

سنتز شیب دمایی/تحت امواج آلتراسونیک و بررسی ساختاری نانو ترکیب کوئوردیناسیونی صفحه ای جدید از سرب(II) با کره کوئوردیناسیونی نامتقارن

بابک میرتمیزدوست *

گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم، جمهوری اسلامی ایران

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۲۵

تاریخ تصحیح: ۹۵/۰۵/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۲

چکیده

نانو ترکیب کوئوردیناسیونی جدید سرب(II) با لیگاند $H-2-pcih$ به دو روش شیب دمایی و واکنش تحت امواج فراصوت سنتز شد و با آنالیزهای $FT-IR$ ، CHN ، $XRPD$ و همچنین کریستالوگرافی اشعه- X مورد شناسایی قرار گرفت و مورفولوژی حالت نانو توسط میکروسکوپ الکترونی SEM مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌های حاصل از بلورنگاری اشعه- X نشان داد که ترکیب کوئوردیناسیونی جدید در سیستم بلوری اورتورومبیک با گروه فضایی $Pbcn$ متبلور شده است. هر مرکز فلزی سرب با چهار اتم نیتروژن و دو اتم اکسیژن دو لیگاند $2-pcih$ متصل شده است و دارای عدد کوئوردیناسیون ۶ به صورت، PbN_4O_2 می‌باشد. جهت گیری پیوند ها اطراف اتم مرکزی یک فضای خالی قابل ملاحظه را نشان می‌دهد که نشان دهنده نامتقارن بودن کره کوئوردیناسیون اطراف فلز می‌باشد و اصطلاحاً کره کوئوردیناسیون سرب به صورت $hemidirected$ می‌باشد. دوگونه برهمکنش‌های ضعیف $\pi-\pi$ در ساختار کمپلکس مشاهده گردید که در نتیجه این برهمکنش‌های ضعیف بخش‌های مجاور به هم نزدیک شده و ساختار گسترده ترکیب کوئوردیناسیونی بصورت ابرمولکول سه بعدی ملاحظه می‌شود. مورفولوژی مشاهده شده نانو ترکیب سنتز شده با SEM نشان دهنده ساختار صفحه ای ترکیب می‌باشد.

واژگان کلیدی: ترکیب کوئوردیناسیونی، سرب(II)، لیگاند دهنده، X -ray کریستالوگرافی، نانو ذرات، $hemidirected$

۱- مقدمه

ترکیب‌های کوئوردیناسیونی* یا هیبرید های فلز-آلی[†] ترکیباتی هستند که در آن‌ها لیگاندها جفت الکترون‌های غیرپیوندی خود را از طریق اشتراک یک جانبه و تشکیل پیوند کوالانسی کوئوردیناسیونی در اختیار اوربیتال‌های خالی فلز مرکزی قرار می‌دهند. سنتز و جدا سازی این ترکیبات، اهمیت ویژه ای در علوم، پژوهش و صنعت دارند. [۱]. البته در دو دهه‌ی گذشته با ورود شیمی ابرمولکولی اهمیت ترکیبات کوئوردیناسیونی چند برابر شده و انجام سنتزهای شیمیایی با ذهنیت مهندسی، راه ورود شیمی کوئوردیناسیون را به واسطه‌ی ویژگی‌های منحصر به فرد آن به شیمی ابرمولکولی باز نموده

babak.mirtamizdoust@qom.ac.ir

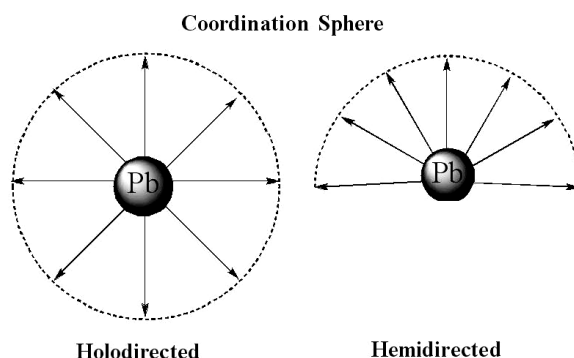
* نویسنده مسئول: استادیار شیمی معدنی، دانشگاه قم، قم، جمهوری اسلامی ایران

* Coordination compounds

† Organic-inorganic hybrid materials

است. شیمی ترکیب‌های کوئوردیناسیون سرشار از پدیده‌های جدید و شگفت‌آور است که تلاش مداوم برای بررسی آن‌ها ضروری است [۲].

سرب در جدول تناوبی در انتهای گروه چهارم اصلی قرار گرفته است و دارای حالت‌های اکسایش +۲ و +۴ می‌باشد. بیشتر ترکیبات کوئوردیناسیون سرب به صورت حالت اکسایش +۲ گزارش شده‌اند و تعداد کمی از ترکیبات شامل سرب +۴ تا کنون تعیین ساختار شده‌اند [۳]. اثرات ساختاری جفت الکترون‌های تنها در فلزات سنگین پسا واسطه مانند، بیسموت (III)، تالیوم (I) و سرب (II)، موضوعی است که در چند سال گذشته، توجه زیادی به آن شده است. نقش جفت الکترون تنهای سرب (II) در هندسه فضای کوئوردیناسیون از مطالعات بلور نگاری و بهینه سازی‌های محاسبه‌های اوربیتال مولکولی بررسی شده است [۴]. مطالعات نشان داده است که دو نوع ساختار از ترکیبات سرب (II) قابل مشاهده است [۴]. شکل (۱) نمایی شماتیک از دو آرایش معمول در ترکیبات کوئوردیناسیونی سرب (II) را به نمایش می‌گذارد [۵].



شکل ۱- آرایش لیگاندها در فضای کره کوئوردیناسیون سرب (II) [۵].

با پیوستن مولکول‌ها به هم به وسیله برهمکنش‌های مختلف ساختارهای ابرمولکولی می‌توانند تشکیل شوند که واحدهای ساختاری مناسبی جهت سنتز در مقیاس نانو هستند. نانو پلیمرهای کوئوردیناسیونی اغلب با مکانیزم عدم انحلال ذرات در سیستم‌های حلالی سنتز می‌شوند [۶]. در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات کوئوردیناسیونی به عنوان پیش ماده‌ای برای سنتز نانو ترکیبات دیگر متداول شده است. در این روش‌ها ابتدا پیش ماده کوئوردیناسیونی سنتز و سپس به روش‌های مختلف تبدیل به ترکیبات نانو شامل فلز می‌گردد [۶]. امروزه تهیه و استفاده کاربردی از نانو ذرات در زمینه‌های مختلف گسترش محسوسی پیدا کرده است [۱۷-۱۵].

ما اخیراً مقالات متعددی در زمینه سنتز و بررسی ساختاری ترکیبات جدید کوئوردیناسیونی و نانو ساختارهای مربوطه را گزارش نموده‌ایم [۱۲-۷]. در ادامه کارهای گذشته، در کار پیش رو سنتز ترکیب کوئوردیناسیونی و نانو ترکیب کوئوردیناسیونی جدیدی از سرب (II) با لیگاندی از مشتقات ایزونیکوتینو هیدرازونات به دو روش شیب دمایی و سونو شیمی گزارش شده است.

۲- روش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی و دستگاه‌ها

تمامی مواد شیمیایی و حلال‌های مورد استفاده در این تحقیق از شرکت آلدریچ خریداری شده و بدون خالص‌سازی مجدد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. طیف‌های ارتعاشی با دستگاه Bruker مدل Tensor27 به صورت قرص KBr گرفته شده است. دستگاه XRD، Siemens مدل d5000 با دیفرکتومتر مدل X'pert ساخت شرکت Panalytical و از تابش $\text{Cu K}\alpha$ 1.5406 مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM ساخت شرکت Panalytical از کشور هلند و مدل XL30 استفاده گردید. دستگاه اولتراسونیک (Sonicator 3000; Misonix Inc., Farmingdale, NY, USA) استفاده شد. برای تعیین ساختار کمپلکس سنتز شده، با استفاده از کریستالوگرافی اشعه X، از دیفراکتومتر Rigaku R-AXIS SPIDER استفاده شد.

۲-۲- روش سنتز لیگاند H-2-pcih

۴ میلی مول ایزو نیکوتینو هیدرازید (۰/۵۴۸ گرم) در ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۹٪ تحت حرارت حل شد. سپس ۴ میلی مول پیکولین آلدهید (۰/۴۲۸ گرم) حل شده در ۱۰ میلی لیتر اتانول ۹۹٪ درصد، قطره قطره طی ۱۰ دقیقه به محلول فوق در ضمن همزدن اضافه گردید. سپس محلول به مدت ۲۴ ساعت بازروانی شد. با استفاده از تبخیر کننده چرخان* حلال را از سیستم جدا کرده و سپس رسوبات صاف شد و با مقدار بسیار کمی اتانول سرد شستشو داده شد. (وزن محصول بدست آمده: ۰/۸۳۰ گرم - بازده: ۸۵ درصد)

m.p=157 °C

FT-IR (KBr)= ν_{\max} (3448, 3047, 2923, 1663, 1542, 1461, 1400, 1273, 1143, 1060, 846, 874, 682) Cm^{-1}

$^1\text{HNMR}(\text{CDCl}_3, \text{ppm}): 7.79 (\text{d}, 2\text{H}), 8.71 (\text{d}, 2\text{H}), 7.916 (\text{t}, 1\text{H}), 7.40 (\text{t}, 1\text{H}), 7.45 (\text{d}, 1\text{H}), 7.55 (\text{s}, 1\text{H}).$

۲-۳- روش تهیه ترکیب [Pb(2-pcih)₂]

برای تهیه تک بلورهای ترکیب، ۲ میلی مول (۰/۴۵۱ گرم) از لیگاند "Hp-2-pcih" و ۱ میلی مول (۰/۳۳۱ گرم) از سرب(II) نیترات، توزین و به آرامی در ته لوله شاخه‌دار قرار داده؛ متانول به آرامی تا حجم یک سانتی‌متر بالاتر از شاخه جانبی، به لوله شاخه‌دار اضافه گردید. دهانه لوله بسته شد و سپس در حمام پارافین با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از ۱۵ روز بلورهای مناسب برای بلورنگاری، جدا گردید. بلورها با استون و اتر شستشو داده و خشک شدند. تست

* Rotary

شیمیایی بلور بدست آمده توسط اسید سولفوریک نشانگر وجود سرب در کمپلکس بود و طیف IR از بلور با نمایش پیک‌های واضح لیگاندها نشانگر تشکیل کمپلکس مورد نظر بود. نقطه ذوب: 130°C و بازده آن ۵۸٪.

Analysis: Found; C: 44.00, H: 3.00, N: 17.00 %. Calculated for $\text{C}_{24}\text{H}_{18}\text{N}_8\text{O}_2\text{Pb}$: C: 43.83, H: 2.76, N: 17.04 %.

FT-IR (selected bands, in cm^{-1}): 699s, 761m, 854m, 1041m, 1155m, 13509s, 1461m, 1565m, 1601m, 2933m [۱۳].

برای تهیه نانو صفحات ترکیب، به ۱۵ میلی لیتر محلول ۰/۱ مولار سرب(II) نیترات در آب، قرار داده شده در پروب التراسونیک با فرکانس ۲۰ کیلو هرتز و توان ۶۰۰ وات، ۳۰ میلی لیتر محلول ۰/۱ مولار لیگاند را در مخلوط آب و متانول قطره قطره به مدت یک ساعت اضافه شد. رسوبات حاصل با کمک سیستم خلاء صاف شد و با حلال آب شستشو داده و در دمای 50°C درجه سانتی گراد خشک گردید. (نقطه ذوب: 129°C)

Analysis: Found; C: 44.00, H: 3.00, N: 17.00 %. Calculated for $\text{C}_{24}\text{H}_{18}\text{N}_8\text{O}_2\text{Pb}$: C: 43.83, H: 2.76, N: 17.04 %.

FT-IR (selected bands, in cm^{-1}): 699s, 761m, 854m, 1040m, 1155m, 13509s, 1461m, 1565m, 1601m, 2934m [۱۳].

۳- بحث و نتیجه گیری

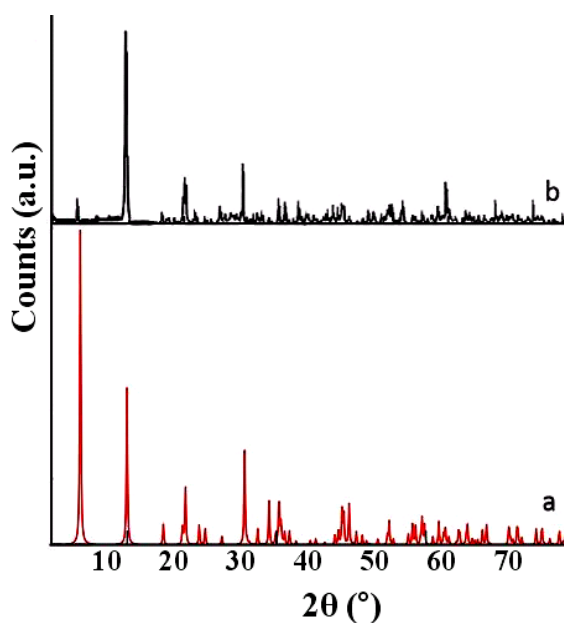
واکنش لیگاند "H-2-pcih" با سرب(II) نیترات منجر به تشکیل ترکیب کوئوردیناسیونی جدید $[\text{Pb}(\text{2-pcih})_2]$ (۱) می‌شود. نانو ترکیب کوئوردیناسیونی (۱) از واکنش مخلوط محلول‌های مواد اولیه در مجاورت تابش فراصوت تهیه شد و تک بلورهای این ترکیب با استفاده از شیب حرارتی واکنشگرها به روش لوله با شاخه جانبی تهیه شد [۱۴]. شکل ۲ شمای دو فرآیند تهیه ترکیب را نشان می‌دهد.



شکل ۲- دو پروسه تهیه محصول.

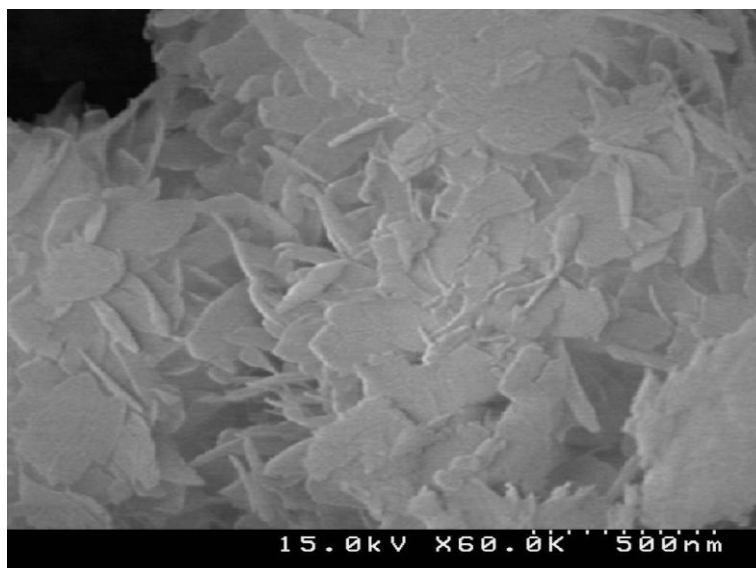
آنالیز عنصری و طیف FT-IR ترکیب کوئوردیناسونی و نانو ترکیب کوئوردیناسونی به دست آمده تطابق خوبی با یکدیگر داشتند. طیف FT-IR این ترکیبات نوارهای جذبی با شدت های متنوع در ناحیه $1600-1400\text{ cm}^{-1}$ مربوط به ارتعاشات حلقه پیریدین لیگاند که مربوط به پیوندهای C=C و C=N است [۱۴]. حذف ارتعاش کششی N-H نشان می دهد لیگاند به شکل انولات به فلز کوئوردینه شده است. آشکار شدن باند جذبی در 1041 cm^{-1} موید کاهش دافعه جفت الکترونیهای غیرپیوندی اتمهای نیتروژن در پیوند N-N در اثر کوئوردینه شدن به فلز می باشد [۱۴]. باند کربونیل لیگاند آزاد در کمپلکس حذف شده و لیگاند به فرم انولات به فلز کوئوردینه می شود. پیک انولات در 1155 cm^{-1} ظاهر می گردد. همچنین C-H ایمنی در 2930 cm^{-1} مشاهده می گردد.

شکل ۳، الگوی XRPD نانو پودر به دست آمده از دستگاه اولتراسونیک ترکیب $[\text{Pb}(2\text{-pcih})_2]$ را به همراه الگوی XRPD شبیه سازی شده از داده های پراش پرتو ایکس کریستال به دست آمده از روش شیب دمایی را نشان می دهد. تطابق قابل قبول الگوی XRPD شبیه سازی شده با کمک داده های حاصل از بلور نگاری پرتوی ایکس کریستال های کمپلکس $[\text{Pb}(2\text{-pcih})_2]$ و طیف XRPD نانو ترکیب حاصل از نتایج تجربی نشان می دهد که نانو ترکیب و بلور در یک فاز جامد می باشند. نوارهای تیز نمونه ها بیانگر این نکته هستند که نانو ذرات با بلورینه شدگی خوب تحت این شرایط سنتزی به دست آمده اند و به دلیل اینکه نوار مشخصه ای از ناخالصی در فاز کریستالی مشاهده نشد، محصول واکنش خلوص بالایی دارد. در شکل 3b مشخص است که پیک در زاویه پایین دارای شدت بسیار بالاتری در مقایسه با مرجع می باشد. این به دلیل روش و شرایط بلوری شدن ذرات ماده سنتز شده است. همچنین این پیک با شدت بالا در زاویه پایین، لایه ای شدن مواد سنتز شده را تایید می کند.



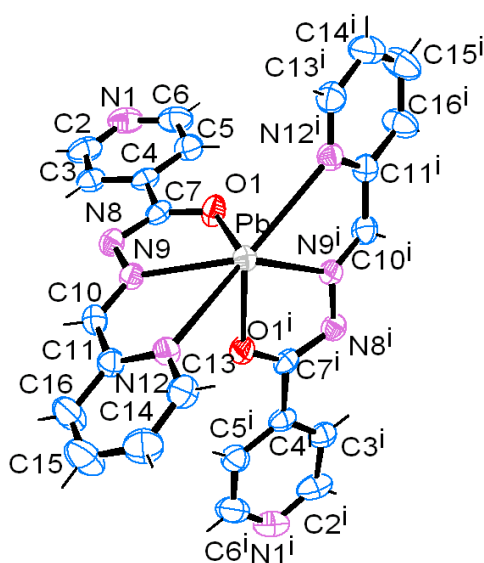
شکل ۳- مقایسه الگوی XRPD شبیه سازی شده از داده های کریستالوگرافی (a) و نانو پودر به دست آمده از سونوشیمی (b)

مورفولوژی، ساختار و اندازه‌ی ذرات سنتز شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۴ مورفولوژی ترکیب $[Pb(2-pcih)_2]$ ، که به وسیله‌ی روش سونو شیمی تهیه شده را نشان می‌دهد. همان گونه که ملاحظه می‌گردد، نانو ترکیب کوئوردیناسیونی $[Pb(2-pcih)_2]$ تهیه شده در غلظت های ۰/۱ مولار و تحت امواج فراصوت، متشکل از یک سری نانو صفحات متقاطع به شکل بشقابک می‌باشد. همان طور که از شکل مشخص می‌باشد، ضخامت صفحات در حدود ۲۰ الی ۳۰ نانومتر و اندازه طول یه صفحه در حدود ۲۰۰ نانومتر می‌باشد.



شکل ۴- تصویر SEM نانو ساختارهای به دست آمده از سونوشیمی با غلظت‌های ۰/۱ مولار

تعیین ساختار تک بلورهای تهیه شده به روش شیب دمایی توسط پراش پرتو-X نشان می‌دهد که کمپلکس $[Pb(2-pcih)_2]$ در حالت جامد به صورت ترکیب کوئوردیناسیونی تک هسته‌ای می‌باشد (شکل ۵) و در سیستم بلوری ارتورومبیک با گروه فضایی $Pbcn$ متبلور شده است. ساختار بلوری واحد تکرار شونده این کمپلکس در شکل ۵ نشان داده شده است. داده‌های بلور نگاری و پالایش کمپلکس در جدول ۱ و طول پیوند ها و زوایای انتخابی در جدول ۲ گزارش شده است.

شکل ۵- دیاگرام ORTEP ساختار کمپلکس $[Pb(2-pcjh)_2]$ جدول ۱- داده‌های بلور نگاری و پالایش کمپلکس $[Pb(2-pcjh)_2]$

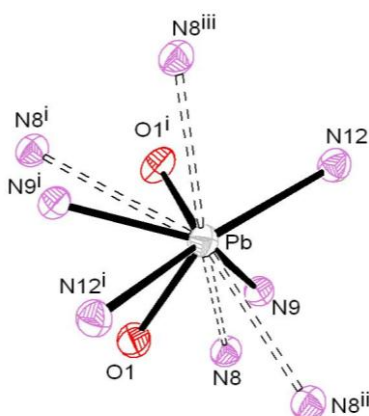
Chemical formula	$C_{24}H_{18}N_8O_2Pb$
Mr	657.65
Crystal system, space group	Orthorhombic, Pbcn
Temperature (K)	173
a, b, c (Å)	23.8488 (15), 8.7127 (5), 11.0161 (7)
V (Å ³)	2289.0 (2)
Z	4
Radiation type	Mo K α
m (mm ⁻¹)	7.41
Crystal size (mm)	0.22 × 0.03 × 0.01
Diffractometer	Bruker APEX-II CCD diffractometer
Absorption correction	Multi-scan Bruker AXScale 2010
Tmin, Tmax	0.292, 0.930
No. of measured, independent and observed [I > 2s(I)] reflections	48181, 4284, 2686
Rint	0.081
(sin q/l)max (Å ⁻¹)	0.765
R[F ₂ > 2s(F ₂)], wR(F ₂), S	0.029, 0.067, 0.99
No. of reflections	4284
No. of parameters	159
H-atom treatment	H-atom parameters constrained

جدول ۲- طول پیوند ها (Å) و اندازه زوایای (°) انتخابی کمپلکس [Pb(2-pcih)₂]

Pb—O1 ⁱ	2.359 (2)	Pb—N9 ⁱ	2.552 (3)
Pb—O1	2.359 (2)	Pb—N9	2.552 (3)
Pb—N12	2.872 (2)	Pb—N12 ⁱ	2.872 (2)
O1 ⁱ —Pb—O1	84.66(12)	O1 ⁱ —Pb—N9 ⁱ	63.73(8)
O1—Pb—N9 ⁱ	72.84(8)	O1 ⁱ —Pb—N9	72.84(8)
O1—Pb—N9	63.73(8)	N9 ⁱ —Pb—N9	120.15(12)
N12 ⁱ —Pb—N12	159.00(12)		

Symmetry code(s): (i) -x, y, -z-1/2.

هر اتم سرب با سه اتم نیتروژن از دو لیگاند "2-pcih" که به فرم آنیونی عمل می نماید با طول پیوند Å (۳) ۲/۵۵۲ و Å (۳) ۲/۸۷۲ و Å (۴) ۲/۵۵۲ و Å (۴) ۲/۸۷۲ و دو اتم کسیتژن از همین لیگاندها با طول پیوند مشابه Å (۲) ۲/۳۵۹ با عدد کوئوردیناسیون شش (PbN₄O₂)، کوئوردینه شده است (شکل ۶).

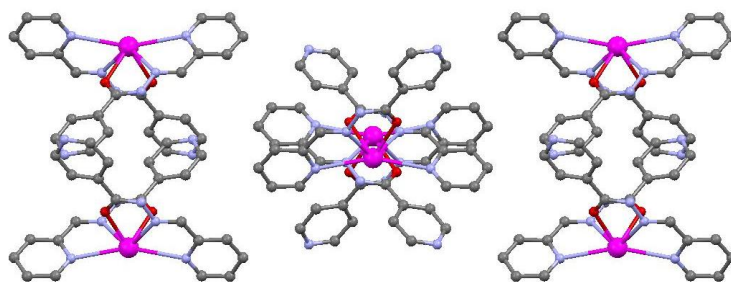
شکل ۶- محیط کوئوردیناسیون سرب(II) در ترکیب کوئوردیناسیونی [Pb(2-pcih)₂]

جهت گیری پیوندهای Pb—O و Pb—N و اندازه زاویه های N—Pb—O در این کمپلکس بیانگر فعال بودن زوج الکترون غیر پیوندی لایه والانس سرب است (شکل ۶). { زاویه N12—Pb—N12ⁱ ۱۵۹/۰۰(۱۲) درجه می باشد و پیوند کوتاه مقابل این زاویه Å (۲) ۲/۳۵۹ و پیوند طویل مجاور این زاویه Å (۲) ۲/۸۷۲ می باشد. } در نتیجه اتم های لیگاند در یک طرف از فضای کوئوردیناسیون یون های سرب(II) قرار دارند، یک فضای خالی تشکیل شده در اطراف اتم های سرب نشان دهنده فعال بودن زوج الکترون غیر پیوندی یون های سرب(II) از نظر شیمی فضایی است. در این ترکیب کره کوئوردیناسیون یون سرب(II) ساختار هندسی *hemidirected* دارد.

برای پیدا کردن مراکز دهنده بالقوه*، لازم است که محدوده پیوندی را گسترش دهیم. چنانچه در این ترکیب محدوده پیوندی در اطراف فلز $\text{Å } 3/30$ در نظر گرفته شود، چهار اتم نیتروژن لیگاند های "2-pcih" مجاور نیز در محدوده پیوندی قرار می-گیرند، با این تقریب عدد کوئوردیناسیون ده (۱۰) می شود و ساختار کره کوئوردیناسیون به *holodirected* تغییر می یابد.

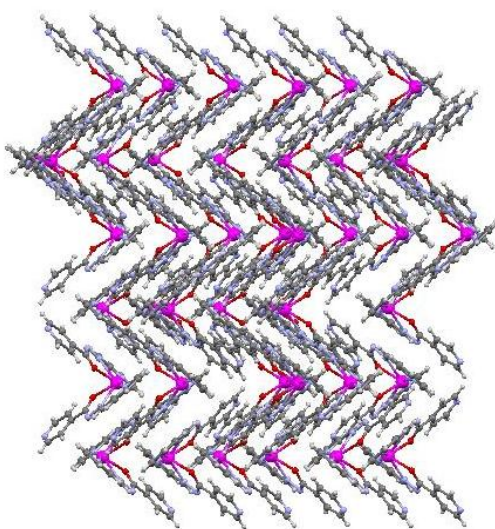
در محدوده $\text{Å } 3/5$ بین حلقه های آروماتیک دو گونه از برهمکنش های غیر کوالان $\pi-\pi$ ، بین حلقه های آروماتیک "2-pcih" موازی هم در امتداد زنجیر های مجاور، مشاهده می گردد که در شکل ۷ نمایش داده شده است. فاصله حلقه های آروماتیک هم صفحه لیگاندهای از یکدیگر $\text{Å } 3/369$ و $\text{Å } 3/422$ می باشد. این برهمکنش ها باعث نزدیکی بیشتر بخش ها به یکدیگر و تشکیل ساختار های ابرمولکولی سه بعدی می گردد.

بنابراین در این کمپلکس دو عامل، فعال بودن زوج الکترون غیر پیوندی و برهمکنش های غیر کوالان و $\pi-\pi$ می توانند ساختار کره کوئوردیناسیون یون های سرب (II) را کنترل کنند و باعث فشرده تر شدن ساختار انباشته کمپلکس گردند (شکل ۸).



شکل ۷- برهمکنش های غیر کوالان $\pi-\pi$ بین حلقه های آروماتیک مجاور در ترکیب $[\text{Pb}(2\text{-pcih})_2]$

* potential donor center



شکل ۸- ساختار انباشته سه بعدی شکل گرفته از برهمکنش های غیر کوالان ترکیب کوئوردیناسیونی $[Pb(2-pcih)_2]$

خلاصه

در کار پژوهشی ارائه شده، نانو ترکیب کوئوردیناسیونی $[Pb(2-pcih)_2]$ به دو روش شیب دمایی و واکنش در مجاورت امواج فراصوت سنتز شد. داده های حاصل از بلورنگاری اشعه-X نشان داد که ترکیب کوئوردیناسیونی جدید در سیستم بلوری اورتورومبیک با گروه فضایی Pbcn متبلور شده است. هر مرکز فلزی سرب با چهار اتم نیتروژن و دو اتم اکسیژن دو لیگاند 2-pcih متصل شده است و دارای عدد کوئوردیناسیون ۶ بصورت، PbN_4O_2 ، می باشد. جهت گیری پیوند ها اطراف اتم مرکزی یک فضای خالی قابل ملاحظه را نشان می دهد که نشان دهنده نامتقارن بودن کره کوئوردیناسیون اطراف فلز می باشد و اصطلاحاً کره کوئوردیناسیون سرب بصورت hemidirected می باشد که با گسترش دامنه پیوندی با نزدیک قرار گرفتن اتم-های دهنده دیگر کره کوئوردیناسیون تکمیل شده و حالت متقارن پیوندی بدون فاصله قابل ملاحظه به دست می آید. دوگونه برهمکنش های ضعیف $\pi-\pi$ در ساختار کمپلکس مشاهده گردید که در نتیجه این برهمکنش های ضعیف بخش های مجاور به هم نزدیک شده و ساختار گسترده ترکیب کوئوردیناسیونی به صورت ابر مولکول سه بعدی ملاحظه می شود. مورفولوژی مشاهده شده نانو ترکیب سنتز شده با SEM نشان دهنده ساختار صفحه ای ترکیب می باشد.

۴- تقدیر و تشکر

نویسنده مقاله از حمایت های دانشگاه قم صمیمانه تشکر می نماید.

۵- مراجع

- [1] G.B. Kauffman, *Coordination Chemistry: History*. In: R. Bruce King (ed.). *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*. Second Edition. Wiley., 2005, pp. 1030-1032.
- [2] G. R. Desiragu, *Angew. Chem. Int. Engl.*, **34** (1995) 2311-2327.

- [3] H.K. Sharma and K.H. Pannell, *Lead: Organometallic Chemistry. In: R. Bruce King (ed.). Encyclopedia of Inorganic Chemistry. Second Edition. Wiley., (2005) pp. 2671-2678.*
- [4] J.S. Casas, J. Sordo and M.J. Vidarte, *Lead(II) coordination chemistry in the solid state. In: J., Casas, S., J. Sordo (ed.). LEAD Chemistry, Analytical Aspects, Environmental Impact and Health Effects. Elsevier., (2006) pp. 41-99.*
- [5] B. Mirtamizdoust, M. S. Shalamzari, S. Behrouzi, M. H. Florencio and H. K., Fun, *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **22** (2012) 1358-1364.
- [6] V. Safarifard, A. Morsali, *Ultrasonics Sonochemistry* **10** (2012) 1591-1597.
- [7] B. Mirtamizdoust, B. Shaabani, A. Khandar, H. K. Fun, S. Huang, M., Shadman and P. Hojati-Talemi, *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **638** (2012) 844-850.
- [8] Y. Hanifehpour, B. Mirtamizdoust, and S.W. Joo, *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **22** (2012) 916-922.
- [9] Y. Hanifehpour, B. Mirtamizdoust, A.R. Farzam and S. W. Joo, *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **22** (2012) 57-962.
- [10] B. Mirtamizdoust, S. Ali-Asgari, S. W. Joo, E. Maskani, Y. Hanifehpour and T. H., Oh, *J. Inorg. Organomet. Polym.*, **23** (2013) 751-757.
- [11] Y. Hanifehpour, A. Morsali, B. Mirtamizdoust and S.W. Joo, *J. Mol. Struct.*, **1079** (2015) 67-73.
- [12] Y. Hanifehpour, B. Mirtamizdoust, A. Morsali and S.W. Joo, *Ultrason. Sonochem.*, **23** (2015) 275-281.
- [13] K. Nakamoto. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds* (Wiley, New York, 1997), 5th Edn., Part B, pp. 124-126.
- [14] J.M. Harrowfield, H. Miyamae, B.W. Skelton, A.A. Soudi and A.H. White, *Aust. J. Chem.* **49** (1996) 1165-1169, and references therein.

[۱۵] ع. حقیقی اصل، ه. باصری، م. لطف الهی، مجله شیمی کاربردی، شماره ۳۰۲ (۱۳۸۶) ص ۴۲-۵۳.

[۱۶] ا. بهرامی، س. نظری، ش. برزگر، مجله شیمی کاربردی، شماره ۲۱ (۱۳۹۰) ص ۷۳-۸۲.

[۱۷] ز. منصف خوشحساب، مجله شیمی کاربردی، شماره ۲۴ (۱۳۹۱) ص ۶۳-۷۳.

