

**Atf İçin:** Güngör E, Subaşat Kara H, 2021. 3-Piridin Boronik Asit ve PtCN<sub>4</sub> İçeren Yeni [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] Bileşiğın Sentezi ve Kristal Yapısı. İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(4): 2803-2809.

**To Cite:** Gungor E, Subasat Kara H, 2021. Synthesis and Crystal Structure of New [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] Compound of Containing Pyridine-3-Boronic Acid and PtCN<sub>4</sub>. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(4): 2803-2809.

### 3-Piridin Boronik Asit ve PtCN<sub>4</sub> İçeren Yeni [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] Bileşiğın Sentezi ve Kristal Yapısı

Elif GÜNGÖR<sup>1</sup>, Hülya KARA SUBAŞAT<sup>2\*</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, yeni bileşik [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] sentezlendi ve tek kristal X-ışını kırınımı metodu ile kristal yapısı karakterize edildi. Kristal yapı analizi bileşiğın ortorombik kristal sisteminde, Cmca uzay grubunda ve a=6.4372(13) Å, b=14.769(3) Å, c=19.045(4) Å, α = β = γ = 90°, V=1810.6(6) Å<sup>3</sup>, Z=4 kristalleştığını gösterdi. Bileşiğın kristal yapısında [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonu ve [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sup>2+</sup> katyonu N-H...NCpT<sup>-</sup> ve güçlü B(OH)...NCpT<sup>-</sup> hidrojen bağı ile etkileşmektedir. Böylece, yapı bir boyutlu zincir bir yapıda büyümektedir. Kayma düzleminin üzerine ve altına dönüşümlü olarak yönlendirilen katyon molekülleri bc düzleminde iki boyutlu bir ağ oluşturmaktadır. Ayrıca, O-H...N, C-H...O, C-H...N ve N-H...N hidrojen bağı etkileşimleri de molekülleri bir arada tutmaktadır. Böylece üç boyutlu paketlenmiş bir yapı oluşmaktadır. Bu hidrojen bağı etkileşimleri üç boyutlu kristal yapının oluşmasını ve kafes yapının kararlılığını sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Boronik asit bileşiğı, kristal yapı, hidrojen bağı etkileşimi

#### Synthesis and Crystal Structure of New [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] Compound of Containing Pyridine-3-Boronic Acid and PtCN<sub>4</sub>

**ABSTRACT:** In this work, the new compound [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] was synthesized and its crystal structure was characterized by the single crystal X-ray diffraction method. Crystal structure analysis showed in the orthorhombic crystal system of the compound, in the Cmca space group and a=6.4372(13) Å, b=14.769(3) Å, c=19.045(4) Å, α = β = γ = 90°, V = 1810.6(6) Å<sup>3</sup>, Z = 4 crystallization. In the crystalline structure of the compound, [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anion and [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sup>2+</sup> cation interact with N-H...NCpT<sup>-</sup> and strong B(OH)...NCpT<sup>-</sup> hydrogen bonds. Thus, the structure grows in a one-dimension chain structure. A two-dimensional network is formed in the bc plane with the cation molecules directed alternately above and below the glide plane. In addition, hydrogen bond interactions O-H...N, C-H...O, C-H...N and N-H...N also hold molecules together. Thus, a three-dimensional packed structure is formed. These hydrogen bond interactions provide the formation of a three-dimensional crystal structure and the stability of the lattice structure.

**Keywords:** Boroxine acid compound, crystal structure, hydrogen bond interactions

<sup>1</sup> Elif GÜNGÖR ([Orcid ID: 0000-0002-7158-9604](https://orcid.org/0000-0002-7158-9604)), Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Balıkesir, Türkiye

<sup>2</sup> Hülya KARA SUBAŞAT ([Orcid ID: 0000-0002-2032-8930](https://orcid.org/0000-0002-2032-8930)), Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Bölümü, Muğla, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Hülya KARA SUBAŞAT, e-mail: hulyasubasat@mu.edu.tr

## GİRİŞ

Boronik asitler, biyoorganik ve tıbbi kimya (Becke, 1988, 1993) tarım kimyasalları (Torborg ve Beller, 2009), organik kimya (Ejsmont ve ark., 2003), proteaz inhibitörleri (Khangulov ve ark., 1995; Carvajal ve ark., 1996) alanlarında yaygın olarak kullanılan önemli maddelerdir. Bozunduğunda orto borik asit meydana geldiği için, çevreye ve insan sağlığına zarar vermemektedir. Özellikle suda çözünebilen küçük boronik asitler, böbrekler tarafından vücuttan atılmaktadır. Vücuda zarar vermemesi ve çapraz kenetlenme özelliklerine sahip olmasından dolayı tıbbi kimyada birçok ilaç yapısında kullanılmaktadır (Suzuki ve ark., 1998; Roughley ve Jordan, 2011; Diccianni ve Diao, 2019; Li ve ark., 2019; Deng ve ark., 2020; Mohammadi ve Choghamarani, 2020). Özellikle, kanser tedavisinde potansiyel bir bor kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Yang ve ark., 2003; Deagostino ve ark., 2016; Zhu ve ark., 2020). Boronik asit içeren ilk antikanser ilacı Velcade'nin piyasaya sürülmesiyle boronik asitlerin tıpta ve kimyada çok önemli bir bileşik olduğu kanıtlandı (Hall, 2011). Dolayısıyla, boronik asitlerin hidrojen bağlı türevleri süper moleküller olarak daha çok ilgi görmeye başladı. Bu nedenle, kristal mühendisliği prensiplerini takip ederek bu alanda farklı moleküler grup alternatiflerini oluşturmak için, piridin boronik asit ve metal tuzlarıyla bileşiklerin sentezlenmesi, kristal yapı, molekül içi ve molekül dışı hidrojen bağı etkileşimlerinin incelenmesi önem kazanmıştır.

Son birkaç yıldır, araştırma grubumuz çeşitli aromatik karboksilat ve piridin türevleri içeren organik yapıları moleküllerin yapısal ve optik karakterizasyonu konularında aktif olarak çalışmaktadır (Coban ve ark., 2017; Oylumluoglu ve ark., 2017; Coban, 2018). 3- ve 4-piridinboronik asit katyonları ile [MCL<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> (M = Ni, Cu, Pt ve Pd) anyonik tuzlarına dayanan bir dizi bileşiğin kristal yapısı ve hidrojen bağı etkileşimleri incelenmiştir (Yahsi ve ark., 2015). Bu çalışmalar, hidrojen bağı verme kabiliyetine sahip olan katyonların, hidrojen bağı yapılarının oluşumuna izin verdiğini göstermektedir.

Bu çalışmada, yeni [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] bileşiği sentezlendi, kristal yapısı tek kristal X-ışını kırınım yöntemi ile karakterize edildi. Ayrıca kristal yapıdaki molekül içi ve moleküler arası B(OH)···NCpT<sup>-</sup> ve NH···NCpT<sup>-</sup> O-H···N, C-H···O, C-H···N ve N-H···N O hidrojen bağı etkileşimleri incelendi.

## MATERYAL VE METOT

Deneyde kullanılan kimyasal maddeler ve çözücüler Sigma-Aldrich firmasından ticari olarak alındı ve herhangi bir saflaştırma işlemi uygulamadan kullanıldı. Bileşiğin C, H ve N element analizi LECO-CHNS-932 marka cihazı ile gerçekleştirildi. Tek kristal X-ışını şiddet verileri Bruker Apex II X-Işınları Tek Kristal Difraktometre cihazı ile MoK $\alpha$  ışını kullanılarak ölçüldü. Ölçülen şiddet verilerine SAINT programında (Bruker-AXS, 2008) absorpsiyon, lorentz ve polarizasyon düzeltmeleri yapıldı. Bileşiğin yapısı OLEX2 programında (Dolomanov ve ark., 2009), SHELXTL (Sheldrick, 2008) ara yüzü ile çözüldü ve SHELXTL üzerinde küçük kareler yöntemi kullanıldı. Hidrojen olmayan tüm atomlar anizotropik olarak arıtıldı. Hidrojen atomları, izotropik yer değiştirme parametreleri ile ideal konumlara yerleştirildi. Bileşiğin şekilleri MERCURY (Macrae ve ark., 2006) programı ile oluşturuldu ve moleküller arası etkileşimleri belirlemek için kullanıldı. Bileşiğe ait kristalografik bilgiler ve deneysel veriler Çizelge 1'de verilmektedir.

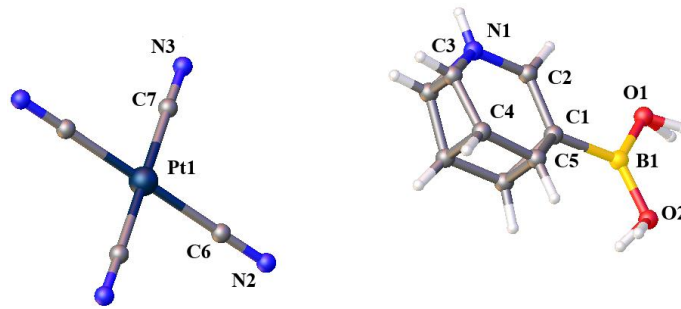
### [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] Bileşiğinin Sentezi

[HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] bileşiği daha önce yayınlanan çalışmadaki prosedüre göre sentezlendi (Gray ve ark., 1988). 3-Piridin boronik asit, hidroklorür tuzunu oluşturmak için konsantre hidroklorik asitten yeniden kristallendirildi. Tek kristaller, 'mini Htube' olarak adlandırdığımız yöntemle göre 3-piridin boronik asit hidroklorür ve K<sub>2</sub>PtCN<sub>4</sub> tuzunun stokiometrik miktarlarının yavaş difüzyonu

ile elde edildi. Bu yöntemde 3-Piridin boronik asit hidroklorür (0.033 g, 0.21 mmol) 5 ml saf suda ve K<sub>2</sub>PtCN<sub>4</sub> (0.072 g, 0.21 mmol) 10 ml saf su da ayrı ayrı çözüldü ve iki küçük cam tüpe dolduruldu. Küçük cam tüpler daha büyük kapaklı bir cam şişenin içine yerleştirildi. Şişe saf su ile dolduruldu ve hava almayacak şekilde kapatılarak yavaş difüzyon için bekleme bırakıldı. Elde edilen kırmızı kristaller vakumla süzülerek toplandı, sırasıyla saf su (5 ml), etanol (5 ml), dietil eter (5 ml) ile yıkandı ve vakum pompasında kurutuldu. [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>], verim % 79. Teorik element analizi (%): C 30.74; H 2.58; N 15.36. Deneysel Element Analizi (%) : C 30.34; H 2.63; N 15.39.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

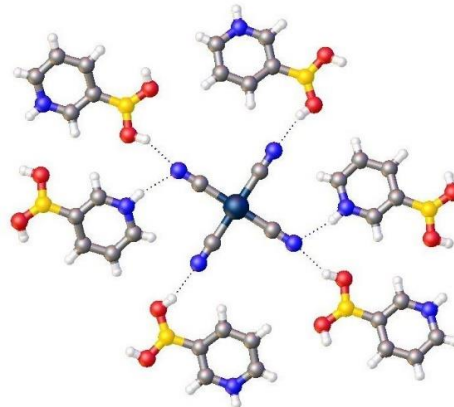
Ortorombik kristal sisteminde, Cmca uzay grubunda kristallenen [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] bileşiğinin kristal yapısı, ayrı olarak [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonu ve [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sup>2+</sup> kationundan oluşmaktadır (Şekil 1). Bileşiğin asimetric biriminde bir [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sup>+</sup> kationu ve bir [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonun yarısı bulunmaktadır.



Şekil 1. Bileşiğin molekül yapısı

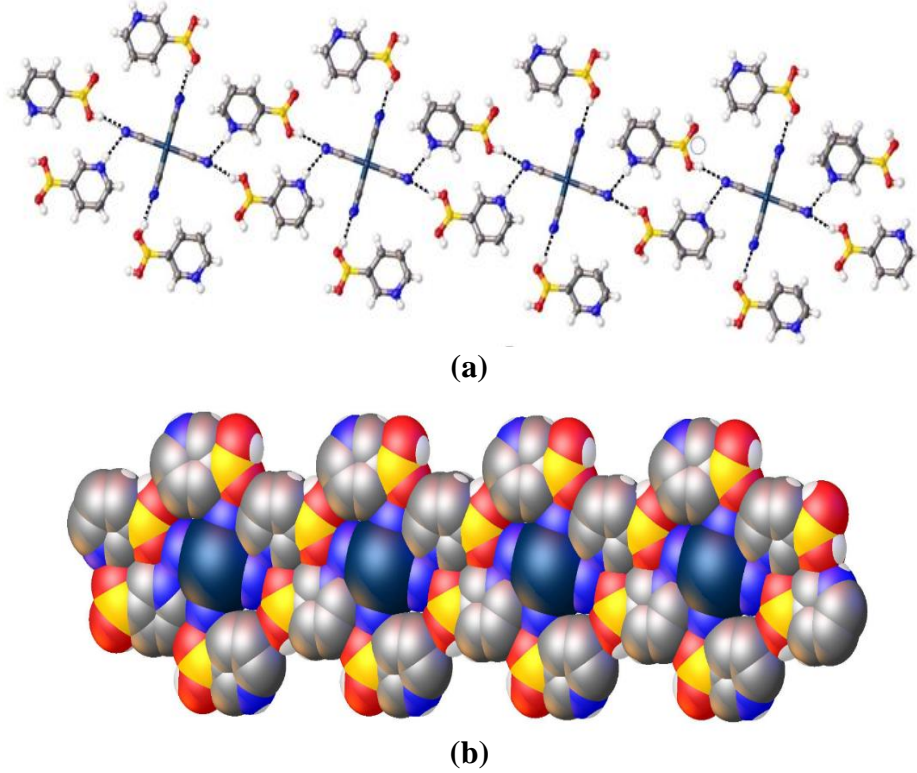
Anyonun C–Pt–C bağ açıları 89.43(12) ve 90.57(12)° açı ile ideal kare geometri açısından (90°) sapmaktadır. Bu nedenle, Pt<sup>II</sup> iyonunun koordinasyonu hafifçe bozulmuş kare düzlemsel geometriye sahiptir. Pt–C ortalama bağ uzunluğu 1.988(3) Å'dur (Çizelge 2). Anyonun N–C–Pt ortalama bağ açısı 179.15° ile hemen hemen doğrusaldır. Piridin halkası üzerinde yer alan bor (B1) atomunun etrafındaki açılar toplamı ise 360°'dir (Çizelge 2). Bileşiğin B–C bağ uzunluğu 1.600(4) Å ve ortalama B–O bağ uzunluğu da 1.351(4) Å olup, daha önce literatürde yer alan benzer sistemlerin parametreleriyle benzerlik göstermektedir ( Parry ve ark., 2002; Kara ve ark., 2006).

Bileşiğin kristal yapısında, [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonu, dört adet B(OH)⋯NCp<sup>-</sup> ve iki adet NH⋯NCp<sup>-</sup> hidrojen bağı etkileşimleri ile [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sup>2+</sup> kationuna bağlanmaktadır (Şekil 2). Bileşikteki iki (B)OH⋯NCp<sup>-</sup> hidrojen bağının (H⋯N, 2.09 Å ve 2.11 Å; O⋯N, 2.81 ve 2.84 Å; 145° ve 146°) geometrisi, güçlü etkileşimleri göstermektedir. Çünkü bu hidrojen bağ uzunlukları, standart *van der Waals* yarıçaplarının toplamından çok daha kısadır (Bondi, 1964).

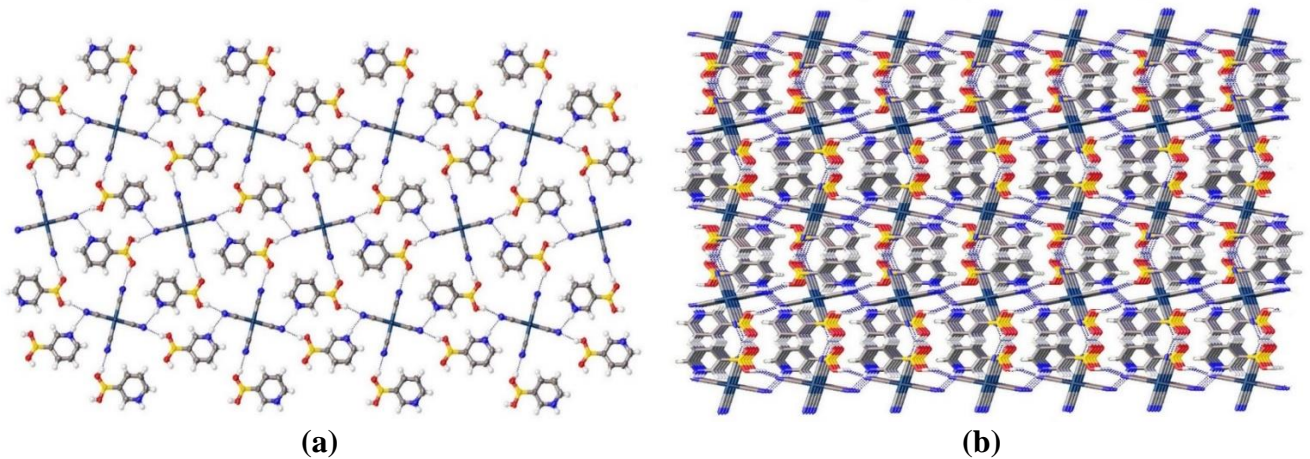


Şekil 2. Bileşikteki [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonu etrafındaki hidrojen bağı kationunun düzenlenmesi

Bileşiğın birincil hidrojen bağılı motifi, [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonu ile bağılıanan [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub><sup>2+</sup> kationlarının yaklaşık olarak paralel yönelimine sahip şeritlerdir (Şekil 3). Bu hidrojen bağılı şeritler, bileşikte *c* düzlemi boyunca paralel uzanan bir boyutlu (1D) moleküler bir zincir yapı oluşturmaktadır. Hidrojen bağılı bu zincir yapı içindeki Pt...Pt uzaklıkları 12.050 Å'dir. [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2</sub>-3]<sub>2</sub><sup>2+</sup> molekülleri, kayma düzleminin üzerine ve altına dönüşümlü olarak yönelmektedir (Şekil 3a). Bu nedenle bileşiğın bir boyutlu zincir yapısı, *bc* düzlemine paralel çift şerit olarak düzenlenerek, iki boyutlu yapıyı (2D) oluşturmaktadır (Şekil 4a). Ayrıca, O-H...N, C-H...O, C-H...N ve N-H...N hidrojen bağı etkileşimleri (Çizelge 3) ile üç boyutlu (3D) bir yapıya sahip olmaktadır (Şekil 4b).



Şekil 3. (a) Bileşiğın B(OH)···NCPt<sup>-</sup> ve N-H···NCPt<sup>-</sup> hidrojen bağılı bir boyutlu zincir yapısı; (b) Bileşiğın paketlenmiş görünümü



Şekil 4. (a) Bileşiğın *bc* düzleminde iki boyutlu yapısı (b) Bileşiğın üç boyutlu paketlenmiş görünümü

Çizelge 1. Kristalografik bilgiler ve deneysel veriler

<b>1</b>	
CCDC No	2058319
Molekülün Kapalı Formülü	C <sub>14</sub> H <sub>14</sub> B <sub>2</sub> N <sub>6</sub> O <sub>4</sub> Pt
Kristal Sistemi, Uzay Grubu	Ortorombik, Cmca
Molekülün Ağırlığı (g mol <sup>-1</sup> )	547.02
Birim Hücre Parametreleri	$a = 6.437(13) \text{ \AA}$ $b = 14.769(3) \text{ \AA}$ $c = 19.045(4) \text{ \AA}$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Birim Hücre Hacmi (Å <sup>3</sup> )	1810.6(6)
Sıcaklık (°K)	100(2)
Z	4
d (g/cm <sup>-3</sup> )	2.007
$\mu$ (mm <sup>-1</sup> )	7.783
Toplanan Yansımalar	6174
Bağımsız Yansımalar (R <sub>int</sub> )	1137 [Rint = 0.025]
R indeksi R <sub>1</sub> [I > 2σ(I)]	0.0145
wR <sub>2</sub> , S	0.0376, 1.14
Maksimum Pik, Minimum Pik (eÅ <sup>-3</sup> )	0.7, -0.6

Çizelge 2. Seçilmiş geometrik parametreler (Å, °)

Bağ Uzunlukları		Bağ Açıları	
Pt1–C6	1.990(3)	C6–Pt1–C7	90.57(12)
Pt1–C7	1.987(3)	C6–Pt1–C7	89.43(12)
N1–C4	1.377(5)	C6–Pt1–C6	180.00
N1–C3	1.339(4)	O1–B1–O2	121.0(3)
N2–C6	1.151(4)	N2–C6–Pt1	179.3(3)
O1–B1	1.352(4)	N3–C7–Pt1	179(3)
O2–B1	1.350(4)		
C1–B1	1.600(4)		

Çizelge 3. Hidrojen bağları (Å)

D–H···A*	D–H	H···A	D···A	D–H···A	Simetri kodu
N1–H1···N2	0.83	2.12	2.93	168	1–x, 1/2+y, 1/2–z
O1–H1A···N2	0.84	2.11	2.84	146	1–x, 3/2–y, 1/2+z
O2–H2A···N3	0.84	2.09	2.81	145	x, 1+y, z
C2–H2···O1	0.95	2.51	3.21	130	x, 2–y, 1–z
C3–H3···N3	0.83	2.54	3.32	159	1–x, 1/2+y, 1/2–z
C5–H5···N3	0.95	2.50	3.33	146	x, 1+y, z

## SONUÇ

Bu çalışmada, yeni bileşik [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sub>2</sub>[Pt(CN)<sub>4</sub>] difüzyon yöntemi ile sentezlendi ve tek kristal yapısı incelendi. Bileşiğın asimetrik biriminde bir [HNC<sub>5</sub>H<sub>4</sub>B(OH)<sub>2-3</sub>]<sup>+</sup> kasyonu ve bir [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonun yarısı ayrı olarak bulunmaktadır. [Pt(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> anyonu, B(OH)···NCpt<sup>-</sup> ve NH···NCpt<sup>-</sup> hidrojen bağ etkileşimleri ile 3-piridin boronik asit kasyonlarına bağlanmaktadır. Pt<sup>II</sup> iyonu hafifçe bozulmuş kare düzlemsel geometriye sahiptir. Bileşiğın kristal yapısı büyütüldüğünde, O–H···N, C–H···O, C–H···N ve N–H···N hidrojen bağları ile yapı iki ve üç boyutlu moleküler yapılar oluşmaktadır.

### Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Becke AD, 1988. Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Physical Review A*, 38:3098–3100.
- Becke AD, 1993. Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. *Journal of Chemical Physics*, 98:5648–5652.
- Bondi A, 1964. Van der Waals Volumes and Radii. *The Journal of Physical Chemistry*, 68:441–451.
- Carvajal N, Uribe E, Sepu'lveda M, Mendoza C, Fuentealba B and Salas M, 1996. Chemical modification of Semele solida arginase by diethyl pyrocarbonate: Evidence for a critical histidine residue. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 114:367–370.
- Coban MB, Kocak C, Kara H, Aygun M and Amjad A, 2017. Magnetic properties and sensitized visible and NIR luminescence of Dy<sup>III</sup> and Eu<sup>III</sup> coordination polymers by energy transfer antenna ligands. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 648:202–215.
- Coban MB, 2018. Hydrothermal synthesis, crystal structure, luminescent and magnetic properties of a new mononuclear Gd<sup>III</sup> coordination complex. *Journal of Molecular Structure*, 1162:109–116.
- Deagostino A, Protti N, Alberti D, Boggio P, Bortolussi S, Altieri S and Crich SG, 2016. Insights into the use of gadolinium and gadolinium/boron-based agents in imaging-guided neutron capture therapy applications. *Future Medicinal Chemistry*, 8:899–917.
- Deng Q, Zheng Q, Zuo B and Tu T, 2020. Robust NHC-palladacycles-catalyzed Suzuki–Miyaura cross-coupling of amides via C-N activation. *Green Synthesis and Catalysis*, 1:75–78.
- Diccianni JB and Diao T, 2019. Mechanisms of Nickel-Catalyzed Cross-Coupling Reactions. *Trends in Chemistry*, 1:830–844.
- Dolomanov OV, Bourhis LJ, Gildea RJ, Howard JAK, Puschmann H, 2009. OLEX2: A Complete Structure Solution, Refinement and Analysis Program. *Journal of Applied Crystallography*, 42:339–341.
- Ejsmont K, Zaleski J, Sporzyński A and Lewandowski M, 2003. 5-Formyl-2-furanboronic acid at 100 K. *Acta Crystallographica Section E: Structure Reports Online*, 59:o1324–o1326.
- Gray AP, Platz RD, Henderson TR, Timothy CP, Takahashi K and Dretchen KL, 1988. Approaches to protection against nerve agent poisoning. (Naphthylvinyl)pyridine derivatives as potential antidotes. *Journal of Medical Chemistry*, 31:807–814.
- Hall DG, 2011. In *Boronic Acids: Preparation and Applications in Organic Synthesis, Medicine and Materials* Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- Kara H, Adams CJ, Orpen, AG, Podesta TJ, 2006. Pyridinium Boronic Acid Salts in Crystal Synthesis. *New Journal of Chemistry*, 30:1461–1469.
- Khangulov SV, Pessiki PJ, Barynin VV, Ash DE and Dismukes GC, 1995. Determination of the Metal Ion Separation and Energies of the Three Lowest Electronic States of Dimanganese(II,II) Complexes and Enzymes: Catalase and Liver Arginase. *Biochemistry*, 34:2015–2025.
- Li B, Li T, Aliyu MA, Li ZH and Tang W, 2019. Enantioselective Palladium-Catalyzed Cross-Coupling of  $\alpha$ -Bromo Carboxamides and Aryl Boronic Acids. *Angewandte Chemie*, ange.201905174.

- Macrae CF, Edgington PR, McCabe P, Pidcock E, Shields GP, Taylor R, Towler M and van de Streek J, 2006. Mercury: visualization and analysis of crystal structures. *Journal Applied Crystallography*, 39:453–457.
- Mohammadi M and Ghorbani-Choghamarani A, 2020. 1-Methionine-Pd complex supported on hercynite as a highly efficient and reusable nanocatalyst for C–C cross-coupling reactions. *New Journal of Chemistry*, 44:2919–2929.
- Oylumluoglu G, Coban MB, Kocak C, Aygun M and Kara H, 2017. 2- and 1-D coordination polymers of Dy (III) and Ho (III) with near infrared and visible luminescence by efficient charge-transfer antenna ligand. *Journal of Molecular Structure*, 1146:356–364.
- Parry PR, Wang C, Batsanov AS, Bryce MR and Tarbit B, 2002. Functionalized Pyridylboronic Acids and Their Suzuki Cross-Coupling Reactions To Yield Novel Heteroarylpyridines. *Journal of Organic Chemistry*, 67:7541–7543.
- Roughley SD and Jordan AM, 2011. The Medicinal Chemist's Toolbox: An Analysis of Reactions Used in the Pursuit of Drug Candidates. *Journal of Medicinal Chemistry*, 54:3451–3479.
- SAINT V7.60A, Bruker-AXS 2008. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Sheldrick GM, 2008. A Short History of SHELX. *Acta Crystallographica*, A64:112–122.
- Suzuki A, Diederich F, Stang PJ, 1998. *Metal-catalyzed Cross-coupling Reactions* Wiley-VCH, Weinheim, Germany, Chapter 2.
- Torborg C and Beller M, 2009. Recent Applications of Palladium-Catalyzed Coupling Reactions in the Pharmaceutical, Agrochemical, and Fine Chemical Industries. *Advanced Synthesis and Catalysis*, 351:3027–3043.
- Yahsi Y, Gungor E, Kara H, 2015. Chlorometallate-Pyridinium Boronic Acid Salts for Crystal Engineering: Synthesis of One-, Two- and Three-Dimensional Hydrogen Bond Networks. *Crystal Growth and Design*, 15:2652–2660.
- Yang W, Gao X and Wang B, 2003. Boronic acid compounds as potential pharmaceutical agents. *Medicinal Research Reviews*, 23:346–368.
- Zhu Q, Saeed M, Song R, Sun T, Jiang C and Yu H, 2020. Dynamic covalent chemistry-regulated stimuli-activatable drug delivery systems for improved cancer therapy. *Chinese Chemical Letters*, 31:1051–1059.