

Atf İçin: Gungör E, Subaşıat Kara H, 2021. 4-Piridin Boronik Asit Katyonu ve [Pd(S₂C₂O₂)₂] Anyonu İçeren Yeni Bileşiğin Sentezi ve Kristal Yapısı. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 1921-1927.

To Cite: Gungor E, Subaşıat Kara H, 2021. Synthesis and Crystal Structure of New Compound Containing 4-Pyridine Boronic Acid Cation and [Pd(S₂C₂O₂)₂] Anion. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3): 1921-1927.

4-Piridin Boronik Asit Katyonu ve [Pd(S₂C₂O₂)₂] Anyonu İçeren Yeni Bileşiğin Sentezi ve Kristal Yapısı

Elif GÜNGÖR^{1*}, Hülya KARA SUBAŞAT²

ÖZET: Bu çalışmada, yeni bileşik [HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂] sentezlendi ve kristal yapısı tek kristal X-ışını kırınım yöntemiyle belirlendi. Bileşik, monoklinik kristal sisteminde P2₁/n uzay grubunda a=9.1907 Å, b=11.481 Å, c=11.107 Å, α= 90°, β =97.97°, γ =90° ve Z=2 birim hücre parametrelerinde kristallendi. Bileşiğin kristal yapısında bir {[HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂}²⁺ katyonu ve bir [Pd(S₂C₂O₂)₂]²⁻ anyon molekülü bulunmaktadır. İnversiyon merkezinde bulunan Pd^{II} iyonu dört koordinasyonludur ve hafifçe bozulmuş kare düzlem geometriye sahiptir. Kristal yapıda, NH...O ve OH...O ve CH...O hidrojen bağları anyon ve katyon moleküllerini bir arada tutmaktadır. Anyon ve katyon moleküllerinin 010 yönünde ikili vida eksen ve 010 yönüne dik kayma düzlemi simetrisi ile dizilmesi üç boyutlu bir ağ oluşturmaktadır. Bu hidrojen bağlı ağ, bc düzleminde a eksen boyunca istiflenir

Anahtar Kelimeler: Tek kristal yapı, 4-piridin boronik asit, [Pd(S₂C₂O₂)₂] anyon

Synthesis and Crystal Structure of New Compound Containing 4-Pyridine Boronic Acid Cation and [Pd(S₂C₂O₂)₂] Anion

ABSTRACT: In this work, new compound [HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂] was synthesized and its crystal structure was determined by single crystal X-ray diffraction method. The compound crystallized in the monoclinic crystal system in the P2₁/n space group at a = 9.1907 Å, b = 11.481 Å, c = 11.107 Å, α = 90°, β = 97.97°, γ = 90° and Z = 2 unit cell parameters. The crystalline structure of the compound contains a {[HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂}²⁺ cation and a [Pd(S₂C₂O₂)₂]²⁻ anion molecule. The Pd^{II} ion in the inversion center is four-coordinated and has a slightly distorted square-plane geometry. In the crystal structure, NH...O and OH...O and CH...O hydrogen bonds hold anion and cation molecules together. A three-dimensional structure is formed when anion and cation molecules are arranged with a twofold screw axis in the 010 direction and a shear plane perpendicular to the 010 direction. This hydrogen-bonded network stacked along an axis in the bc plane.

Keywords: Single crystal structure, 4-pyridine boronic acid, [Pd(S₂C₂O₂)₂] anion.

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

² 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: Elif GÜNGÖR, e-mail: egungor@balikesir.edu.tr

GİRİŞ

Organoboronik asitler, organik sentez ve tıbbi kimyada en yüksek etkiyi gösteren önemli bir bileşik grubudur (Torborg ve Beller, 2009; Hall, 2011; Georgiou ve ark., 2017; Zhu ve ark., 2020). Son zamanlarda, moleküler kimya (Fujita ve ark., 2008; James, 2016), sensör (Wu ve ark., 2015; Brooks ve Sumerlin, 2016) ve organik kataliz (Georgiou ve ark., 2009) gibi alanlarda boronik asit bileşiklerin çeşitli yapı mimarileri büyük ilgi görmektedir. Onkoloji, viroloji, nöroloji ve hematoloji gibi tıp alanlarında kullanılan ilaçların yapısında da incelenmektedir (Hatanaka ve ark., 1992; Roughley ve Jordan, 2011; Marinaro ve ark., 2012; Li ve ark., 2019). Seyreltik çözeltileri göz yıkama solüsyonu, anti-bakteriyel ajan ve dış-kulak iltihabı tedavisinde antiseptik solüsyon olarak kullanılmaktadır (Karakuş ve ark., 2003; Çetiner ve ark., 2020). Ayrıca, tarımda bor gübresi ve çeşitli tarım ilaçlarının yapısında bulunmaktadır (Torborg ve Beller, 2009). Çünkü bor elementi, bitkilerin tohum gelişiminde, çiçeklenme ve polen üretiminde önemli rol oynayan besin elementlerinden biridir.

Gelişen teknoloji ile birlikte tüm bu alanlarda, alternatif yeni malzemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar yeni malzemelerin moleküllerini tasarlamak, sentezlemek ve moleküler yapısını incelemek üzere araştırma yapmaya devam etmektedir. Araştırmacılar, tasarıma göre molekülün sentezlenmesinde, hem bileşen ve yapı çeşitliliğini sağlayacak hem de hazırlanan moleküllerin kontrol edilmesi için sağlam ve esnek bir strateji geliştirmeye çalışmaktadır (Coban ve ark., 2016; Erkarlan ve ark., 2016; Oylumluoglu ve ark., 2017; Coban ve ark., 2017; Donmez ve ark., 2017; Kocak ve ark., 2017; Erkarlan ve ark., 2018).

Son zamanlarda, piridinyum ve bipyridinyum katyon ve [MCL₄]²⁻ (M = Ni, Cu, Pt ve Pd) anyonik tuzlardan oluşan bileşiklerin sentezi, kristal yapısı, molekül içi ve molekül dışı hidrojen bağ etkileşimleri incelenmiştir (Kara ve ark., 2006; Yahsi ve ark., 2015). Bu çalışmalarda, katyonlardaki hidrojen bağ donör grubu stereokimyasının kristal yapının belirlenmesinde önemli rol oynadığı ve bileşiğin farklı davranışlara sahip olmasına sebep olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada boronik asit metal bileşiklerinin teknolojide yaygın kullanımı dikkate alınarak, hidrojen-bağ donör kabiliyeti olan katyon ve hidrojen bağını kabul eden anyonu içeren yeni bileşiklerin sentezlenmesi, kristal yapı ve hidrojen bağ etkileşimlerinin aydınlatılması stratejisi uygulandı.

Bu çalışmada, [HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂] bileşiği 4-Piridin boronik asit ve K₂[Pd(dto)₂] tuzuyla sentezlendi, kristal yapısı, molekül içi ve molekül dışı hidrojen bağ etkileşimleri incelendi.

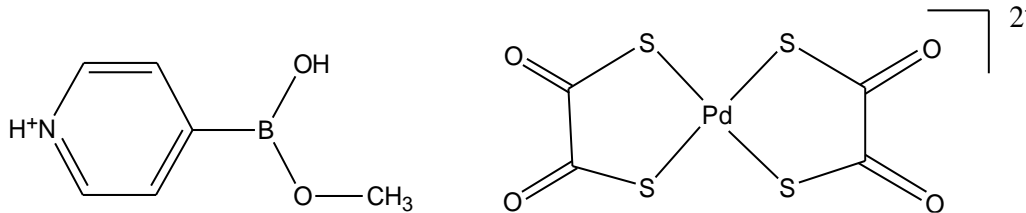
MATERYAL VE METOT

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-ışınımı şiddet verileri Bruker Apex II X-Işınları Tek Kristal Difraktometre cihazı ile MoK α ışını kullanılarak 100 K’de ölçüldü. Ölçülen şiddet verilerine SAINT (Bruker-AXS, 2008) programında 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.

[HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂] bileşiğinin sentezi

$K_2[Pd(dto)_2]$ tuzu daha önce yayınlanan çalışmadaki prosedüre göre sentezlendi (Gray ve ark., 1988). 4-Piridin boronik asit, hidroklorür tuzunu oluşturmak için konsantre hidroklorik asitten yeniden kristallendirildi. Tek kristaller, 'mini Htube' olarak adlandırdığımız yöntemle göre 4-piridin boronik asit hidroklorür ve $K_2[Pd(dto)_2]$ tuzunun stokiometrik miktarlarının yavaş difüzyonu ile elde edildi. Bu yöntemde 4-Piridin boronik asit hidroklorür (75.0 mg, 0.470 mmol) 5 ml saf suda ve $K_2[Pd(dto)_2]$ (0.10 g, 0.235 mmol) 10 ml saf su da ayrı ayrı çözüldü ve iki küçük cam tüpe dolduruldu. Daha sonra küçük cam tüpler daha büyük kapaklı bir cam şişenin içine yerleştirildi. Şişe saf su ile dolduruldu ve kapatılarak yavaş difüzyon için beklemeye 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. Bileşikteki katyon ve anyonun molekül yapısı Şekil 1'de görülmektedir.

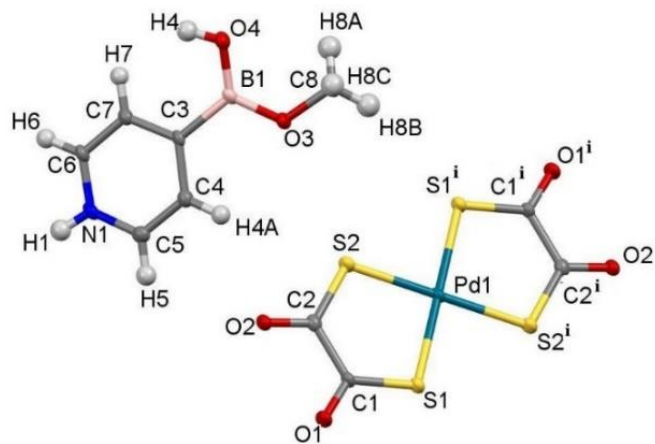
[HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂], verim % 80. Teorik element analizi (%): C 30.864; H 2.914; N 4.499. Deneysel Element Analizi (%): C 30.850; H 2.910; N 4.502.



Şekil 1. Bileşikteki katyon ve anyonun molekül yapısı

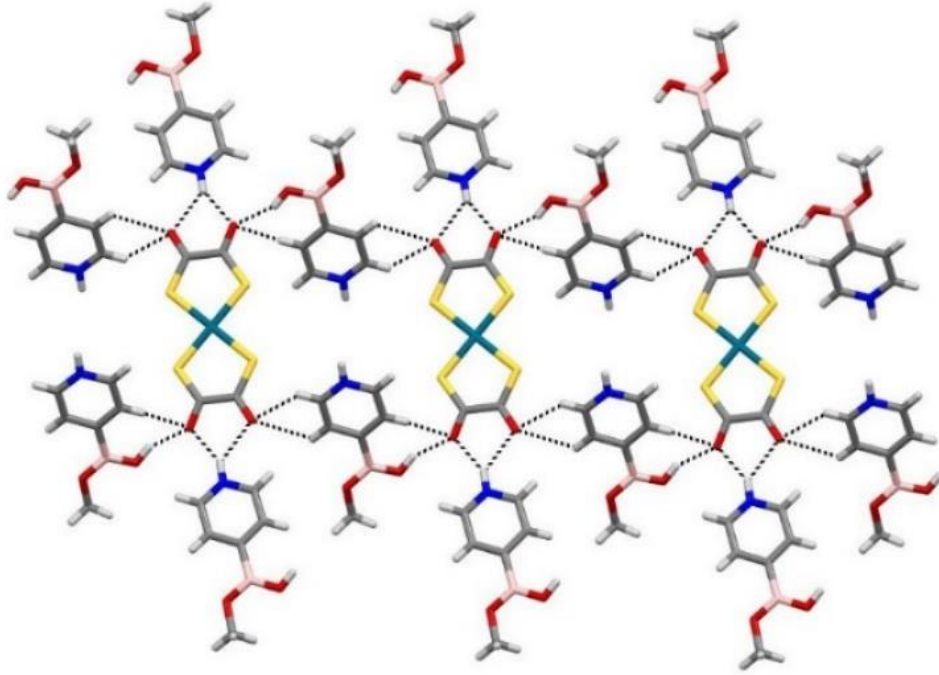
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bileşik [HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂], [Pd(S₂C₂O₂)₂] anyonu ve 4-piridinboronik asit katyonundan oluşmaktadır ve monoklinik kristal sisteminde, $P2_1/n$ uzay grubunda kristallenmektedir (Çizelge 1). Bileşiğin asimetric biriminde bir {[HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂}²⁺ katyonu ve bir [Pd(S₂C₂O₂)₂]²⁻ anyonu bulunmaktadır. Bileşiğin anyonundaki Pd^{II} iyonu inversiyon merkezinde ve dört adet S atomu ile dörmlü koordinasyon yapmaktadır. Bileşiğin cis S-Pd-S bağ açıları 89.58(5)° ve 90.42(5)°'dir ve bu açılarla Pd^{II} iyonu hafifçe bozulmuş kare düzlem geometriye sahiptir. Piridin halkası üzerinde yer alan bor (B1) atomun etrafındaki açılar toplamı 360°'dir (Çizelge 2). Bileşiğin ortalama B-C ve B-O bağ uzunluğu sırasıyla 1.605 (7) Å ve 1.343 (7) Å'dur. Bu değerler daha önce literatürde bulunan benzer sistemlerin parametreleriyle benzerlik göstermektedir (Kara ve ark., 2006).

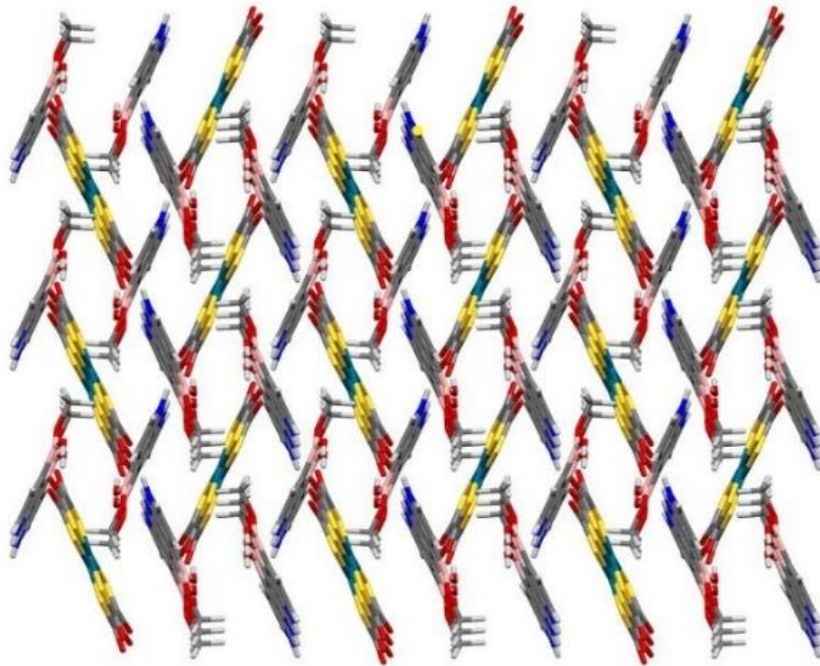


Şekil 2. Bileşiğin moleküler yapısı (simetri kodu i: -x, -y, -z).

Şekil 3'te görüldüğü gibi bileşiğin hidrojen bağlı birincil motifinde $[\text{Pd}(\text{S}_2\text{C}_2\text{O}_2)_2]^{2-}$ anyonu $\text{NH}\cdots\text{O}$ ve $\text{OH}\cdots\text{O}$ ve $\text{CH}\cdots\text{O}$ hidrojen bağ etkileşimleri ile altı adet $\{[\text{HNC}_5\text{H}_4\text{B}(\text{OH})(\text{OCH}_3)-4]_2\}^{2+}$ kationuna bağlanmaktadır (Şekil 3). Hidrojen bağlı bu ağ içindeki $\text{Pd}\cdots\text{Pd}$ uzaklıkları 11.107 \AA 'dır. Motiflerdeki anyon ve kation molekülleri, $\text{NH}\cdots\text{O}$ ve $\text{OH}\cdots\text{O}$ ve $\text{CH}\cdots\text{O}$ hidrojen bağ etkileşimleri (Çizelge 3) ile 010 yönünde ikili vida eksen ve 010 yönüne dik kayma düzlemi simetrisi ile ab düzleminde c eksen boyunca istiflenerek üç boyutlu yapıyı oluşturmaktadır (Şekil 4).



Şekil 3. $\text{NH}\cdots\text{O}$, $\text{OH}\cdots\text{O}$ ve $\text{CH}\cdots\text{O}$ hidrojen bağları ile bileşiğin bir boyutlu yapısı



Şekil 4. Bileşiğin üç boyutlu yapısı

Çizelge 1. Bileşiğin kristalografik bilgileri

CCDC No	2062228
Molekülün kapalı formülü	C ₁₆ H ₁₈ B ₂ N ₂ O ₈ PdS ₄
Molekül Ağırlığı (g mol ⁻¹)	622.58
Kristal sistem	Monoklinik
Uzay Grubu	<i>P</i> 2 ₁ / <i>n</i>
Birim Hücre Parametreleri	9.1907(18)Å α= 90° b=11.481 (2) Å β =97.97° (3) c=11.107 (2) Å γ =90°
V (Å ³)	1160.7
Z	2
ρ _{calc} (g/cm ³)	1.781
μ (mm ⁻¹)	1.205
Toplanan Yansımalar	7797
Bağımsız Yansımalar	2649 [<i>R</i> _{int} =0.090]
Gözlenen Yansıma Sayısı	1793
S	0.97
R indeksi [<i>I</i> >= 2σ (<i>I</i>)]	<i>R</i> ₁ =0.050, w <i>R</i> ₂ = 0.123

Çizelge 2. Seçilen geometrik parametreler (Å, °)

Bağ uzunluğu		Bağ açıları	
Pd1-S1	2.301 (14)	S1 ⁱ -Pd1-S1	180.0
Pd1-S1 ⁱ	2.301(14)	S2-Pd1-S1	89.58(5)
Pd1-S2 ⁱ	2.298 (15)	S2-Pd1-S1 ⁱ	90.42 (5)
Pd1-S2	2.298(15)	S2-Pd1-S2 ⁱ	180.0
O3-B1	1.355 (7)	S2 ⁱ -Pd1-S1 ⁱ	89.58(5)
O4-B1	1.332 (7)	S2 ⁱ -Pd1-S1	90.42(5)
B1-C3	1.606 (7)	C3-B1-O3	115.5 (5)
B1-O4	1.332 (7)	C3-B1-O4	123.1 (5)
B1-O3	1.355 (7)	O3-B1-O4	121.4 (5)

Çizelge 3. Hidrojen bağları (Å, °)

D-H...A*	D-H	H...A	D...A	D-H...A	Simetri
N1-H1...O1	0.85	2.25	2.925	136	3/2-x, 1/2+y, 1/2-z
N1-H1...O2	0.85	2.06	2.807	147	3/2-x, 1/2+y, 1/2-z
O4-H4... O2	0.84	1.98	2.765	156	1-x, 1-y, 1-z
C5-H5...O1	0.95	2.58	3.266	125	1-x, 1-y, -z
C6-H6...O1	0.95	2.44	2.955	117	3/2-x, 1/2+y, 1/2-z
C7-H7...O2	0.95	2.46	3.341	155	1-x, 1-y, 1-z

SONUÇ

'Mini Htube' yöntemi kullanılarak, [HNC₅H₄B(OH)(OCH₃)-4]₂[Pd(S₂C₂O₂)₂] bileşiği sentezlendi. Sentezlenen yeni bileşiğin, Tek kristal X-ışını kırınımı tekniği ile kristal yapısı karakterize edildi. Bileşik [Pd(S₂C₂O₂)₂] anyonu ve 4-piridinboronik asit katyonundan oluşmaktadır. Bileşikteki anyon ve katyon molekülleri arasında NH...O ve OH...O ve CH...O hidrojen bağ etkileşimleri vardır. Bileşikteki moleküller bu hidrojen bağ etkileşimleri, 010 yönünde ikili vida eksenine ve 010 yönüne dik kayma düzlemi simetrisine göre istiflendiğinde üç boyutlu yapı oluşmaktadır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Brooks WLA and Sumerlin BS, 2016. Synthesis and Applications of Boronic Acid-Containing Polymers: From Materials to Medicine. *Chemical Reviews*, 116:1375–1397.
- Çetiner H, Şenol FF, Düzer S, 2020. Klinik Araştırma Akut Diffüz Eksternal Otit Tedavisinde Borik Asidin ve Dekametazon- Siprofloksasin Kombinasyonunun İyileşmeye ve Mikrobiyal Flora Üzerine Etkisi. *Fırat Tıp Dergisi*, 25:219–223.
- Coban MB, Erkarlan U, Oylumluoglu G, Aygun M and Kara H, 2016. Hydrothermal synthesis, crystal structure and Photoluminescent properties; 3D Holmium(III) coordination polymer. *Inorganica Chimica Acta*, 447: 87–91.
- Coban MB, Kocak C, Kara H, Aygun M and Amjad A, 2017. Magnetic properties and sensitized visible and NIR luminescence of Dy^{III} and Eu^{III} coordination polymers by energy transfer antenna ligands. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 648:202–215.
- 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.
- Donmez A, Oylumluoglu G, Coban MB, Kocak C, Aygun M and Kara H, 2017. Ferromagnetic interactions in new double end-on-azide-bridged dinuclear Ni (II) complex: Synthesis, crystal structures, magnetic and photoluminescence properties. *Journal Molecular Structure*, 1149:569–575.
- Erkarlan U, Oylumluoglu G, Coban MB, Ozturk E and Kara H, 2016. Cyanide-bridged trinuclear Mn^{III}–Fe^{III} assembly: Crystal structure, magnetic and photoluminescence behavior. *Inorganica Chimica Acta*, 445: 57–61.
- Erkarlan U, Donmez A, Kara H, Aygun M and Coban MB, 2018. Synthesis, Structure and Photoluminescence Performance of a New Er³⁺ Cluster-Based 2D Coordination Polymer. *Journal of Cluster Science*, 29: 1177–1183.
- Fujita N, Shinkai S and James TD, 2008. Boronic Acids in Molecular Self-Assembly. *Chemistry An Asian Journal*, 3:1076–1091.
- Georgiou I, Ilyashenko G, and Whiting A, 2009. Synthesis of Aminoboronic Acids and Their Applications in Bifunctional Catalysis. *Account of Chemistry Research*, 42:756–768.
- Georgiou I, Kervyn S, Rossignon A, De Leo F, Wouters J, Bruylants G and Bonifazi D, 2017. Versatile Self-Adapting Boronic Acids for H-Bond Recognition: From Discrete to Polymeric Supramolecules. *Journal of American Chemical Society*, 139: 2710–2727.
- 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.
- Hatanaka H, Komada F, Shiono M, Mishima Y and Okumura K, 1992. Tissue Distribution of Para-boronophenylalanine Administered Orally as a Cyclodextrin Inclusion Complex to Melanoma-Bearing Hamsters. *Pigment Cell Res*, 5: 38–40.
- James TD, 2016. Self and directed assembly: people and molecules. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 12:391–405.
- Kara H, Adams CJ, Orpen, AG, Podesta TJ, 2006. Pyridinium Boronic Acid Salts in Crystal Synthesis. *New*

- Journal of Chemistry, 30: 1461–1469.
- Karakuş MF, Arda HN, İkinciogullari A, Gedikli Y, Coşkun S, Balaban N and Akdoğan O, 2003. Asteatosis ve kaşıntılı hastalarda dış kulak yolu mikrobiyolojisi. *Kulak Burun Bogaz İhtisas Dergisi*, 11:33–38.
- Kocak C, Oylumluoglu G, Donmez A, Coban MB, Erkarıslan U, Aygun M and Kara H, 2017. Crystal structure and photoluminescence properties of a new monomeric copper (II) complex: bis (3-[(3-hydroxypropyl) imino] methyl)-4-nitrophenolato-κ3O,N,O') copper (II). *Acta Crystallographica Section C: Structural Chemistry*, 73: 414–419.
- Li B, Li T, Aliyu MA, Li ZH and Tang W, 2019. Enantioselective Palladium-Catalyzed Cross-Coupling of α -Bromo Carboxamides and Aryl Boronic Acids. *Angewante 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 of Applied Crystallography*, 39:453–457.
- Marinara WA, Schieber LJ, Munson EJ, Day VW and Stella VJ, 2012. Properties of a model aryl boronic acid and its boroxine. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 101:3190–3198.
- 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.
- 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.
- Sheldrick GM, 2008. A Short History of SHELX. *Acta Crystallographica*, A64: 112–122.
- 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.
- SAINT V7.60A, Bruker-AXS 2008. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Wu J, Kwon B, Liu W, Anslyn EV, Wang P and Kim JS, 2015. Chromogenic/Fluorogenic Ensemble Chemosensing Systems. *Chemical Reviews*, 115:7893–7943.
- 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.
- 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.