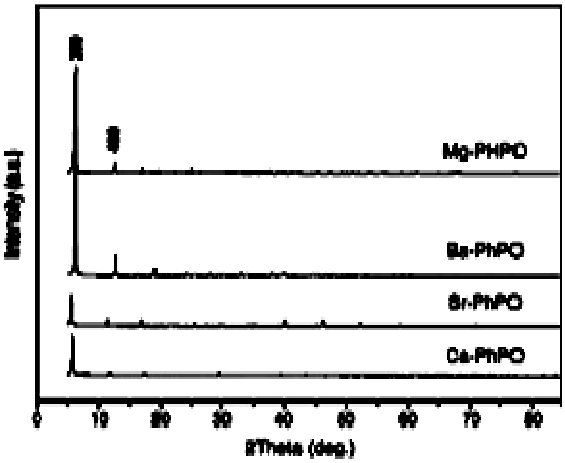
مواد هیبریدی آلی-فلزی، ترکیباتی شامل مولکول‌های آلی و قسمت‌های غیرآلی هستند. چنین موادی به دو بخش تقسیم می‌شوند:

۱. پلیمرهای کئوردینه شده که به‌عنوان آرایه‌های مرکب از اتم‌های فلزی با کلاسترهای پل شده با مولکول‌های آلی تعریف می‌شوند.

۲. اکسیدهای فلزی هیبریدی که بخشی از ساختارشان شامل آرایه‌های فلز– اکسیژن– فلز (M – O – M) است.

فنیل فسفونات‌های قلیایی خاکی معمولاً ساختار لایه‌ای را تشکیل می‌دهند و می‌توانند به‌عنوان مادهٔ میزبان برای بررسی برهم‌کنش‌های مهمان– میزبان و پایداری ساختاری به کاربرده شوند، که برای رسیدن به یک نوع مادهٔ فعال به‌عنوان ذخیرهٔ مواد و کاتالیز انتقال فاز اهمیت بسیاری دارد.

لو[۱] و همکارانش نانو کریستال‌هایی به شکل‌های نانولایه[۲]، نانوگل[۳] و نانونوار[۴] فنیل فسفونات‌های قلیایی خاکی به روش سولوو ترمال به‌وسیلهٔ واکنش نمک فلز قلیایی خاکی با فنیل فسفونات در اتیلن گلیکول تهیه کردند [۴۰] (شکل‌های ۲ و ۳).

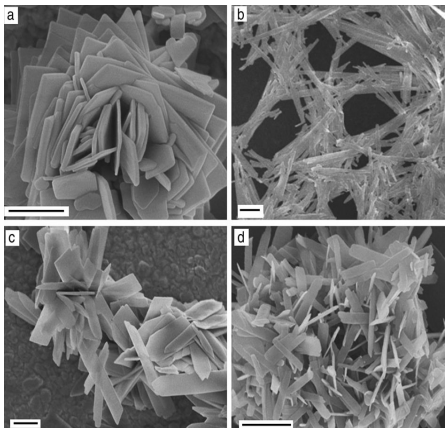


شکل ۲. XRD پودر فسفونات‌های فلز قلیایی خاکی

در این پژوهش، ما سنتز فسفونات فلز قلیایی خاکی باریم را تحت شرایط هیدروترمال و سولو وترمال بررسی کردیم، درحالی که از CTAB (ستیل تری متیل آمونیوم برماید) یا SDS (سدیم دو دسیل سولفات) استفاده می‌کنیم.

۱. Can-Zhong Lu ۲. nanosheets ۳. nanoflowers ۴. nanoribbons

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



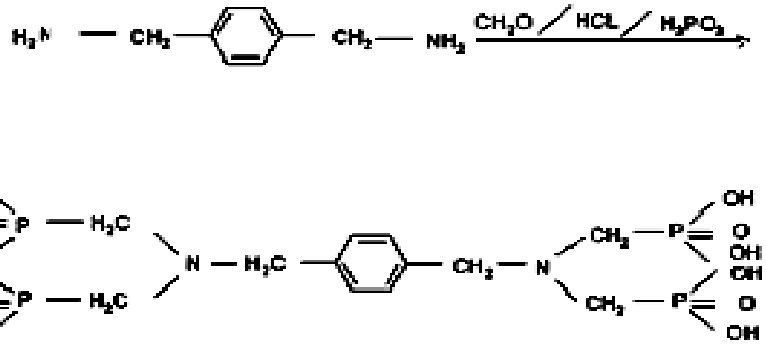
شکل ۳. تصاویر SEM فسفونات‌های فلز قلیایی خاکی A) ساختارنانولایه‌های b[1]Mg-PhPO) نانوکمربندهای Ca-PhPO c) نانولایه‌های Sr-PhPO d) نانولایه‌های Ba-PhPO

بخش تجربی

چند سالی است که بررسی انواع فسفونات‌ها مورد توجه قرار گرفته است. هدف، سنتز کمپلکس‌هایی از نمک‌های باریم با فسفونات و تعیین مورفولوژی و خواص آن‌ها است.

سنتز لیگاند (H_8L): برای تهیهٔ لیگاند، مخلوطی از ۲/۲۵ گرم از ۱-۴-بیس (آمینو متیل) بنزن (۱۶/۳ میلی‌مول) و ۱۴ گرم از فسفرو اسید و ۴ گرم از فرم آلدئید (CH2O) و ۶/۵ میلی‌لیتر هیدرو کلریک اسید غلیظ در ۵ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شد، سپس این محلول را در یک بالن ریخته و بالن را مجهز به همزن مغناطیسی می‌کنیم و می‌گذاریم تا واکنش به مدت ۳ ساعت انجام پذیرد. سپس مخلوط حاصل را صاف کرده و رسوب حاصل را خشک و با هیدروکلریک اسید نوبلور می کنیم.

سنتز کمپلکس با استفاده از باریم کلراید و لیگاند: در این روش مخلوطی از ۰/۲۲ گرم (۱/۰۵ میلی‌مول) از باریم کلراید و ۰/۲ گرم از لیگاند در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه شد و برای مدت ۵ دقیقه با همزن مغناطیسی به هم زده شد. سپس قطره قطره محلول تترا متیل آمونیم هیدروکساید ۲۵% به آن اضافه شد و pH محلول در ۶ ثابت شد.



۱. Phenylphosphonic acid

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

سوسپانسیون حاصل در یک ظرف استیل با لایه‌ای از تفلون با ظرفیت ۲۵ میلی‌لیتر ریخته شد و در یک آون با برنامهٔ دمایی زیر گرما داده شد:

ابتدا به مدت ۵ ساعت دما افزایش یافت تا به ۱۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد رسید و در این دما به‌مدت ۴۸ ساعت گرما داده شد، بعد از آن به‌مدت ۵ ساعت دما کاهش یافت تا به دمای محیط رسید.

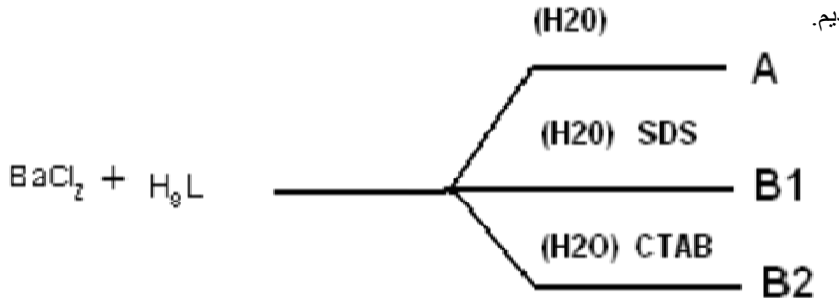
بعد از این مدت رسوب سفید رنگی حاصل شد. پس از صاف کردن این مخلوط، رسوب روی کاغذ صافی سه بار با آب مقطر و سه بار با اتانول ۹۹% و در انتها یک بار با آب مقطر شسته شد. در انتها رسوب باقی مانده در مجاورت هوا خشک شد.

از این قسمت به بعد، تأثیرات مواد افزودنی نظیر سورفکتانت‌ها بر مورفولوژی کمپلکس‌های این لیگاند با یون باریم در شرایط مختلف از جمله حلّال- تغییر نسبت فلز به لیگاند و... بررسی شد.

سنتز کمپلکس با استفاده از باریم کلراید و لیگاند (H_8L) در حضور SDS و CTAB: در این روش به مواد واکنش ۲-۲: آ) یک بار ۰/۲ گرم از SDS (سدیم دو دسیل سولفات) ب) و بار دیگر به جای SDS، ۰/۵ گرم CTAB (ستیل تری متیل آمونیم بروماید) اضافه کردیم.

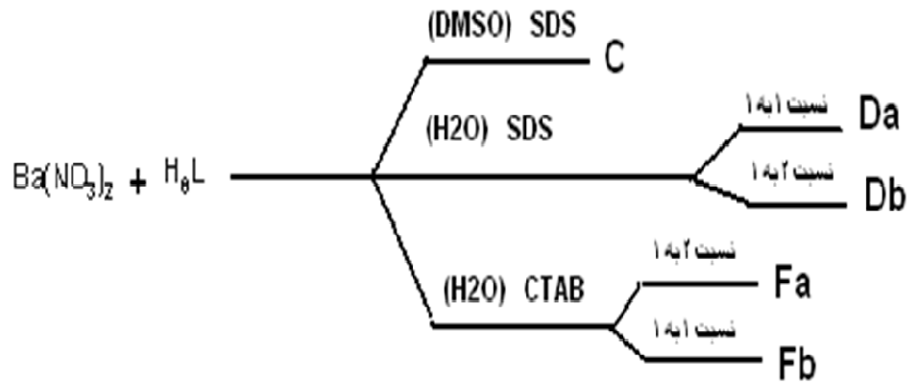
سنتز کمپلکس با استفاده از باریم نیترات و (H_8L) در حضور SDS در حلّال دی‌متیل سولفوکساید (DMSO): در این روش به جای حلّال آب در سنتز ۲-۳ (آ)، از ۱۰ میلی‌لیتر حلّال دی متیل سولفوکساید (DMSO) استفاده کردیم و بقیهٔ شرایط مانند سنتز ۲-۳ (آ) بود.

سنتز کمپلکس با استفاده از باریم نیترات و (H_8L) در حضور SDS در حلّال آب در نسبت مختلفی از فلز به لیگاند: در این سنتز نسبت فلز به لیگاند را تغییر دادیم. در سنتز ۲-۳ (آ) نسبت فلز به لیگاند ۱:۱ انتخاب شده بود. در این سنتز نسبت فلز به لیگاند را ۱:۲ انتخاب کردیم و بقیهٔ شرایط مانند سنتز ۲-۳ (آ) بود. سپس نتایج را با هم مقایسه کردیم.



شمای آزمایش‌های ۲-۲ و ۲-۳

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شمای آزمایش‌های ۲-۴ و ۲-۵

طیف مادون قرمز (FT IR) لیگاند و کمپلکس با دستگاه پرکین- المر[1] ۸۴۳ گرفته شد. XRD پودر[2] نمونه‌ها با دستگاه فیلیپس[3] ۳۷۱۰ ساخت کشور هلند و XRF نمونه‌ها با ۸۴۱۰ ARL ساخت کشور سوئیس انجام شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه‌ها با دستگاه فیلیپس۳۰ XL ساخت کشور هلند و نمودار آنالیز گرماسنجی وزنی (TGA) نمونه‌ها نیز با پلیمر آزمایشگاهی[4] PL۱۵۰۰ ساخت کشور انگلستان با ۱۰°C و ۵= Rate بر دقیقه تا دمای حدود ۷۰۰ درجه انجام شد.

نتایج و بحث

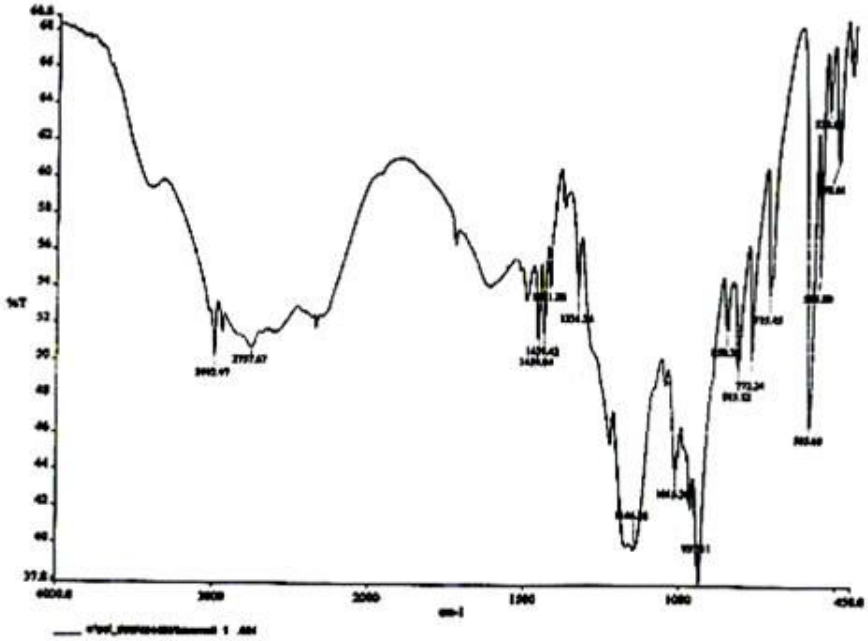
مجموعه‌ای از نانوکریستال‌های باریم فسفونات با روش هیدروترمال در دمای ۱۱۰°C بدون حضور سورفاکتانت‌های CTAB و SDS و یا در حضور سورفاکتانت‌های CTAB و SDS سنتز شدند که در آب نامحلول بودند.

طیف مادون قرمز لیگاند در شکل ٤ نشان داده شده است. P =O کششی یک نوار در cm^{-1} ۱۳۰۰-۱۲٤۰ دارد. در ناحیهٔ cm^{-1}۸۱٥ نواری مربوط به گروه P–O وحدود cm^{-1}۳۰۰۰ نوار پهن گروه O–H مشاهده می‌شود.

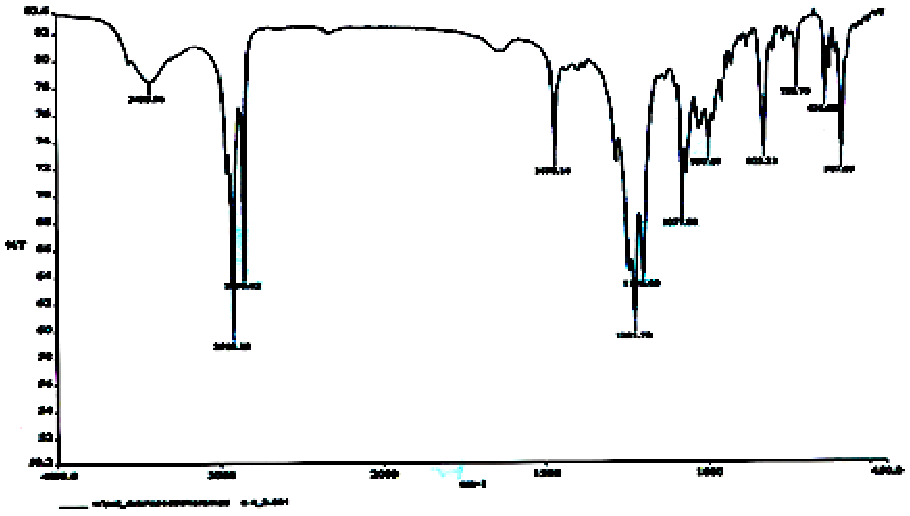
طیف مادون قرمز کمپلکس در شکل ٥ نشان داده شده است. مهمترین مشخصهٔ طیف ارتعاشی کمپلکس نوار کششی P =O در ناحیهٔ cm^{-1} ۱۰۷۷ است که در مقایسه با طیف مادون قرمز لیگاند جابه‌جایی صورت گرفته است. این جابه‌جایی به‌علت عوض شدن محیط و کئوردینه شدن با باریم است. همچنین نوار مربوط به گروه O – H نیز جابه‌جا شده است. این جابه‌جایی‌ها تشکیل کمپلکس را نشان می‌دهند (شکل‌های ٤ و ٥).

Powder X–ray diffraction Perkin -Elmer Philips Polymer Laboratory

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



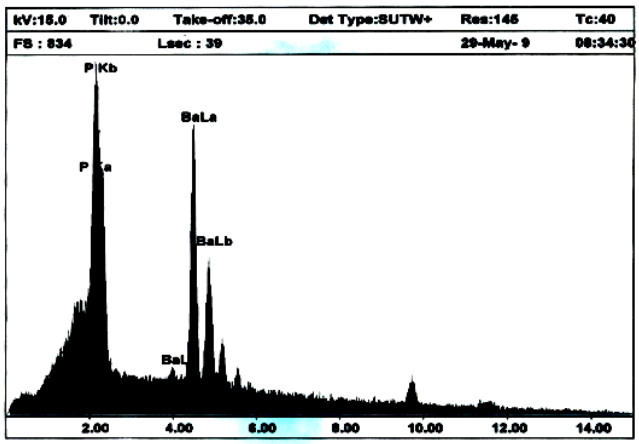
شکل ٤. طیف مادون قرمز لیگاند



شکل ٥. طیف مادون قرمز کمپلکس

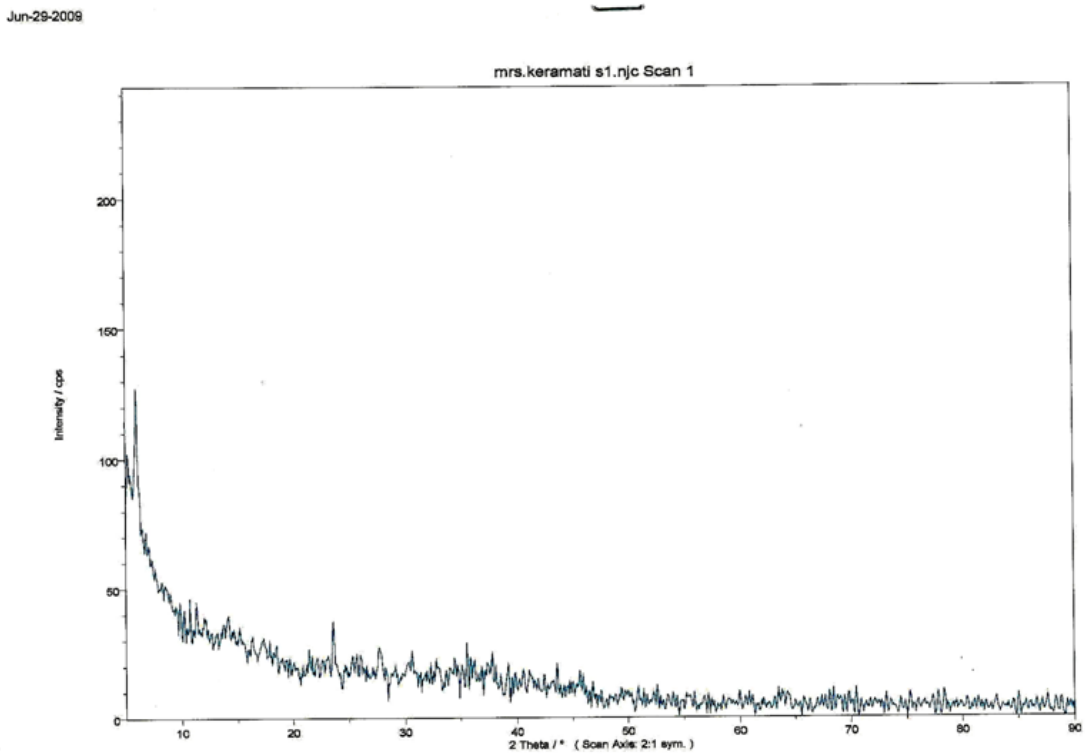
باتوجه به نتایج XRF این نمونه و محاسبات انجام شده، نسبت فلز (Ba) به فسفر (P)، ۲:۳ به‌دست آمد. طیف EDAX از ترکیب در شکل ٦، پیک‌های قوی مربوط به فسفر (P) و باریم (Ba) را چنان که مورد انتظار است، نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



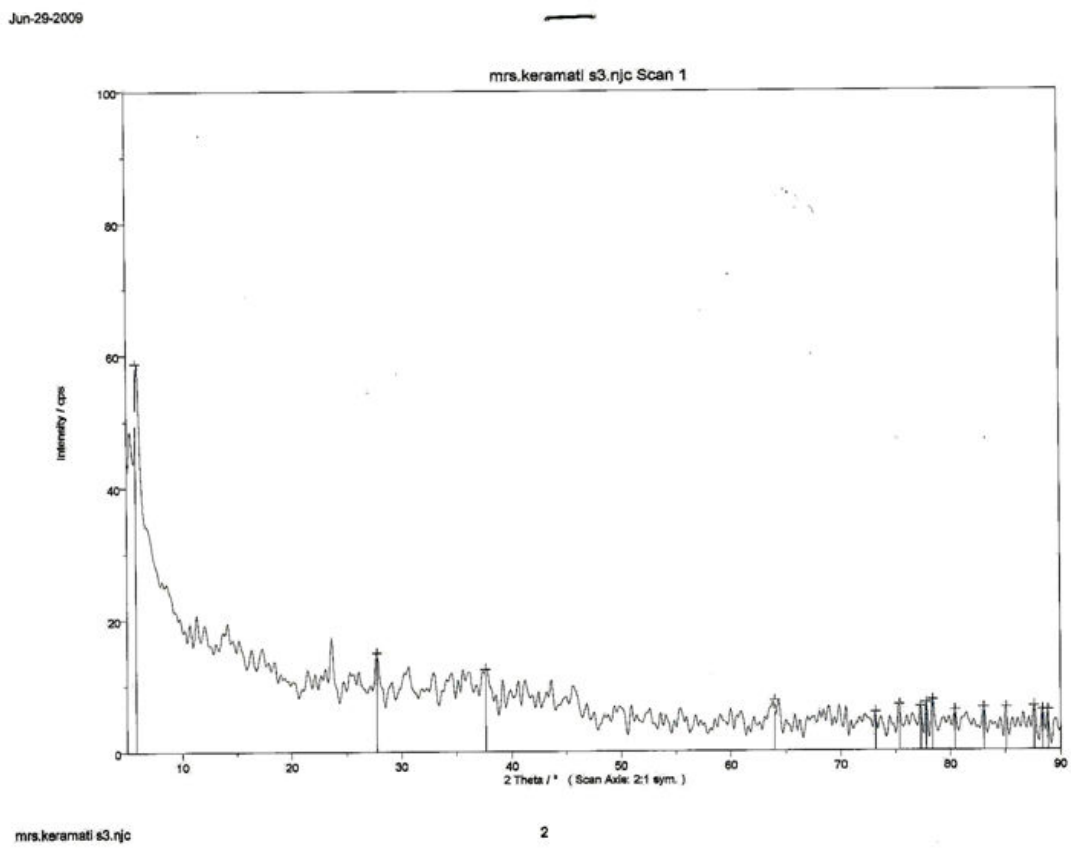
شکل ۶. طیف EDAX کمپلکس

XRD پودر نمونه‌ها در شکل‌های ۷ و ۸ نشان دهندهٔ فاز کریستالی باریم فسفونات است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان گفت دو نمونه‌ای که در سنتزهای ۲-۳ (آ) و ۲-٤، تهیه شدند در یک فاز هستند. نتایج بالا می‌تواند به‌کمک SEM نمونه‌های مورد نظر ثابت شود.



۷. XRD پودرنمونه در سنتز ۲-۳ (آ)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



۸. XRD پودر نمونه در سنتز ۲-۴

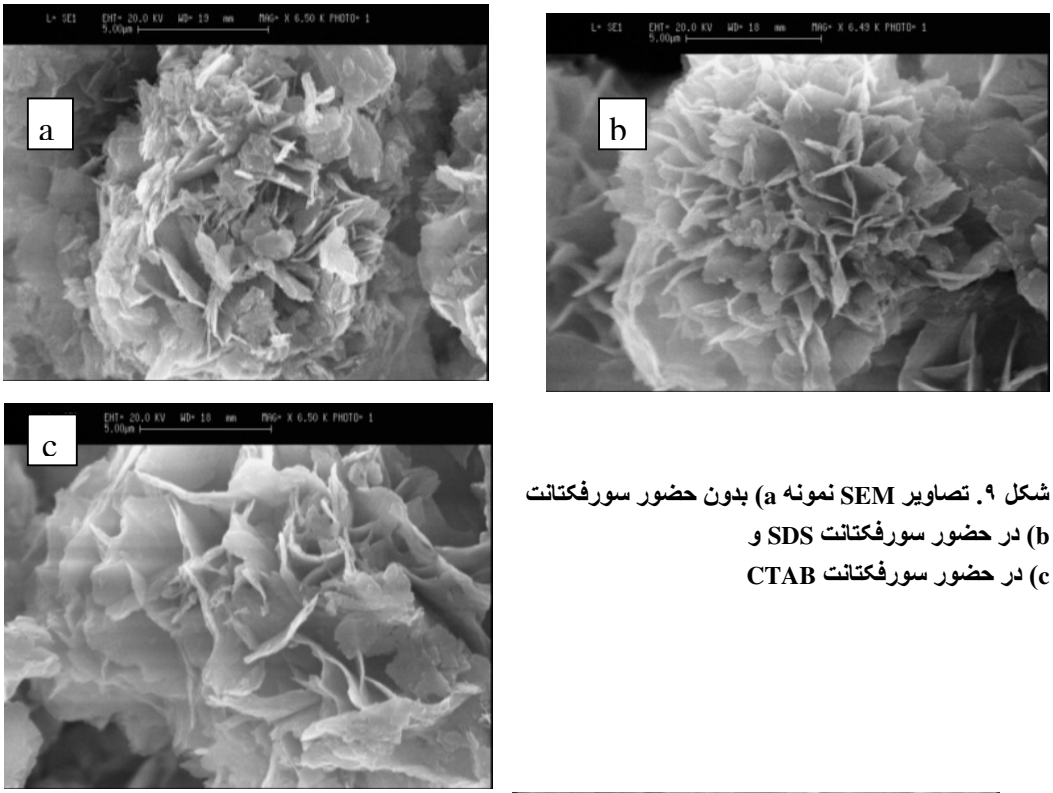
سطوح نمونه‌هایی که با میکروسکوپ الکترونی SEM بررسی می شوند باید دارای هدایت الکتریکی باشند. در این تحقیق چون نمونه‌های ما غیرهادی بودند، نمونه‌ها بر روی لایهٔ نازکی از بستر طلا پوشیده شدند.

تصویر SEM نمونه در شکل ۹ a نشان می‌دهد که ترکیب ساختاری لایه‌ای دارد. مقایسهٔ تصاویر SEM نمونه در حضور سورفکتانت SDS و CTAB (شکل‌های ۹ b و c) با تصویر SEM نمونهٔ بدون سورفکتانت (شکل ۹a) نشان می‌دهد که در حضور سورفکتانت، نمونه ساختار منظم‌تری دارد.

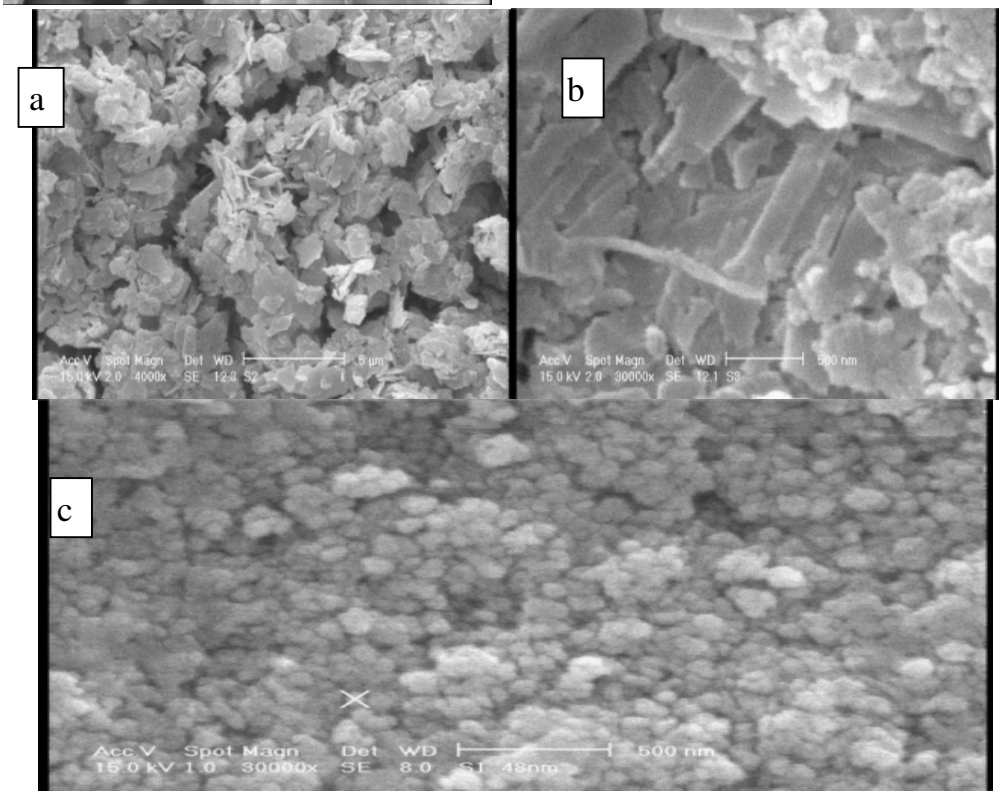
وقتی در سنتز نمونه، نسبت‌های مختلفی از فلز و لیگاند انتخاب شد، مقایسهٔ تصاویر SEM آن‌ها مطابق شکل‌های ۱۰ a و b نشان داد که با تغییر این نسبت، شکل و نظم ذرات نمونه تغییر می‌کند.

چنان که در شکل ۱۰c مشخص است، ترکیبی که در حلّال دی‌متیل سولفوکساید (DMSO) سنتز شده است، دارای ذرات کروی شکل است و اندازهٔ رات نیز ۴۸ نانومتر شده است. در مقایسه با سنتزی که در همان شرایط ولی با حلّال آب انجام شده (شکل ۱۰ b) مشخص می‌شود که حلّال می‌تواند عاملی تعیین کننده در مورفولوژی این ترکیب باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل ۹. تصاویر SEM نمونه a) بدون حضور سورفکتانت b) در حضور سورفکتانت SDS و c) در حضور سورفکتانت CTAB



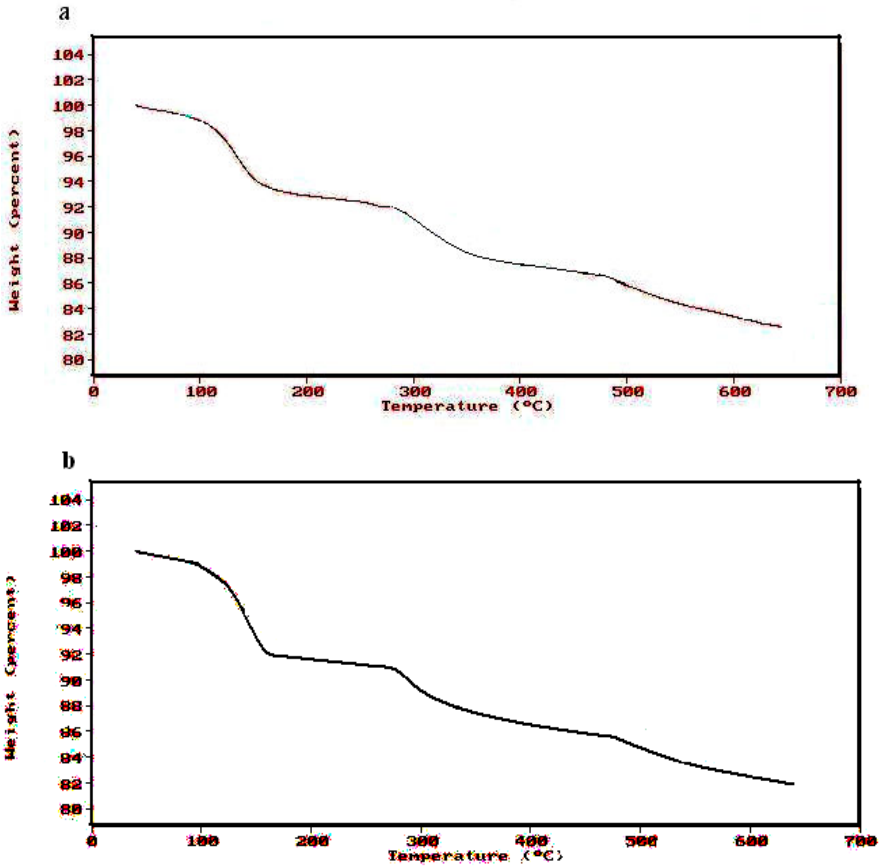
شکل ۱۰. تصاویر SEM نمونه a) نسبت ۱:۲ فلز به لیگاند b) نسبت ۱:۱ فلز به لیگاند و c) بااستفاده ازحلّال DMSO

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

نمودارهای TGA کمپلکس‌ها که در شکل‌های ۱۱a و b نشان داده شده است یک فرایند کاهش وزن چند مرحله‌ای را نشان می‌دهد. در دمای حدود ۱۰۰°C حدوداً ۱۰% کاهش وزن داریم که می‌تواند مربوط به از دست دادن آب هیدراته یا آب به دام افتاده در حفره‌ها باشد.

ساختار کریستالی کمپلکس باریم فسفونات در دمای حدود ۳۰۰°C شروع به تجزیه شدن می‌کند که نشان دهندهٔ پایداری کمپلکس تا دمای ۳۰۰°C است.

با توجه به شکل‌های ۱۱ a و b در ۵، ۱۰= Rate تغییر زیادی در آنالیز گرمایی مشاهده نشد.



شکل ۱۱. TGA نمونه، (a)با Rate = 5 و(b) با Rate = 10

جمع‌بندی

به‌طور خلاصه در این تجربه، کمپلکس باریم فسفونات طی واکنش لیگاند H_gL و یون باریم با روش هیدروترمال در حضورسورفکتانت‌های SDS و CTAB تهیه شد. فاز کریستالی این کمپلکس، با آنالیز XRD مشخص شد و طیف IR و آنالیزهای EDAX وXRF وجود کریستال‌های باریم فسفونات را نشان دادند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مورفولوژی کمپلکس، با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد و مشخص شد که کمپلکس ساختار لایه‌ای دارد. همچنین در این تجربه، اثر حلال روی مورفولوژی کمپلکس نیز بررسی شد و نشان داد حلال نقش تعیین کننده‌ای در مورفولوژی کمپلکس دارد. ضمن آن که در این تجربه، نانو ذرات کروی و میله‌ای شکلی نیز حاصل شد. پایداری گرمایی این کمپلکس نیز توسط آنالیز گرماسنجی وزنی (TGA) مشخص شد.

منابع

1. M. Fujita, J. Y. Kwon, S. Washizu, "KOguraMetal-Organic Frameworks as Adsorbents for Trapping and Preconcentration of Organic Phosphonates", Chem., 79 (2007) 1290-1293.
2. J. S. Seo, D. Whang, H. Lee, I. Jun, S. J. Oh, J. Jeon Y. and K. Kim, "Mixed-solvothermal synthesis of hybrid nanostructures of alkaline earth phenylphosphonates", Materials Letters 61 (2007) 4980-4983.
3. S. Hasegawa, S. Horike, R. Matsuda, S. Furukawa, K. Mochizuki Y. Kinoshita, S. "Kitagawa Three-Dimensional Porous Coordination Polymer, Functionalized with Amide Groups Based on Tridentate Ligand: Selective Sorption and Catalysis", J. Am. Chem. Soc., 129 (9) (2007) 2607-2614.
4. B. Gomez-Lor, E. Gutierrez-Puebla, M. Iglesias, M. A. Monge, C. Ruiz-Valero, N. Snejko, "Alkaline Earth Metal Organotriphosphonates: Inorganic-Organic Polymeric Hybrids from Dication-Dianion", Association, Chem. Mater. (2005) 836-838.
5. O. R. Evans, H. L. Ngo, W. Lin "MOFs as catalysts: Activity, reusability and shape-selectivity of a Pd-containing", MOF Journal of Catalysis, 250 (2007) 294-298.
6. M. Tada, Y. Iwasawa, "Calcification of synthetic polymers functionalized with negatively ionizable groups", A critical review Reactive and Functional Polymers, 67 (2007) 165-172.
7. G. Ferey, M. Latroche, C. Serre, F. Millange, T. Loiseau, A. Percheron-Guegan, "Fabrication and functions of surface nanomaterials based on multilayered or nanoarrayed assembly of metal complexes Coordination", Chemistry Reviews, 251 (2007) 2688-2701.
8. N. L. Rosi, J. Eckert, M. Eddaoudi, D. T. Vodak, J. Kim, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi Design, "Synthesis, and Properties of Inorganic and Hybrid Thin Films Having Periodically Organized Nanoporosity", Chem. Mater., 20 (2008) 682-737.
9. J. L. Rowsell, O. M. Yaghi, "Metal-organic frameworks with high capacity and selectivity for harmful gases", Angew. Chem. Int. Edn 44 (2005) 4670.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

10. S. Noro, S. Kitagawa, M. Kondo, K. Seki, "Mix-Solvothermal Syntheses, Characterization, and Properties of New Zinc Diphosphonates with Zn-O-P Chains", Layers, and 3D Frameworks Angew., Chem. Int. Edn., 39 (2000) 2081.

11. M. Eddaoudi, J. Kim, N. Rosi, D. Vodak, J. Wachter, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi, "Room temperature synthesis of metal-organic frameworks", MOF-5, MOF-74, MOF-177, MOF-199, and IRMOF-0 Tetrahedron 64 (2008) 8553-8557.

12. K. Seki, W. Mori, "Structure Determination of a Complex Tubular Uranyl Phenylphosphonate $(UO2)_3(HO_3PC_6H_5)_2(O_3PC_6H_5)_2$â$H_2O$, from Conventional X-ray Powder Diffraction Data Inorg.", Chem., 35 (1996) 1468-1473.

13. K. S. Min, M. P. Suh, "Hybrid inorganic-organic solids: an emerging class of nanoporous Catalysts", J. Am. Chem. Soc., 122 (2000) 6834.

14. O. M. Yaghi, H. Li, "Covalent Organic Frameworks as Exceptional Hydrogen Storage Materials", Published on Web 08/07 (2008).

15. L. Pan, D. H. Olson, L. R. Ciemnolonski, R. Heddy, J. Li, "Engineering coordination polymers towards applications", The Royal society of chemistry (2003) 2781-2804.

16. J. A. Rood, B. C. Noll, K. W. Henderson, "Metal organic frameworks (MOFs) as catalysts: A combination of Cu^{2+} and Co^{2+} MOFs as an efficient catalyst for tetralin oxidation", Journal of Catalysis, 255 (2008) 220-227.

17. S.. Ma, X. S. Wang, E. S. Manis, C. D. Collier, H. C. Zhou, "Sn(IV) phosphonates as catalysts in solvent-free Baeyer–Villiger oxidations using H_2O_2w", The Royal Society of Chemistry (2008) 5556-5558.

18. R. Q. Snurr, J. T. Hupp, S. T. Nguyen, "Au-Cu Alloy nanoparticles confined in SBA-15 as a highly efficient catalyst for CO oxidation", The Royal Society of Chemistry Chem., Commun, (2008) 3187-3189.

19. K. Uemura, S. Kitagawa, M. Kondo, K. Fukui, R. Kitaura, "H-C Chang, T. Mizutani Functional Faceted Silver Nano-Hexapods: Synthesis, Structure Characterizations, and Optical Properties", Chem. Mater., 20 (2008)192-197.

20. K. S. Min and M. P. Suh, "Dynamic porous properties of coordination polymers inspired by hydrogen bonds The Royal Society of Chemistry", Chem., Soc., Rev., 34 (2005)109-119.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

21. D. N. Dybtsev, H. Chun, S. H. Yoon, D. Kim, K. Kim, "The first route to large pore metal phosphonates", The Royal Society of Chemistry Chem. Commun. (2006) 3305-3307.

22. D. Bradshaw, T. J Prior, E. J. Cussen, J. B. Claridge, M. J. Rosseinsky, "Synthesis of thermally stable mesoporous titania nanoparticles via amine surfactant-mediated templating method Materials", Chemistry and Physics 96 (2006) 176-181.

23. T. Uemura, D. Hiramatsu, Y. Kubota, M. Takata, S. Kitagawa, "Surfactant-templated nanomaterials synthesis", Journal of Colloid and Interface Science 274 (2004) 355-364.

24. T. Uemura, S. Horike, S. Kitagawa, "Functional Faceted Silver Nano-Hexapods: Synthesis, Structure Characterizations", and Optical Properties Chem., Mater., 20 (2008) 192-197.

25. T. Uemura, R. Kitaura, Y. Ohta, M. Nagaoka, S. Kitagawa, "The Importance of the CTAB Surfactant on the Colloidal Seed-Mediated Synthesis of Gold Nanorods", Langmuir, 24 (2008) 644-649.

26. R. Matsuda, R. Kitaura, S. Kitagawa, Y. Kubota, T. C. Kobayashi, S. Horike, M. Takata, "Structural Diversity and Polytypism of Lead Phenylphosphonates", BING-6 and BING-9 J. Am. Chem. Soc., 126 (2004) 14063.

27. S. L. James, "Enantioselective Esterification of Prochiral Phosphonate Pendants of a Polyphenylacetylene Assisted by Macromolecular Helicity", Storage of a Dynamic Macromolecular Helicity Memory J. AM. CHEM. SOC., 127 (2005) 2960-2965.

28. J. L. C. Rowsell, O. M. Yaghi, "Layered strontium phenylphosphonate: synthesis", thermal properties and crystal structure from X-ray powder diffraction data Solid State Sciences 4 (2002) 873-878.

29. Y. Kubota, M. Tanaka, T. C. Kobayashi, S. Kitagawa, "Corrugated, Sheet-Like Architectures in Layered Alkaline-Earth Metal R,S-Hydroxyphosphonoacetate Frameworks" Applications for Anticorrosion Protection of Metal Surfaces Chem. Mater., 20 (2008) 4835-4846.

30. A. Y. Robin, K. M. Fromm, "Fabrication and functions of surface nanomaterials based on multilayered or nanoarrayed assembly of metal complexes Coordination", Chemistry Reviews 251 (2007) 2688-2701.

31. A. V. K. Ariga, J. P. Hill, T. Mori, "Chemistry and application of flexible porous coordination", polymers Sci. Technol. Adv. Mater., 9 (2008) 014108.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

32. X. M. Chen, M. L. Tong, "On the crystal structures and magnetism of some hybrid organic–inorganic metal organophosphonates", Inorganica Chimica Acta 361(2008) 3785-3799.

33. E-Y. Choi, K. Park, C-M. Yang, H. Kim, J-H. Son, S. W. Lee, Y. H. Le, D. Min, Y-U. Kwon, "Preparation of pyrenebutyric acid-modified magnesia-zirconia stationary phases using phosphonate as spacers and their application to the separation of fullerenes", Analytica Chimica Acta 559 (2006) 79-88.

34. V. C. Menon, S. Komarneni, "Capillary electrophoretic separation and kinetic study of inert copper(II) complexes of 1, 8-bis(methylphosphonate) derivative of cyclam", Polyhedron 25 (2006) 1884-1892.

35. U. Mueller, M. Schubert, F. Teich, H. Puetter, K. Schierle-Arndt, J. Pastre, "Synthesis of inorganic nanomaterials", The Royal Society of Chemistry (2007) 3728-3749.

36. B. Kesanli, Y. Cui, M. R. Smith, E. W. Bittner, B. C. Bockrath, W. Lin, "Inorganic-organic hybrid compounds: Synthesis and characterization of three new metal phosphonates with similar characteristic structural features", Journal of Solid State Chemistry 179 (2006) 145-155.

37. X. L. Hong, Y. Z. Li, H. Hu, Y. Pan, J. Bai, X. Z. You, "Single crystals of calcium and strontium phenylphosphonate grown via hydrothermal crystallization", Cryst., Growth Des. 6 (2006) 1221.

38. X-L. Wang, C. Qin, E-B. Wang, L. Xu, Z-M. Su, C-W, Hu, "The Importance of the CTAB Surfactant on the Colloidal Seed-Mediated Synthesis of Gold Nanorods", Langmuir, 24 (2008) 644-649.

39. S. Horike, D. Tanaka, K. Nakagawa, "Kitagawa Identical experimental procedures are followed for the synthesis of all four metal", phosphonates*, J. Am., Chem. Soc.* (2007) 2607-2614.

40. A. Sharath Kirumakki, Z. A. Sandani Samarajeewa, W. A. Robert Harwell, W. A. Atashi Mukherjee, H. Rolfe, Herberb, A. Abraham Clearfield, "Pore surface engineering of microporous coordination polymers The Royal Society of Chemistry", Chem. Commun (2006) 701-707.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]