



تهیه و بررسی ساختار بلوری ترکیب بیس (۳،۳'،۵'-تترامتیل بنزیدینوم) بیس (پیریدین-۲،۶-دی‌کربوکسیلاتو) نیکلات (II) مونوهیدرات

ژانت سلیمان نژاد^{۱*}، سیما صدقی‌نیا^۱، مینا نصیبی‌پور^۲

۱- دانشکده شیمی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

۲- دانشکده شیمی، دانشگاه شیراز، شیراز

(دریافت مقاله: ۹۵/۹/۲۴، نسخه نهایی: ۹۵/۱۱/۳۰)

چکیده: ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (۱) که pydc و tmb به ترتیب لیگندهای ۳،۳'،۵'-تترامتیل بنزیدین و پیریدین-۲،۶-دی‌کربوکسیلیک اسید هستند، از روش انتقال پروتون سنتز شده و ساختار بلوری آن به وسیله پراش پرتو X تعیین شد. این ترکیب در سیستم بلوری تک‌میل و گروه فضایی $C2/c$ متبلور شده است. واحد بی‌تقارن این ترکیب حاوی نیمی از کمپلکس آنیونی $[\text{Ni}(\text{pydc})_2]^{2-}$ ، یک مولکول ۳،۳'،۵'-تترامتیل بنزیدین پروتونه شده به‌عنوان کاتیون همراه و نیمی از یک مولکول آب کوئوردینه نشده است. در این ترکیب وجود پیوندهای هیدروژنی قوی $\text{N-H} \dots \text{O}$ و $\text{O-H} \dots \text{N}$ به همراه برهم‌کنش‌های $\pi \dots \pi$ و $\text{C-H} \dots \pi$ موجب خودتجمعی و تشکیل یک ساختار سوپرامولکولی جدید شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: ترکیبات انتقال پروتون؛ پیریدین-۲،۶-دی‌کربوکسیلیک اسید؛ ۳،۳'،۵'-تترامتیل بنزیدین؛ بلورشناسی؛ ساختار بلوری.

مقدمه

گروه پژوهشی ما تلاش دارد تا بر پایه اطلاعات موجود یا با توجه به قابلیت‌های فضایی، توپولوژیکی (مربوط به هندسه ساختاری) و پیوندهای بین‌مولکولی (به ویژه پیوند هیدروژنی) بین واحدهای ساختاری شرکت‌کننده طراحی و ساخت مواد بلوری جدیدی را مهندسی کند [۱۰، ۱۱]. در ادامه کارهای پژوهشی بیان شده، ترکیب انتقال پروتون $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (۱) سنتز و ساختار مولکولی و بلوری آن جهت بررسی برهم‌کنش‌های موجود تعیین شد که در این گزارش ارائه می‌شود.

آماده‌سازی و دستگاه‌ها

همه مواد استفاده شده در این پژوهش با خلوص تجزیه‌ای از شرکت‌های مرک و فلوکا خریداری شده و بدون خالص‌سازی

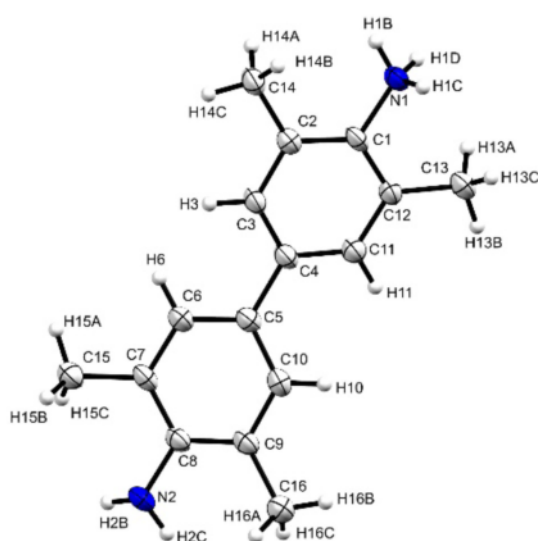
پیوندهای هیدروژنی اساس آرایه‌های وسیعی از سیستم‌هایی هستند که در حوزه‌های مختلف و وسیع علم از برهم‌کنش‌های ظریف بین بازهای DNA تا تجمع‌های منظم سوپرامولکولی حضور دارند. با توجه به جهت‌گیری مشخص و انرژی‌های پیوندی به نسبت کم، پیوندهای هیدروژنی در سنتزهای غیرکووالانسی سوپرامولکولی و مهندسی بلور اهمیت بسزایی دارند. افزون بر این، برهم‌کنش‌های غیرکووالانس همچون پیوندهای هیدروژنی، برهم‌کنش‌های $\text{C-H} \dots \pi$ و $\text{C-O} \dots \pi$ تأثیر قابل توجهی بر انباشتگی ساختار مولکولی دارند [۱-۴].

در چند دهه اخیر، پژوهش‌های وسیعی پیرامون سنتز و شناسایی سیستم‌های سوپرامولکولی و کمپلکس‌های آن‌ها با یون‌های مختلف فلزی انجام شده است [۵-۹]. در همین راستا

بحث و نتیجه گیری

ساختار مولکولی ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (۱) در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های بلورشناسی، طول و زوایای پیوندی و مختصات پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. این ترکیب در سیستم بلوری تک‌میل و گروه فضایی $C2/c$ متبلور شده است و پارامترهای سلول واحد آن $a = 3679.8(13) \text{ \AA}$ ، $b = 7831(3) \text{ \AA}$ ، $c = 1590.7(6) \text{ \AA}$ و $\beta = 114.802(2)^\circ$ هستند. مقدار R نهایی برای 4733 بازتاب مستقل برابر 0.063 است.

در هر واحد بی‌تقارن از این ترکیب، نیمی از کمپلکس آنیونی نیکل (II) با پیریدین-۶،۲-دی کربوکسیلات، یک کاتیون $5',5',3',3'$ -تترامتیل بنزیدینیوم و نیمی از یک مولکول آب وجود دارد (شکل ۱). کمپلکس آنیونی در ترکیب ۱ از دو گروه پیریدین-۶،۲-دی کربوکسیلات که هر یک به عنوان لیگاند سه دندانه عمل کرده و یک اتم نیتروژن و دو اتم اکسیژن خود را در اتصال به فلز مرکزی شرکت می‌دهند، تشکیل شده است. شش اتم کوئوردینه شونده آرایش هشت وجهی انحراف یافته را در اطراف یون فلز به وجود می‌آورند. کاتیون $5',5',3',3'$ -تترامتیل بنزیدینیوم نقش موازنه کننده بار در ساختار بلوری ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ را دارد.

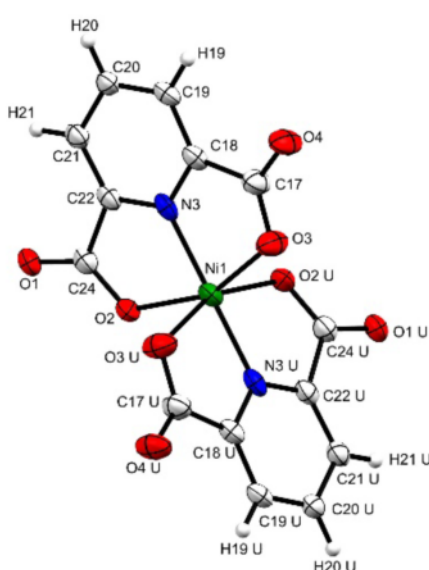


بیشتر به کار رفته‌اند. داده‌های پراش پرتو X تک بلور با دستگاه پراش‌سنج مدل Burker SMART (پرتو k_α مولیبدن) در دمای 150 کلوین جمع‌آوری شده است. ساختار بلور از روش مستقیم تعیین و اصلاح نتایج به روش حداقل مربعات کامل ماتریس کامل بر پایه F^2 با نرم افزار SHELX-97 انجام شد [۱۲]. برای تهیه تصاویر از نرم افزار مرکوری استفاده شده است [۱۳].

فایل اطلاعات بلورشناسی (cif) در مرکز داده‌های بلورشناسی کمبریج (CCDC) با کد 1491823 به ثبت رسیده و از طریق آدرس www.ccdc.cam.ac.uk/conts/retrieving.html قابل دریافت است.

روش آزمایش

محلول 0.33 میلی‌مول (0.08 گرم) $5',5',3',3'$ -تترامتیل بنزیدین، در دی‌کلرومتان (4 میلی‌لیتر) به دقت به صورت لایه-ای به زیر محلول 0.16 میلی‌مول (0.28 گرم) پیریدین-۶،۲-دی کربوکسیلیک اسید و 0.8 میلی‌مول (0.21 گرم) نیکل (II) نترات شش آبه، در 60 میلی‌لیتر آب که به مدت 5 دقیقه در دمای 70 درجه سلسیوس مخلوط شده بود، افزوده شد. پس از دو روز بلورهای مکعبی شکل به رنگ سبز-آبی در حد فاصل دو لایه با بازده 75 درصد پدیدار شدند که در دمای بالای 300 درجه سلسیوس تجزیه شدند.



شکل ۱ ساختار مولکولی ترکیب ۱ که مولکول آب برای وضوح بهتر حذف شده است (کد تقارنی برای اتم‌هایی که در کنار نام و شماره آنها حرف U آمده، $-x, y, -z+1/2$ است).

جدول ۱ داده‌های بلورشناسی ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$.

فرمول	$\text{C}_{46}\text{H}_{12}\text{N}_6\text{NiO}_9$
وزن فرمولی (گرم بر مول)	۸۸۹٫۶۳
دما (کلوین)	۲۹۶
طول موج (آنگستروم)	۰٫۷۱۰۷۳
سیستم بلوری	تک‌میل
گروه فضایی	$C2/c$
پارامتر a (آنگستروم)	۳۶٫۷۹۸۱ (۱۳)
پارامتر b (آنگستروم)	۷٫۸۳۱۴ (۳)
پارامتر c (آنگستروم)	۱۵٫۹۰۷۰ (۶)
زاویه β (درجه)	۱۱۴٫۸۰۲ (۲)
حجم (آنگستروم مکعب)	۴۱۶۱٫۲ (۳)
تعداد واحد فرمولی در سلول واحد	۴
چگالی (میلی گرم بر سانتی متر مکعب)	۱٫۴۲۰
ضریب جذب ^{-۱} (میلی متر)	۰٫۵۳۳
$F(000)$	۱۸۷۲
اندازه بلور (میلی متر مکعب)	$۰٫۱۸ \times ۰٫۱۶ \times ۰٫۱۶$
محدوده زاویه θ (درجه)	۲٫۴۴ تا ۲۷٫۵۰
محدوده شاخص‌ها	$-۴۷ \leq h \leq ۴۴$, $-۹ \leq k \leq ۱۰$, $-۱۷ \leq l \leq ۲۰$
مقدار R_I تعیین شده	۰٫۰۶۸۲
مقدار WR_2 تعیین شده	۰٫۱۶۲۵
مقدار R_{int} تعیین شده	۰٫۰۶۳۶
F^2 نیکویی برازش	۱٫۰۰۱
تعداد بازتاب‌های مستقل	۴۷۳۳
$\Delta\rho_{\text{max}}$ (الکترون بر آنگستروم مکعب)	۰٫۹۵۴
$\Delta\rho_{\text{min}}$ (الکترون بر آنگستروم مکعب)	-۱٫۵۰۳

چهار اتم اکسیژن جایگاه‌های استوایی و دو اتم نیتروژن جایگاه‌های محوری این هشت وجهی را اشغال می‌کنند. همان گونه که در جدول ۲ آمده است، زاویه‌ی $\text{O}(3)\text{-Ni}(1)\text{-O}(2)$ به تبع آن زاویه معادل آن به لحاظ تقارنی $\text{O}(3)\text{U-Ni}(1)\text{-O}(2)\text{U}$ برابر با $۱۵۷٫۲۵$ درجه هستند که نشان می‌دهد اتم‌های اکسیژن در یک فضای تقریباً مسطح حول اتم نیکل قرار گرفته‌اند. زاویه $\text{N}(3)\text{-Ni}(1)\text{-N}(3)\text{U}$ برابر با $۱۷۹٫۹$ درجه و دو زاویه‌ی تقریباً قائمه/راست $\text{O}(3)\text{-Ni}(1)\text{-O}(2)\text{U}$ و $\text{O}(2)\text{-Ni}(1)\text{-O}(3)\text{U}$ درجه $۹۲٫۱۴$ درجه نشان می‌دهند که دو مولکول پیریدین-۶،۲-دی کربوکسیلیک اسید نسبت به یکدیگر قائمه/راست هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فضای کوئوردیناسیونی نیکل (II) به شکل یک هشت‌وجهی انحراف یافته است.

باتوجه به شکل ۱ چهار گروه کربوکسیلاتی حول اتم نیکل (II) وجود دارند. مقایسه طول پیوندهای C-O کوئوردینه شده (C17-O3 و C24-O2) با پیوندهای C-O کوئوردینه نشده

(C17-O4 و C24-O1) به فلز مرکزی (جدول ۲) نشان می‌دهد که طول پیوندهای C-O متصل به اتم فلز مرکزی افزایش یافته است. این در حالی است که طول پیوندهای کوئوردینه نشده کاهش یافته است. زوایای پیچشی جدول ۲ نشان می‌دهند که یکی از گروه‌های $(\text{COO})^-$ از هر لیگاند پیریدین-۶،۲-دی کربوکسیلیک اسید نسبت به حلقه‌های پیریدینی در یک صفحه قرار ندارد. در ترکیب جدید ۱ کمپلکس نیکل ساختاری مشابه ساختارهای گزارش شده قبلی $(\text{pipzH}_2)[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (۲) [۱۴] را دارا است با این تفاوت که طول پیوندهای $\text{NiO}(2)$ ، $\text{NiO}(3)$ و $\text{NiN}(3)$ در ترکیب ۱ به ترتیب برابر $۲٫۱۲۸(۳)$ ، $۲٫۰۹۴(۲)$ و $۱٫۹۵۳(۳)$ آنگستروم (میانگین طول پیوند $۲٫۰۵۳$ آنگستروم) و برابر با طول پیوند قرینه خود در نیمه دیگر کمپلکس آنیونی یاد شده هستند در حالی که میانگین طول پیوند NiO در ترکیب مشابه ۲ بیشتر و دارای میانگین طول پیوند $۲٫۱۳۷\text{\AA}$ است [۱۴].

باتوجه به شکل ۱ چهار گروه کربوکسیلاتی حول اتم نیکل (II) وجود دارند. مقایسه طول پیوندهای C-O کوئوردینه شده (C17-O3 و C24-O2) با پیوندهای C-O کوئوردینه نشده

جدول ۲ پیوندها و زوایای انتخابی (به ترتیب و بر حسب آنگستروم) در ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$.

زاویه پیوند (°)		طول پیوند (Å)	
Ni(1)-N(3)	۱۹۲۵(۳)	O(3)-Ni(1)-O(3)U	۹۲٫۱۴(۱۷)
Ni(1)-O(2)	۲٫۱۲۸(۳)	O(3)-Ni(1)-O(2)	۱۵۷٫۲۵(۹)
Ni(1)-O(3)	۲٫۰۹۴(۲)	N(3)-Ni(1)-N(3)U	۱۷۹٫۹۰(۲)
Ni(1)-O(5)	۲٫۰۲۶(۲)	O(2)-Ni(1)-O(2)U	۹۵٫۱۰(۱۵)
C(17)-O(3)	۱٫۲۶۸(۴)	N(3)-Ni(1)-O(2)	۷۸٫۲۸(۱۰)
C(17)-O(4)	۱٫۲۵۲(۴)	N(3)-Ni(1)-O(3)	۷۹٫۰۱(۱۱)
C(24)-O(1)	۱٫۲۳۵(۴)	C(17)-O(3)-Ni(1)	۱۱۳٫۹۰(۲)
C(24)-O(2)	۱٫۲۸۶(۴)	C(24)-O(2)-Ni(1)	۱۱۳٫۸۰(۲)

ابعاد $۷٫۸۳۱ \times ۶٫۶۶۷ \times ۷٫۸۳۱$ آنگستروم) را تشکیل می‌دهند که در هر حفره یک مولکول آب توسط پیوندهای هیدروژنی ضعیف $\text{O}(1\text{S})-\text{H}(1\text{A}) \dots \text{N}(1)\#3$ (طول پیوند $۲٫۶۴۰ \text{ Å}$) در جای خود ثابت می‌شود (شکل ۲).

همچنین در این ترکیب دو برهم‌کنش $\text{C}-\text{H} \dots \pi$ (بین $\text{C}13-\text{H}13\text{A}$ و حلقه $\text{N}3\text{C}18-\text{C}22$ و بین $\text{C}14-\text{H}14\text{B}$ و حلقه $\text{C}5-\text{C}10$ به ترتیب به طول $۳٫۱۳۳$ و $۳٫۰۳۱$ آنگستروم) و یک برهم‌کنش $\pi \dots \pi$ (بین دو حلقه $\text{N}3\text{C}18-\text{C}22$ و پیریدینی لیگاند پیریدین-۲،۶-دی‌کربوکسیلیک اسید به طول $۳٫۵۱۸ \text{ Å}$) سبب تثبیت ساختار بلوری (شکل ۳) می‌شوند.

این برهم‌کنش‌های ضعیف در کنار پیوندهای هیدروژنی قوی‌تر $\text{N}-\text{H} \dots \text{O}$ و $\text{O}-\text{H} \dots \text{N}$ زمینه پایداری بیشتر شبکه بلوری را فراهم می‌آورند. در نهایت مجموعه این برهم‌کنش‌ها و به‌ویژه پیوندهای هیدروژنی سبب گسترش و تشکیل یک شبکه سه بعدی منظم می‌شود.

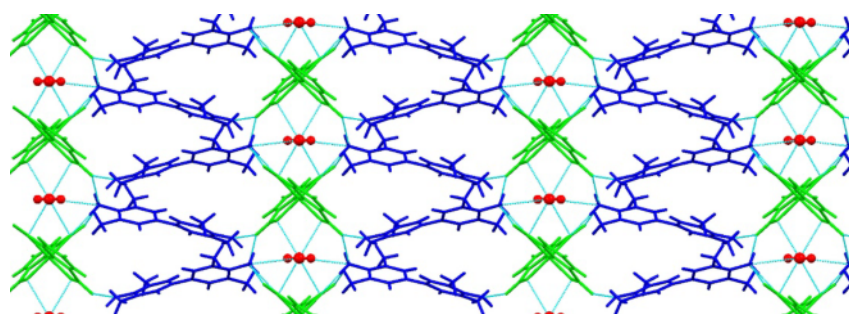
در ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ پیوندهای هیدروژنی از نوع $\text{N}-\text{H} \dots \text{O}$ و $\text{O}-\text{H} \dots \text{N}$ بین مولکول‌های آب و اجزای کاتیونی و آنیونی ترکیب وجود دارند (جدول ۳). باتوجه به جدول ۳ قوی‌ترین پیوندهای هیدروژنی $\text{N}(1)-\text{H}(1\text{C}) \dots \text{O}(4)\#3$ مربوط به پیوند بین بخش کاتیونی و آنیونی و ضعیف‌ترین پیوند $\text{O}(1\text{S})-\text{H}(1\text{A}) \dots \text{N}(1)\#3$ پیوند هیدروژنی بین بخش کاتیونی $(\text{Htmb})^+$ و مولکول آب است. افزون بر پیوند هیدروژنی $\text{N}(1)-\text{H}(1\text{C}) \dots \text{O}(4)\#3$ چهار پیوند هیدروژنی $\text{N}(1)-\text{H}(1\text{D}) \dots \text{O}(2)\#2$ ، $\text{N}(1)-\text{H}(1\text{B}) \dots \text{O}(1)\#2$ و $\text{N}(2)-\text{H}(2\text{C}) \dots \text{O}(4)\#5$ و $\text{H}(2\text{B}) \dots \text{O}(1)\#4$ (به ترتیب افزایش طول پیوند هیدروژنی) نیز بین اجزای آنیونی و کاتیونی ترکیب انتقال پروتون ۱ برقرار است. به عبارتی پیوندهای هیدروژنی قوی بین اجزای کاتیونی و آنیونی $\text{N}(1)-\text{H}(1\text{D}) \dots \text{O}(2)\#2$ و $\text{N}(1)-\text{H}(1\text{C}) \dots \text{O}(4)\#3$ به ترتیب با طول پیوند $۲٫۰۰۶ \text{ Å}$ و $۱٫۸۸۴ \text{ Å}$ حفره‌هایی با

جدول ۳ پیوندهای هیدروژنی (بر حسب آنگستروم) در ترکیب $(\text{Htmb})_2[\text{Ni}(\text{pydc})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$.

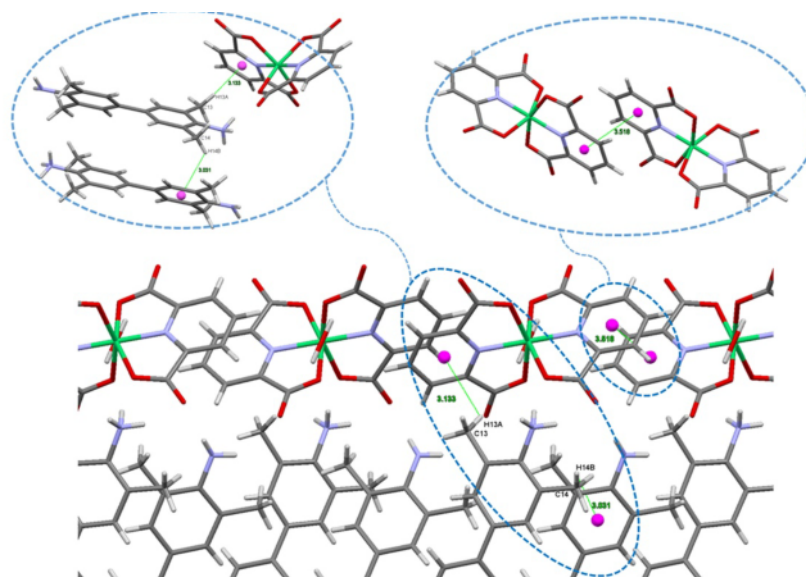
$D-H \dots A$	$d(D-H)$	$d(H \dots A)$	$d(D \dots A)$	$\angle(DHA)$
$\text{N}(1)-\text{H}(1\text{B}) \dots \text{O}(1)\#2$	۰٫۸۵	۲٫۲۸	۲٫۹۳۷(۴)	۱۳۳٫۸
$\text{N}(1)-\text{H}(1\text{D}) \dots \text{O}(2)\#2$	۰٫۸۵	۲٫۰۱	۲٫۸۴۶(۴)	۱۶۹٫۳
$\text{N}(1)-\text{H}(1\text{C}) \dots \text{O}(4)\#3$	۰٫۸۵	۱٫۸۸	۲٫۶۹۶(۴)	۱۵۹٫۵
$\text{N}(2)-\text{H}(2\text{B}) \dots \text{O}(1)\#4$	۰٫۸۵	۲٫۵۰	۳٫۳۴۸(۴)	۱۷۳٫۸
$\text{N}(2)-\text{H}(2\text{C}) \dots \text{O}(4)\#5$	۰٫۸۵	۲٫۳۵	۳٫۰۴۲(۴)	۱۳۸٫۸

تبدیل‌های تقارنی به کار رفته برای خلق اتم‌های هم ارز

#1 -x,y,-z+1/2 #2 x,-y,z-1/2 #3 -x,-y+1,-z
#4 -x-1/2,y-1/2,-z-1/2 #5 x-1/2,-y+1/2,z-1/2



شکل ۲ ساختار انباشته ترکیب ۱ و مولکول‌های آب (قرمز رنگ) درون حفره‌های حاصل از پیوندهای هیدروژنی بین اجزای کاتیونی (آبی رنگ) و آنیونی (سبز رنگ).



شکل ۳ نمایش برهم‌کنش‌های π - π و $C-H \cdots \pi$ در ترکیب $(Htmb)_2[Ni(pydc)_2] \cdot H_2O$.

برداشت

ترکیب، $(Htmb)_2[Ni(pydc)_2] \cdot H_2O$ (۱)، از روش انتقال پروتون سنتز شده و ساختار بلوری آن با روش بلورشناسی تعیین شده است. ساختار گزارش شده را می‌توان ساختاری سوپرامولکولی دانست که پایداری خود را از طریق برهم‌کنش‌های غیرکووالانسی بین بخش آنیونی $[Ni(pydc)_2]^{2-}$ ، کاتیونی $(Htmb)^+$ و مولکول آب به دست آورده است. در ترکیب ۱ شبکه‌ای از پیوندهای هیدروژنی و برهم‌کنش‌های یون-یون، $\pi \cdots \pi$ و $C-H \cdots \pi$ نقش مهمی در ایجاد ساختار سه بعدی ترکیب سوپرامولکول $Ni(II)$ ایفا می‌کنند.

مراجع

- [1] Sweetman A. M., Jarvis S. P., Sang H., Lekkas I., Rahe P., Wang Y., Wang J., Champness N. R., Kantorovich L., Moriarty P., "Mapping the force

field of a hydrogen-bonded assembly", Nature Communications, 5 (2014) Article number: 3931

[۲] باخموئوف و، "پیوندهای دی‌هیدروژنی"، ترجمه سلیمان-نژاد، ژ، نظرنیا، ا، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۹۲) صفحات ۵-۱.

[3] Tailor S.M., Patel U.H., "Synthesis, spectroscopic characterization, antimicrobial activity and crystal structure of silver and copper complexes of sulfamethazine", Journal of Coordination Chemistry, 68, (2015) 2192-2207.

[4] Wang C., Yang G., Jiang Y., "Structure and property of multiple amino acids assembled on the surface of a CNT", Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures, 85 (2017) 7-12.

[5] Foroughian M., Foroumadi A., Notash B., Bruno G., Amiri Rudbari H., Aghabozorg H., "2,3-Diaminopyridinium 6-carboxypyridine-2-

- [10] Soleimannejad J., Aghabozorg H., Mohammadzadeh Y., Nasibipour M., Sheshmani S., Shokrollahi A., Karami E., Shamsipur M., "Different complexation behavior of Fe(III), Co(II) and Ni(II) with pyridine-2,6-dicarboxylic acid and 4,4'-bipyridine adduct: syntheses, crystal structures and solution studies", Journal of the Iranian Chemical Society, 8 (2011) 247-264.
- [11] Soleimannejad J., Aghabozorg H., Nasibipour M., Najafi S., Manteghi F., Shokrollahi A., Karami E., Shamsipur M., "Synthesis, characterization, solution study and crystal structure of complexes of Cr(III), Co(II), Ni(II) and Cu(II) with chelidamic acid and 2,9-dimethyl-1,10-phenanthroline", Journal of the Iranian Chemical Society, 9 (2012) 415-430.
- [12] Bruker SMART, SAINT. Bruker AXS Inc. Madison, Wisconsin, USA, (1998).
- [13] Macrae C. F., Bruno I. J., Chisholm J. A., Edgington P. R., McCabe P., Pidcock E., Rodriguez-Monge L., Taylor J. van de Streek R., Wood P. A., "Mercury CSD 2.0 - New features for the visualization and investigation of crystal structures", Journal of Applied Crystallography, 41 (2008) 466-470.
- [14] Aghabozorg H., Gharamaleki J. A., Ghasemikhah P., Ghadermazi M., Soleimannejad J., "Piperazinediium bis(pyridine-2,6-dicarboxylato) nickelate(II) tetrahydrate", Acta Crystallographica Section E, (2007) 1710-1711.
- carboxylate", Acta Crystallographica Section E, 67, (2011) o3325.
- [6] Mirzaei M., Eshtiagh-Hosseini H., Alfi N., Aghabozorg H., Attar Gharamaleki J., Beyramabadi S.A., Khavasi H.R., Salimi A.R., Shokrollahi A., Aghaei R., Karami E., "Syntheses, crystal, molecular structures, and solution studies of Cu(II), Co(II), and Zn(II) coordination compounds containing pyridine-2,6-dicarboxylic acid and 1,4-pyrazine-2,3-dicarboxylic acid: Comparative computational studies of Cu(II) and Zn(II) complexes", Structural Chemistry, 22, (2011) 1365-1377.
- [7] Aghabozorg H., Agah A.A., Notash B., Mirzaei M., "Propane-1,2-diaminium bis-(pyridine-2,6-dicarboxyl-ato- $\kappa^3 O^2, N, O^6$)cuprate(II) tetrahydrate", Acta Crystallographica Section E, 67 (2011) m992-m993.
- [8] Ghosh S. K., Ribas J., Bharadwaj P. K., "Characterization of 3-D metal-organic frameworks formed through hydrogen bonding interactions of 2-D networks with rectangular voids by Co(II) and Ni(II)-pyridine-2,6-dicarboxylate and 4,4'-bipyridine or 1,2-di(pyridyl)ethylene", Crystal Growth and Design, 5 (2005) 623-629.
- [9] Sharif M. A., Aghajani Z., Aghabozorg H., "Crystal structure of a Ni(II) complex obtained from a proton-transfer compound containing pyridine-2,6-dicarboxylic acid and 2,4,6-triamino-1,3,5-triazine", Analytical Sciences X-ray Structure, 23 (2007) 147-148.