



## همنهشت، شناسایی و ساختار بلوری جفت یون انتقال پروتون ۹-آمینوآکریدینیم-۹-کربوکسیلات

زهره دریکوند<sup>\*</sup>، آزاده آزادبخت

گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد

(دریافت مقاله: ۹۴/۲/۲۷، نسخه نهایی: ۹۴/۴/۱۷)

**چکیده:** جفت یون انتقال پروتون ۹-آمینوآکریدینیم-۹-کربوکسیلات (۱) از واکنش ۹-آمینو آکریدین، آکریدین-۹-کربوکسیلیک اسید و نیترات روی (نسبت مولی ۱:۱:۱) در مخلوط حلال‌های آب/امتانول و در شرایط بازتابی تهیه شد. شناسایی ترکیب انتقال پروتون با استفاده از روش‌های تجزیه‌ی عنصری، طیف سنجی IR و پراش پرتو X تک بلور آن انجام شد. اطلاعات بلوری برای این ترکیب در K ۱۰۰ جمع آوری شده است. این ترکیب در سیستم بلوری تک میل، گروه فضایی C2/c و با هشت مولکول در سلول واحد تبلور یافته و پارامترهای سلول واحد آن عبارتند از  $a = ۱۵۳۳۶(۹)$  Å،  $b = ۱۴۳۴۲(۸)$  Å،  $c = ۱۹۴۸۱(۱)$  Å،  $\beta = ۱۰۹^{\circ}۰۵۷$ ° است. در ساختار این ترکیب انواع برهم‌کنش‌های غیرکوالانسی و نیز یونی مانند پیوند هیدروژنی N-H-π و π-π، π-π و برهم‌کنش‌های کاتیون-آنیون وجود دارند. این برهم‌کنش‌ها نقش مهمی در بسط شبکه‌ی سه بعدی در سیستم بلوری دارند.

**واژه‌های کلیدی:** آکریدین-۹-کربوکسیلیک اسید؛ جفت یون؛ ساختار بلوری؛ پیوند هیدروژنی.

تحت عنوان برهم‌کنش "شاه کلید"<sup>۲</sup> توصیف شده است [۶]. زیرا این ویژگی‌ها قادر به کنترل و سمت‌دهی ساختارهای خود-مجموعه ساز مولکولی می‌شود [۹]. این عامل اهمیت آن را در بررسی مهندسی بلور نیز نشان می‌دهد. نمونه‌های انباست مولکولی وابسته به فرایند حیات و نانو مواد اهمیت این قضیه را آشکار می‌سازد [۱۰]. در همین راستا، تلاش‌های وسیعی برای تهییه و شناسایی جفت یون‌های انتقال پروتون و درک بهتر ماهیت نیروهای بین مولکولی موثر در تشکیل و پایداری این سیستم‌ها انجام شده است.

از این ترکیب‌های انتقالی پروتون، می‌توان به موارد O<sub>9</sub>H<sub>2</sub>O tartH<sub>2</sub>(dmphenH)(tartH) که در آن tartH<sub>2</sub> تارتاریک اسید dmphen و dmphenO H<sub>2</sub>O tartH<sub>2</sub>(acrH)(btcH<sub>2</sub>) که در آن acrH نشانه‌ی آکریدین سیستم

### مقدمه

معماری آبرمولکولی براساس برهم‌کنش‌های نا هم ارزی مانند پیوندهای هیدروژنی، انباستگی π-π، برهم‌کنش‌های هیدرووفوب و نیز برهم‌کنش‌های دهنده-پذیرنده بسیار جالب است و توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۱۱-۱۵]. به طور کلی شیمی آبرمولکولی با برهم‌کنش‌های پیوندی نا هم ارز سروکار دارد و در مهندسی بلور، بیش از جنبه‌های دیگر شیمی آبرمولکولی اثر متقابل هم‌افزایی این برهم‌کنش‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. در نبود هر برهم‌کنش غالب، تحلیل و پیش‌بینی ساختار بلوری بسیار دشوار خواهد بود. در میان برهم‌کنش‌های نا هم ارز حاکم بر انباست مولکولی، پیوند هیدروژنی نقش اصلی را ایفا می‌کند [۱۶-۱۸]. در زمینه‌ی شیمی آبرمولکولی پیوند هیدروژنی به دلیل دارا بودن دو ویژگی قدرت به نسبت بالا و جهت داربودن بالا

کربوکسیلات با استفاده از باز ۹-آمینوآکریدین (aacr) و آکریدین-۹-کربوکسیلیک اسید (acraH) و روی نیترات در نسبت مولی ۱:۱ تهیه شد. برای تهیه ای این ترکیب  $223\text{ mg}$  (۲ mmol) از اسید در  $10\text{ mL}$  متانول حل شد. سپس به آرامی و قطره قطره به محلولی از  $194\text{ mg}$  (۲ mmol) ۹-آمینو آکریدین در  $5\text{ mL}$  متانول اضافه شد، محلول شفافی به دست آمد. سپس به این محلول  $296\text{ mg}$  نیترات روی در  $5\text{ mL}$  به آرامی و قطره قطره اضافه کردیم. که در نتیجه رسوب زرد رنگی حاصل شد. که در دمای  $150^{\circ}\text{C}$  واکنش صورت گرفت. رسوب تشکیل شده صاف و در کمترین مقدار دی متیل سولفوکسید حل شد. سپس آن را در دمای اتاق و در جای ثابتی قرار داده و پس از مدت  $10$  روز بلورهای زرد رنگی تشکیل شدند. بلورها را صاف و سپس خشک کردیم تا با استفاده از روش‌های مختلف بررسی شوند. روش همنهشتی این جفت یون در شکل ۱ آورده شده است.

#### بحث و نتیجه‌گیری

#### بررسی داده‌های طیفی

ترکیب انتقال پروتون همنهشت شده در دمای  $320^{\circ}\text{C}$  ذوب شد. داده‌های تجزیه عنصری بر اساس فرمول تجربی،  $\text{C}_{27}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_2$  در جدول ۱ آورده شده است. در طیف IR ترکیب تمام قله‌های ضروری وابسته به آمین و کربوکسیلیک اسید دیده می‌شوند. طیف IR این ترکیب هیچ نوار جذبی در گستره‌ی  $1700\text{ cm}^{-1}$  نشان نمی‌دهد و این نشان می‌دهد که گروه کربوکسیلیک اسید پروتون زدایی شده است.

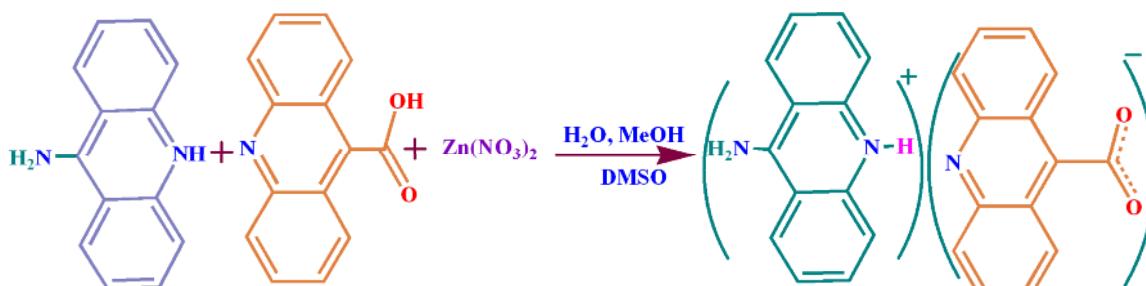
و  $\text{btcH}_2$  بنزن-۳،۵-۱-تری کربوکسیلیک اسید [۱۲]، و  $\text{phenH}(\text{tartH})\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ۱،۰-فنانترولين [۱۳] و  $\text{pydcH}_2$  (pydaH<sub>2</sub>)(pydc) پیریدین-۶،۲-دی کربوکسیلیک اسید و pyda پیریدین-۶،۲-دی آمین [۱۴]، و سیستم های tata (tataH<sub>2</sub>)(pydc) که ترکیب tataH<sub>2</sub> تری آمینو-۱،۳،۵-تری آزین (ملامین) است [۱۵] اشاره کرد. در این کار پژوهشی یک جفت یون انتقال پروتون از واکنش ۹-آمینوآکریدین و آکریدین-۹-کربوکسیلیک اسید تهیه شده است و انواع برهمنکنندهای بین مولکولی در ساختار آن بررسی شد.

#### بخش تجربی

کلیه‌ی مواد مورد استفاده در این پژوهش با خلوص تجزیه‌ای از شرکت‌های مرک و فلوکا خریداری شده و بدون هیچ خالص-سازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. طیف IR با استفاده از Perkin-Elmer RXI مدل (IR)  $4000-4000\text{ cm}^{-1}$  با استفاده از قرص KBr ثبت شد. آنالیز عنصری با استفاده از Heraus CHN Pro اندازه‌گیری شد. ساختار بلوری با پراش سنج پرتو ایکس مدل Bruker APEX II (تابش Mo-Kα، گرافیت تک فام، طول موج  $0.71073\text{ \AA}$  و دمای  $100\text{ K}$ ) تعیین شد. داده‌ها با استفاده از برنامه‌های APEX2 و SAINT پردازش شد [۱۶]. اصلاحات جذب با استفاده از برنامه SADABS انجام گرفت [۱۶]، و ساختار با استفاده از برنامه SHELXTL [۱۷] حل و اصلاح شد.

#### روش تهیه جفت یون ۹-آمینوآکریدینیم آکریدین-۹-کربوکسیلات

ترکیب انتقال پروتون ۹-آمینوآکریدینیم آکریدین-۹-



شکل ۱ روش تهیه‌ی جفت یون انتقال پروتون  $(\text{aacrH})^+(\text{acraH})^-$

جدول ۱ داده‌های تجزیه‌ی عنصری ترکیب انتقال پروتون  $(\text{aacrH})^+(\text{acra})^-$ 

درصد وزنی	C	H	N
مقدار محاسبه شده	٪۷۷,۶۸	٪۴,۵۹	٪۱۰,۰۷
مقدار تجربی	٪۷۶,۸۰	٪۴,۴۳	٪۹,۸۰

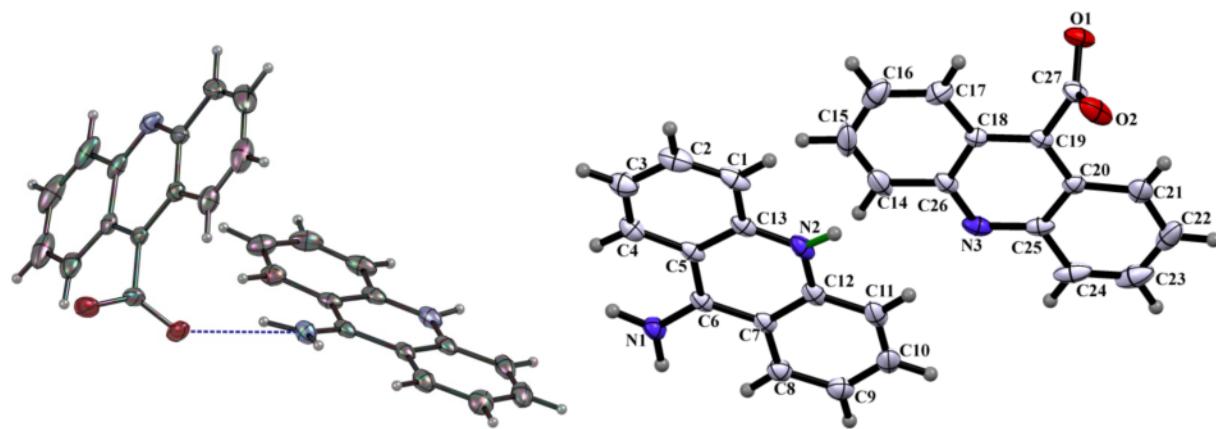
به دست آمد. برای تهیه‌ی این ساختار مولکولی از آکریدین-۹-کربوکسیلیک اسید (acraH) و ۹-آمینو آکریدین (aacr) استفاده شد، و سعی بر این بود که با استفاده از نمک روی نیترات یک ترکیب هم‌آرایی (کوئوردناسیون) از این دو لیگاند تشکیل شود ولی ساختار بلوری نشان داد که فلز روی در تشکیل کمپلکس شرکت نکرده است و اسید و باز یک جفت یون جدید تشکیل داده‌اند (شکل ۲). داده‌های بلوری این ترکیب، طول پیوند و زوایای پیوندی و نیز پیوندهای هیدروژنی به ترتیب در جدول‌های ۲ تا ۴ آورده شده‌اند. ساختار مولکولی این ترکیب نشان می‌دهد که گروه اسیدی پروتون زدایی شده است و این پروتون روی ازت حلقه ۹-آمینو آکریدین انتقال یافته است.

در گروه کربوکسیلات که پروتون زدایی شد، به علت پدیده همتوانی طول پیوند وابسته به  $\text{C}=\text{O}$  افزایش یافته است و در نتیجه ارتعاش‌های وابسته به گروه کربوکسیل در بسامدهای پایین‌تر یعنی در  $1627 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر می‌شوند. قله‌ی ظاهر شده در  $1333 \text{ cm}^{-1}$  به ارتعاشات کنشی گروه  $\text{COO}^-$  وابسته است. ارتعاشات وابسته به گروه  $\text{NH}_2$  در  $3344 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر می‌شوند. همچنین به علت وجود پیوندهای هیدروژنی بین گروه کربوکسیلات و گروه‌های آمینی ارتعاشاتی در محدوده‌ی  $3533 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر می‌شوند.

**بررسی داده‌های بلورنگاری**  
بلورهای به دست آمده از ترکیب انتقال پروتون، در اثر پراش  $\text{C}_{27}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}_2$  تک بلور آن‌ها شناسایی شده و فرمول

جدول ۲ داده‌های بلورشناسی ترکیب  $(\text{aacrH})^+(\text{acra})^-$ 

فرمول	
$\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{N}_2\cdot\text{C}_{14}\text{H}_8\text{NO}_2$	
۴۱۷,۴۵	جرم فرمولی (گرم بر مول)
$0,29\times 10,9 \times 10,0,7$	اندازه بلور (میلی متر مکعب)
مونوکلینیک	سیستم بلوری
$C2/c$	گروه فضایی
۱۵,۳۳۵۷(۹)	$a (\text{\AA})$
۱۴,۳۴۲۰(۸)	$b (\text{\AA})$
۱۹,۴۸۱۴(۱۱)	$c (\text{\AA})$
۱۰,۹۰۰,۵۷۰(۱۰)	$\beta (^\circ)$
۴۰,۵۰,۰(۴)	حجم یاخته‌ی واحد ( $\text{\AA}^3$ )
۸	تعداد مولکول در یاخته‌ی واحد
۱,۳۶۹	$(\text{g}/\text{cm}^3)$ چگالی
۱۰۰	دما(کلوین)
-19<=h<=19, -17<=k<=18, -24<=l<=24	مقادیر $h, k, l$
0,0434	$R_1$
0,00,944	$WR_2$
0,044	$R_{\text{int}}$
۳۰۱	تعداد پارامترها
۱۳۷۳۸	تعداد بازتاب‌های کل
۲۷ تا ۲	گستره‌ی $\theta$ جمع آوری



شکل ۲ ساختار مولکولی ترکیب انتقال پروتون $^-$ (acrH) $^+$ (acra) با نمایش پیوند هیدروژنی.

جدول ۳ طول پیوندها (Å) و زاویه‌ی پیوندهای ( $^\circ$ ) مهم در ترکیب (acrH) $^+$ (acra)

طول پیوند (Å)	زاویه پیوند ( $^\circ$ )
O1—C27	1,۲۵۸(۲)
O2—C27	1,۲۴۵(۲)
N1—C6	1,۳۲۶(۲)
N1—H1N	۰,۹۸(۲)
N1—H1N'	۰,۹۴(۲)
N2—C13	۱,۳۶۰(۲)
N2—C12	۱,۳۶۵(۲)
N2—H2N	۰,۹۲(۲)
N3—C25	۱,۳۴۱(۲)
N3—C26	۱,۳۴۲(۲)
C6—N1—H1N	۱۲۱,۴(۱۲)
C6—N1—H1N'	۱۱۸,۹(۱۲)
H1N—N1—H1N'	۱۱۹,۸(۱۷)
C13—N2—C12	۱۲۲,۴۵(۱۴)
C13—N2—H2N	۱۱۸,۶(۱۲)
C12—N2—H2N	۱۱۸,۴(۱۲)
C25—N3—C26	۱۱۷,۷۸(۱۴)
O2—C27—O1	۱۲۷,۴۳(۱۵)
O2—C27—C19	۱۱۶,۷۴(۱۴)
O1—C27—C19	۱۱۵,۸۳(۱۴)

جدول ۴ پیوندهای هیدروژنی در ترکیب انتقال پروتون $^-$ (acrH) $^+$ (acra) و ( $^\circ$  Å)

D—H···A	D—H	H···A	D···A	D—H···A
N1—H1N <sup>i</sup> ···O1 <sup>i</sup>	۰,۹۴(۲)	۱,۹۴(۲)	۲,۸۴۰(۲)	۱۵۹,۰(۱۷)
N1—H1N···O1 <sup>ii</sup>	۰,۹۸(۲)	۱,۹۴(۲)	۲,۸۵۷(۱)	۱۵۴,۷(۱۹)
N2—H2N···O2 <sup>iii</sup>	۰,۹۳(۲)	۱,۸۵(۲)	۲,۷۶۲(۲)	۱۷۲,۱(۱۹)

(i)  $x, y-1, z$ ; (ii)  $-x, y-1, -z+1/2$ ; (iii)  $-x, -y+1, -z+1$

در این ساختار بلوری علاوه بر پیوندهای هیدروژنی، برهمنکنش‌های یونی و  $\pi-\pi$  بین حلقه‌های حلقوی وجود دارد. فاصله‌ی برهمنکنش‌های  $\pi-\pi$  بین مراکز حلقه‌های حلقوی از  $۱۰,۳۷۲\text{--}۱۰,۳۷۷\text{\AA}$  است که در شکل ۳ آورده شده‌اند. پیوندهای هیدروژنی  $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$  و برهمنکنش‌های  $\pi-\pi$  زنجیرهای پلیمری زیگزاگ یک بعدی را تشکیل داده‌اند که در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند، در این زنجیره‌ها هر تک آئیونی با

ترکیب سنتر شده در سیستم بلوری تک میل با گروه  $\text{C}_{2h}/\text{c}$  و هشت مولکول در یاخته‌ی یکه متیلور شده است. در نمودار انباشتگی این ترکیب پیوندهای هیدروژنی باعث تشکیل ساختارهای لایه‌ای از کاتیون‌ها و آنیون‌ها شده است. این برهمنکنش‌ها موجب تشکیل ساختارهای آبرمولکولی خود مجموعه‌ساز می‌شوند که نقش بسیار مهمی در پایداری ترکیب دارند.

[3] Braga D., Maini L., Paganelli F., Tagliavini E., Casolari S., Grepioni F., "Organometallic building blocks for crystal engineering. Synthesis, structure and hydrogen bonding interactions in  $[Fe(\eta^5-C_5H_4CH_2(CH_3)OH)_2]$ ,  $[Fe(\eta^5-C_5H_3(CH_3)COOH)_2]$ ,  $[Fe(\eta^5-C_5H_4CH(CH_3)NH(\eta^5-C_5H_4CH(CH_3))]$  and in the diaminecyclohexane salt  $[Fe(\eta^5-C_5H_4COO)_2]^{2-}[(1S,2S)-(NH_3)_2C_6H_{10}]^{2+}\cdot 2[H_2O]$ ", Journal of Organometallic Chemistry. 637-639 (2001) 609-615.

[4] Eppel S., Bernstein J., "Statistical survey of hydrogen-bond motifs in crystallographic special symmetry positions, and the influence of chirality of molecules in the crystal on the formation of hydrogen-bond ring motifs", Acta Crystallographica B64 (2008) 50-56.

[5] Derikvand Z., Dorostei N., Hassanzadeh F., Shokrollahi A., Mohammadpour Z., Azadbakht A., "Three new supramolecular compounds of copper (II), cobalt (II) and zirconium (IV) with pyridine-2,6-dicarboxylate and 3,4-diaminopyridine: Solid and solution states studies", Polyhedron 43 (2012) 140-152

[6] Steed J. W., Atwood J. L., "Supramolecular Chemistry", J. Wiley & sons, (2000).

[7] Krishnamohan Sharma C. V., "Crystal Engineering—Where Do We Go from Here?", Crystal Growth & Design 2 (2002) 465-474.

[8] Desiraju G. R., "Crystal engineering: Outlook and prospects", Current Science, 81 (2001) 1038-1042.

[9] Desiraju G. R., Steiner T., "The Weak Hydrogen Bond Structural Chemistry and Biology", Oxford, (1999).

[10] Prodić B. K., Štefanić Z., Žinić M., "Hydrogen Bonding and Molecular Assemblies", Croatica Chemica Acta 77(3) (2004) 415-425.

[11] Derikvand Z., Olmstead M. M., "Bis(2,9-dimethyl-1,10-phenanthrolin-1-ium) hydrogen (*S,S*)-tartrate nonahydrate", Acta Crystallographica E67 (2011) o87-o88.

[12] Derikvand Z., Aghabozorg H., Attar Gharamaleki J., "Acridinium 3,5-dicarboxybenzoate monohydrate", Acta Crystallographica. E65 (2009) o1173.

[13] Derikvand Z., Olmstead M. M., "1,10-Phenanthrolin-1-ium hydrogen (*S,S*)-tartrate trihydrate and a correction", Acta Crystallographica E66 (2010) o185.

[14] Moghimi A., Ranjbar M., Aghabozorg H., Jalali F., Shamsipur M., Yap G. P. A., Rahbarnoohi H., "A novel pyridine containing self-

استفاده از پیوندهای هیدروژنی  $O\cdots H-N$  به سه کاتیون وصل می‌شود.

از آنجا که اکسیژن‌های گروه اسیدی O1 و O2 دارای پیوندهای هیدروژنی متفاوتی هستند، طول پیوندهای آن‌ها بیکدیگر متفاوت است. به این دلیل که اتم O1 پیوندهای هیدروژنی بیشتری با بخش‌های کاتیونی همسایه تشکیل می‌دهند طول پیوند آن در O1-C27 نسبت به O2-C27 بیشتر است (جدول ۳ را ببینید). گستره‌ی زاویه‌ی پیوندهای D-H...A و طول پیوندهای A...H و A...D در این ترکیب نشان دهنده‌ی برهم‌کنش‌های هیدروژنی قوی در این ترکیب است. طول پیوند A...D در گستره‌ی ۲,۷۶۲(۲) Å تا ۲,۸۴۰(۲) Å تغییر می‌کند (جدول ۴). هر جزء آبیونی با استفاده از پیوندهای هیدروژنی  $O\cdots H-N$  به سه کاتیون وصل می‌شود. تکه‌های آبیونی نیز از طریق برهم‌کنش‌های ضعیف N...H با فاصله‌ی ۲,۶۱۵ Å H...A در این ترکیب انتقال پروتون برهم‌کنش کننده‌ی C-H...π نیز نقش مهمی در پایداری این سیستم بلوری ایفا می‌کنند. این برهم‌کنش بین پیوند C10-H10A از یک جزء آبیونی با مرکز حلقه‌ی C14-C18/C26 از یک جزء آبیونی و با فاصله π...H در حدود ۲,۹۲ Å تشکیل می‌شوند.

#### برداشت

اطلاعات کامل بلور در مرکز اطلاعات بلورنگاری کمبریج (CCDC) با عدد ۸۶۳۹۷۹ به ثبت رسیده و از طریق آدرس (www.ccdc.cam.ac.uk/conts/retrieving.html) قابل دریافت است.

#### مراجع

[1] Perpétuo G.J., Gonçalves R. S., Janczak J., "Supramolecular hydrogen-bonding network in 1-(diaminomethylene)thiuron-1-ium 4-hydroxybenzenesulfonate crystal" Journal of Molecular Structure 1096 (2015) 74-83.

[2] Kaur G., Singh S., Sreekumar A., Choudhury A. R., "The evaluation of the role of C-H...F hydrogen bonds in crystal altering the packing modes in the presence of strong hydrogen bond" Journal of Molecular Structure 1106 (2016) 154-169.

- [16] Bruker (2007) APEX2, SAINT & SADABS Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- [17] Sheldrick G.M., "A short history of SHELLX", Acta Crystallographica A64 (2008) 112-122.
- assembling system: synthesis, characterization, X-ray crystal structure,  $^{13}C$  solid phase NMR and solution studies", Journal of Molecular Structure 605 (2002) 133-149.
- [15] Sharif M. A., Aghabozorg H., Shokrollahi A., Kickelbic G., Moghimi A., Shamsipur M., "Novel Proton Transfer Compounds Containing 2,6-Pyridinedicarboxylic Acid and Melamine and Their  $Pb^{II}$  Complex: Synthesis, Characterization, Crystal Structure and Solution Studies", Polish Journal of Chemistry 80 (2006) 847-863.