

## Fenol-4-Sülfonik Asit ve 1,3-Bis(4-Piridil)Propan Tabanlı Yeni Organik Bileşiğin Hidrotermal Sentezi ve Karakterizasyonu

Mustafa Burak COBAN<sup>1\*</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, yeni iki-boyutlu organik bileşik [PSA<sub>2</sub>][BPP<sub>2</sub>] (psa=fenol-4-sülfonik asit, bpp=1,3-Bis(4-piridil)propan) hidrotermal yöntem ile sentezlendi, tek kristal X-ışını kırınımı, toz kristal X-ışını kırınım yöntemi (PXR), element analizi ve katı-hal UV-vis spektroskopisi ile karakterize edildi. Kristal yapı analizi, bileşiğin ortorombik kristal sisteminde *Pca2<sub>1</sub>* uzay grubunda kristalleştiğini ve asimetric biriminde iki psa ve iki bpp ligandından oluştuğunu göstermektedir. Fenol ve piridil grupları neredeyse düzlemseldir. Ek olarak, bileşiğin kristal yapısı moleküller arası O-H...O, C-H...O hidrojen bağlarının yanı sıra molekül içi C-H...π ve bpp molekülleri arasında meydana gelen π - π etkileşimleriyle iki-boyutlu yapıyı oluşturmuş ve yapısal kararlılık sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kristal yapı, fenol-4-sülfonik asit, organik bağlayıcı

## Hydrothermal Synthesis and Characterization of New Organic Compound Based on Phenol-4-Sulfonic Acid and 1,3-Bis(4-Pyridyl)Propane

**ABSTRACT:** In this study, the new 2D organic compound [PSA<sub>2</sub>][BPP<sub>2</sub>] (psa=phenol-4-sulfonic acid, bpp=1,3-Bis(4-pyridyl)propane) was hydrothermally synthesized and characterized by single-crystal X-ray diffraction, powder X-ray diffraction (PXR), elemental analysis, and solid-state UV-vis absorption spectra. The crystal structure analysis of the compound indicates that complex crystallizes in the orthorhombic crystal system *Pca2<sub>1</sub>* space group and its asymmetric unit consists of two discrete psa and bpp ligand. The ring of phenol and pyridyl groups is almost planar. Additionally, crystal structure of the compound is linked via intermolecular O-H...O and C-H...O hydrogen bonds as well as intramolecular C-H...π and between the bpp molecules π - π interactions, which form two-dimensional structure and provide structural stability.

**Keywords:** Crystal structure, phenol-4-sulfonic acid, organic linker

<sup>1</sup> Mustafa Burak COBAN (Orcid ID: 0000-0003-3488-5284), Balıkesir Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, Balıkesir, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa Burak COBAN, e-mail: burakcoban@balikesir.edu.tr

\* Bu çalışma başka bir yerde sunulmamış ve yayımlanmamıştır.

Geliş tarihi / *Received:* 13.09.2019  
Kabul tarihi / *Accepted:* 10.10.2019

## GİRİŞ

Geçtiğimiz son on yılda, yeni organik polimerlerin ve benzeri malzemelerin tasarımı ve kontrollü sentezi, bu yapıların 1-boyutdan 3-boyuta kadar değişiklik gösteren ilginç topolojileri nedeniyle bilimsel çevrede dikkatleri toplamıştır. Bu yeni malzemeler; moleküler tanıma, gaz depolama ve ayırma, sensör uygulamaları, ilaç dağıtıcı özellikleri, iyon değişimi, reaksiyon katalizleme, optik ve manyetik cihazlar üzerindeki potansiyel uygulama alanlarına sahiptirler (Li ve ark., 2015; Ren ve ark., 2016; Hu ve ark., 2016; Coban, 2017; Kara, 2018). Organik polimerlerin sentez sürecinde, seçilen başlangıç materyallerin kimyasal yapılarının ve bağlanma yeteneğinin, çözücü etkisi, ortamın pH değeri, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi ve ortam basıncı gibi birçok faktörden etkilendiği fark edilmiştir. Üretilen yeni yapıların birçoğunda, farklı mimarilerin oluşturulması için organik ligandların seçimi, özellikle çok-fonksiyonlu yeni organik polimerlerin oluşumunu etkileyen en önemli parametrelerden biridir (Coban ve ark., 2017; Zhou ve ark., 2017; Coban, 2018). 1,3-Bis (4-piridil) propan (bpp) gibi esnek ligandlar ve bu ligandın türevleri, farklı bağlanma geometrilerine sahip süpramoleküler yapıları meydana getirebilir. Ayrıca, azot-verici yardımcı ligandların, bağlayıcı ortamlarının gerekliliğini karşılamak için karboksilat veya fenolik oksijen grupları ile birlikte aktif bağlayıcı özellikleri üzerine araştırmalar yapılmaktadır (Zhang ve ark., 2017). Bu nedenle araştırma grubumuz, oksijen ve azot verici ligand sistemlerinden elde edilen yapıların oluşumunda meydana gelen çeşitlilik üzerindeki etkisini belirlemek için bir çalışma başlattı (Erkarıslan ve ark., 2018; Coban, 2019). Bu arka plana dayanarak, hedef bileşiğin oluşturulması amacıyla oksijen-verici olarak fenol-4-sülfonik asit (psa) ve azot-verici olarak 1,3-Bis (4-piridil) propan (bpp) organik ligandları seçildi. Burada, hidrotermal koşullar altında yeni iki-boyutlu organik bileşik sentezlendi ve karakterize edildi. Moleküler yapı C-H...O hidrojen bağları, C-H... $\pi$  ve  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleriyle tanımlandı. Kristal yapı, bu etkileşimler göz önüne alınarak büyütüldüğünde 2-boyutlu tabakalı yapı oluşmaktadır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyde kullanılan kimyasal maddeler ticari olarak satın alındı ve herhangi bir saflaştırma işlemi uygulamadan kullanıldı. Bileşiğin element analizi LECO, CHNS-932 marka cihaz ile standart metodlar kullanılarak ölçüldü. Toz X-ışını kırınım analizi Bruker-AXS D8-Advance difraktometre cihazı ile Cu-K $\alpha$  ışını ( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ) kullanılarak ölçüldü. Katı hal soğurma spektrumları Ocean Optics Maya 2000 Pro UV-Vis spektrometre ile ölçüldü. Bileşiğin tek kristal X-ışını kırınım verileri EOS-CCD detektörü ile CrysAlis<sup>Pro</sup> yazılımına sahip Rigaku-Oxford Xcalibur difraktometre cihazı ile MoK $\alpha$  ışını ( $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$ ) kullanılarak 294 (2) K' de ölçüldü. Analitik soğurma düzeltmesi CrysAlis<sup>Pro</sup> programı ile uygulandı (Clark ve Reid, 1995). OLEX2 yazılımı (Dolomanov ve ark., 2009) kullanılarak, kristal yapı SHELXT ara yüzü (Sheldrick, 2015b) ile direk yöntemler ile çözüldü ve SHELXL (Sheldrick, 2015a) ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapı arıtımı uygulandı. Hidrojen olmayan atomlara anizotropik termal parametreler uygulandı. Hidrojen atomları standart geometrik modeller kullanılarak ve temel atomlarına ait termal parametreler kullanılarak (C-H = 0.93-0.97  $\text{ \AA}$ ) konumlandırıldı. Süpramoleküler  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri ise detaylı olarak PLATON 1.17 programı ile elde edildi (Spek, 2009).

### [PSA<sub>2</sub>][BPP<sub>2</sub>]Bileşiğinin Sentezlenmesi

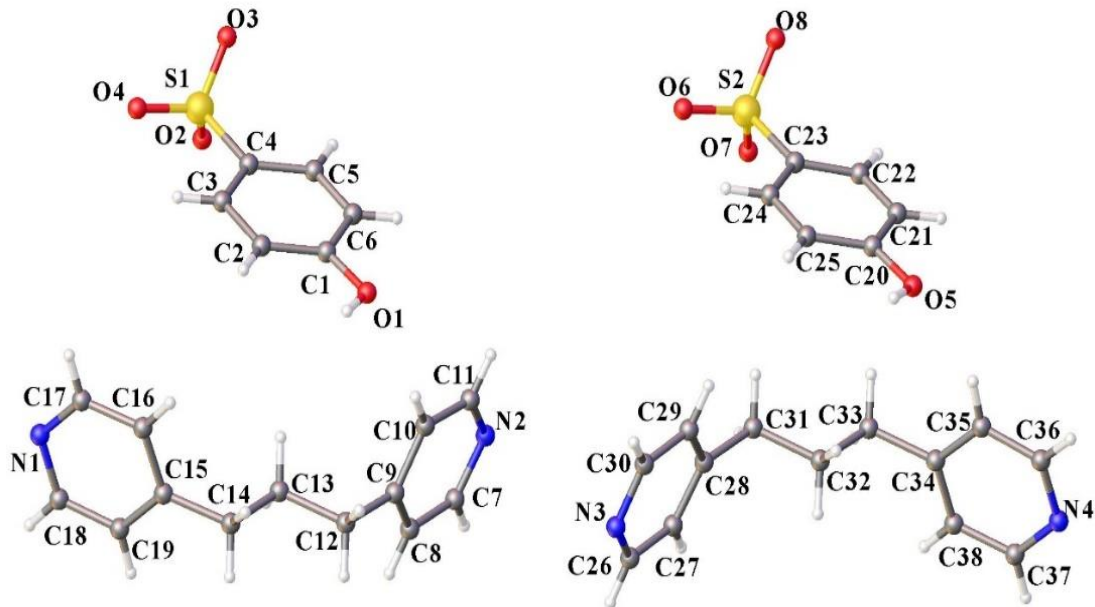
Bileşik, hidrotermal yöntem ile sentezlendi. Fenol-4-sülfonik asit sodyum dihidrat tuzu (0.0464 g, 0.2 mmol) ve 1,3-Bis (4-piridil) propan (0.0396 g, 0.2 mmol) 25 ml saf su içerisinde karıştırılarak çözüldü. Karışımın pH değeri, 1M NaOH çözeltisi damla damla eklenerek 5.0 değerine ayarlandı. Bu karışım 2 saat boyunca oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile karıştırıldı. Elde edilen karışım 45 ml hacimli teflon kaplı basınçlı otoklava aktarıldı. Reaktör etüve yerleştirilerek 120 °C da 3 gün boyunca

bekletildi ve oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Elde edilen çözelti yaklaşık bir hafta boyunca karanlık ortamda bekletildi ve açık sarı tek kristaller süzgeç kağıdıyla toplanarak saf su ile yıkandı ve kurutuldu. Verim %78. Teorik Element Analizi (%) ( $C_{19}H_{19}N_2O_4S$ ): C, 61.44; H, 5.16; N, 7.54; Deneysel Element Analizi (%): C, 61.41; H, 5.14; N, 7.56.

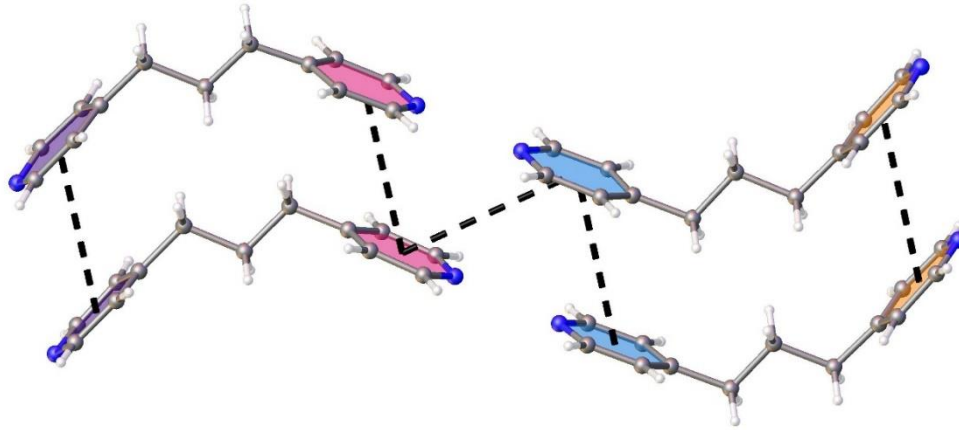
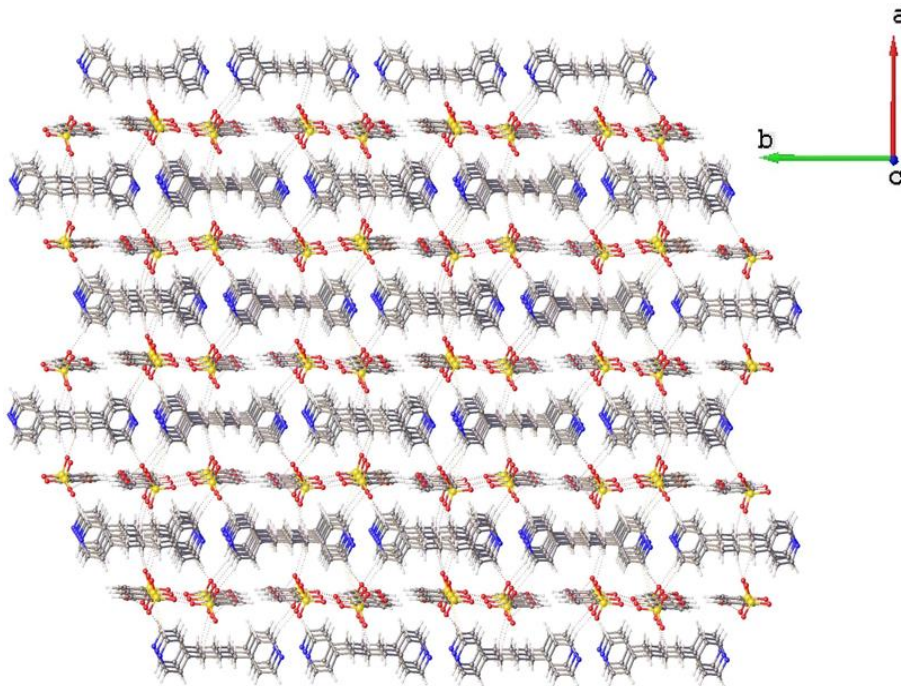
## BULGULAR VE TARTIŞMA

### Bileşiğin Tek Kristal Yapı Analizi

[PSA<sub>2</sub>][BPP<sub>2</sub>] bileşiğine ait kristalografik bilgiler, bağ uzunlukları, bağ açıları ve hidrojen bağları sırasıyla Çizelge 1, 2 ve 3' de verilmektedir. Bileşiğin moleküler yapısı, aromatik halkalar arasındaki  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri ve 2-boyutta paketlenmiş görünümü sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3' de verilmektedir. Bileşik, ortorombik kristal sisteminde *Pca2*<sub>1</sub> uzay grubunda kristalleşmiştir. Kristal yapı incelendiğinde, bileşiğin asimetric birimi iki fenol-4-sülfonik asit ve iki 1,3-Bis (4-piridil) propan molekülü içerir (Şekil 1). Merkezi altı üyeli fenol ve piridil grupları neredeyse düzlemseldir. Torsiyon açıları da bu düzlemselliği kanıtlamaktadır. [O1-C1-C2-C3=-179.5(11)°, O1-C1-C6-C5=-179.5(12)°, O5-C20-C21-C22=178.6(11)°, O5-C20-C24-C25=-179.9(11)°, N1-C17-C16-C15=3(2)°, N1-C18-C19-C15=2(2)°, N2-C7-C8-C9=-1(2)°, N2-C11-C10-C9=2(2)°, N3-C26-C27-C28=3(2)°, N3-C30-C29-C28=0(2)°, N4-C36-C35-C34=6(2)° ve N4-C37-C38-C34=-1(2)°]. Ayrıca, bpp ligandının iki piridin grubunun halka düzlemleri arasında 68.59° ve 67.97°'lik dihedral açı gözlenir. Bağ uzunlukları ve bağ açıları benzer yapılarla karşılaştırılabilir ( Dai ve ark., 2005; Sun ve ark., 2008; Yang ve ark., 2008; Atria ve ark., 2011; Oylumluoglu, 2018) . Bileşiğin kristal yapısı temel olarak moleküller arası O-H...O ve C-H...O tipi hidrojen bağları, moleküler arası C-H... $\pi$  ve bpp molekülleri arasında yüz-yüze  $\pi$ - $\pi$  etkileşimleri ile kararlı bir duruma sahip olmuştur. (Şekil 2). Tüm hidrojen bağları ve moleküller arası etkileşimler dikkate alındığında iki-boyutlu tabakalı süpramoleküler mimari oluşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 1. Bileşiğin moleküler yapısı

Şekil 2. Kristal yapıda  $\pi$ - $\pi$  etkileşimlerinin görünümüŞekil 3.  $ab$ -düzleminde 2-boyutlu tabakalı yapının görünümü

Çizelge 1. Bileşiğe ait kristalografik veriler

Kimyasal formül	$C_{19}H_{19}N_2O_4S$
Molekül ağırlığı	371.42 ( $g \cdot mol^{-1}$ )
Kristal sistemi	Ortorombik
Uzay grubu	$Pca2_1$
Birim hücre parametreleri	a=17.699 (2) (Å) b= 23.540 (3) (Å) c=8.4056 (11) (Å) $\alpha=\beta=\gamma= 90$ (°)
Birim hücre hacmi (Å <sup>3</sup> )	3502.0 (8)
Sıcaklık (K)	294 (2)
Birim hücredeki molekül sayısı	8
Dalga boyu (MoK $\alpha$ )	( $\lambda = 0.71073$ )
Yoğunluk ( $g/cm^3$ )	1.409
$\mu$ ( $mm^{-1}$ )	0.213
Ölçülen yansıma sayısı	8647
Bağımsız yansıma sayısı	4585 ( $R_{int}=0.010$ )
S	0.968
$R_1$ [ $I > 2\sigma(I)$ ], $wR_2$	0.0798, 0.1782

**Çizelge 2.** Seçilen bağ uzunlukları (Å) ve bağ açıları (°)

S1 – O2	1.401 (1)	N1 – C17	1.335 (5)
S1 – O3	1.413 (1)	N1 – C18	1.348 (5)
S1 – O4	1.389 (10)	N2 – C7	1.314 (4)
O1 – C1	1.348 (6)	N2 – C11	1.344 (4)
S2 – O6	1.426 (9)	N3 – C26	1.318 (6)
S2 – O7	1.434 (9)	N3 – C30	1.333 (6)
S2 – O8	1.439 (9)	N4 – C36	1.333 (6)
O5 – C20	1.357 (7)	N4 – C37	1.356 (6)
O1 – C1 – C2	132.8 (5)	O6 – S2 – C23	105.7 (7)
O1 – C1 – C6	127.3 (2)	O7 – S2 – O8	112.4 (6)
O2 – S1 – O3	109.8 (9)	O7 – S2 – C23	106.1 (6)
O2 – S1 – C4	106.8 (6)	O8 – S2 – C23	106.2 (5)
O2 – S1 – O4	112.7 (9)	N1 – C17 – C16	132.8 (3)
O3 – S1 – C4	107.1 (6)	N1 – C18 – C19	133.2 (4)
O3 – S1 – O4	112.3 (9)	N2 – C7 – C8	133.8 (3)
O4 – S1 – C4	107.9 (8)	N2 – C11 – C10	133.6 (4)
O5 – C20 – C21	128.6 (2)	N3 – C26 – C27	130.8 (3)
O5 – C20 – C25	132.8 (4)	N3 – C30 – C29	130.9 (4)

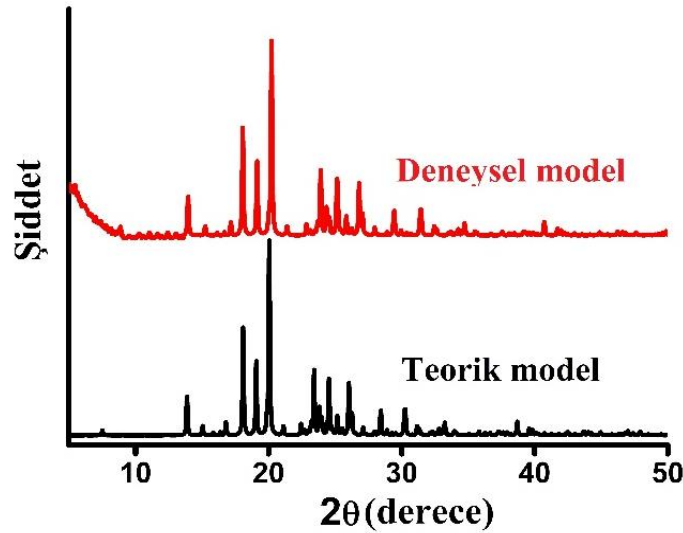
**Çizelge 3.** Potansiyel hidrojen bağı geometrileri (Å, °), Cg-Cg halka merkezleri arasındaki en kısa mesafeler (Å)

D-H...A*	D-H	H...A	D...A	D-H...A	Simetri Kodu
O1 – H1...O2	0.82	2.49	3.209 (7)	145	x, y, 1+z
O1 – H1...O3	0.82	2.27	3.034 (6)	153	x, y, 1+z
O5 – H5A...O8	0.82	2.00	2.804 (4)	163	x, y, 1+z
C3 – H3...O6	0.93	2.56	3.212 (6)	127	1-x, 1-y, 1/2+z
C11 – H11...O3	0.93	2.32	3.231 (8)	162	1-x, 1-y, 1/2+z
C14 – H14B...O2	0.97	2.42	3.280 (2)	147	x, y, 1+z
C17 – H17...O8	0.93	2.46	3.376 (6)	164	1-x, 1-y, 1/2+z
C24 – H24...O4	0.93	2.49	3.162 (8)	128	1-x, 1-y, 1/2+z
C26 – H26...O3	0.93	2.37	3.272 (9)	161	-1/2+x, 1-y, 1+z
C31 – H31B...O7	0.97	2.58	3.367 (5)	137	1/2-x, y, 1/2+z
C32 – H32B...O7	0.97	2.52	3.480 (6)	165	x, y, 1+z
C37 – H37...O8	0.93	2.41	3.327 (7)	164	-1/2+x, -y, 1+z
Cg(I)...Cg(J)	Cg-Cg			Simetri Kodu	
Cg(1)...Cg(1)	4.204 (9)			1/2-x, y, -1/2+z	
Cg(1)...Cg(4)	4.532 (8)			x, 1+y, z	
Cg(2)...Cg(2)	4.203 (8)			1/2-x, y, -1/2+z	
Cg(2)...Cg(3)	4.582 (8)			x, y, z	
Cg(3)...Cg(3)	4.213 (8)			1/2-x, y, -1/2+z	
Cg(4)...Cg(4)	4.209 (8)			1/2-x, y, -1/2+z	

D: Verici, A: Alıcı ve Cg(I) Düzlem numarası I (halka numarası () parantez içinde verilmiştir), Cg(1): N1-C15-C16-C17-C18-C19, Cg(2): N2-C7-C8-C9-C10-C11, Cg(3): N3-C26-C27-C28-C29-C30, Cg(4): N4-C34-C35-C36-C37-C38.

### Bileşimin Toz Kristal X-Işını Kırınımı:

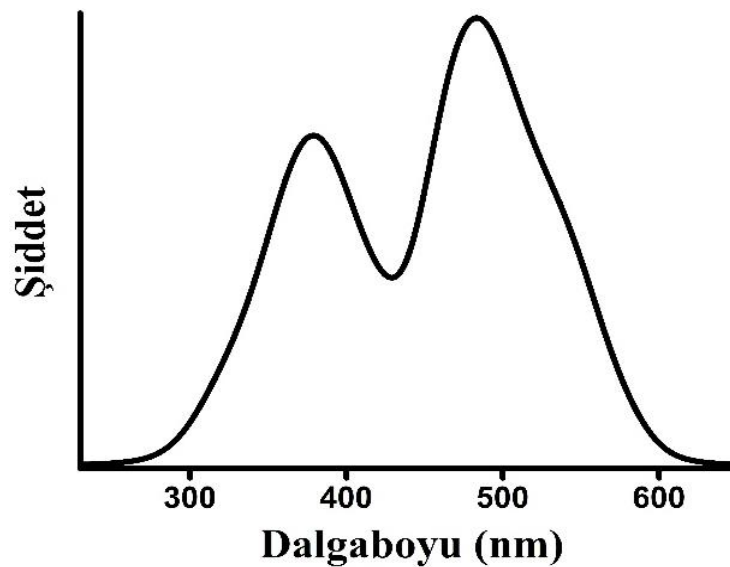
Bileşiğe ait deneysel toz X-ışını kırınım analizi ile tek kristal yapı analizi sonucu elde edilen şiddet verileri Mercury 4.1.0 paket programı kullanılarak karşılaştırıldı. Mercury 4.1.0 paket programı ile teorik olarak simüle edilen toz kırınım şiddetleri ve deneysel olarak elde edilen toz kırınım şiddet verileri, Orijin Pro 7.0 programı kullanılarak elde edilen grafikler Şekil 4' de karşılaştırılarak verilmiştir. Deneysel X-ışını kırınım desenleri ile teorik model karşılaştırıldığında çok küçük kaymalarla piklerin konumları iyi bir uyum içindedir. Bu toz örneklerin saf olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Bileşiğin X-ışını kırınım desenleri. Toz kırınımı deneysel model (kırmızı) ve simüle edilmiş teorik model (siyah) olarak verilmiştir

#### UV-Vis Soğurma Spektroskopisi

Bileşiğin katı formda oda sıcaklığında alınmış UV-Vis soğurma spektrumu Şekil 5' te gösterilmiştir. Bileşiğin soğurma spektrumu incelendiğinde iki geniş bant elde edilmiştir. Bu bantlardan 378 nm' de olan yüksek enerji bandı muhtemelen  $\pi-\pi^*$  elektronik geçişi, 482 nm' deki baskın bant ise  $n-\pi^*$  elektronik geçişinden kaynaklanabilir (Shen ve ark., 2016; Kocak ve ark., 2017; Coban ve ark., 2018).



Şekil 5. Bileşiğin katı formda ve oda sıcaklığında alınmış UV-Vis soğurma spektrumu

#### SONUÇ

Yeni iki-boyutlu organik bileşik [PSA<sub>2</sub>] [BPP<sub>2</sub>] (psa = fenol-4-sülfonik asit, bpp = 1,3-Bis(4-piridil)propan) hidrotermal şartlarda başarıyla sentezlendi ve karakterize edildi. Bileşiğin kristal yapısı, tek kristal X-ışını kırınım analizi ile belirlendi. Toz kristal X-ışını kırınım desenleri, tek kristal X-ışını kırınım analizi ile karşılaştırıldı. Toz kırınım desenleri temel olarak tek kristal yapısal analizinden simüle

edilmiş teorik model ile oldukça uyumludur. Böylece toz örneklerin saf olduğu anlaşılmıştır. Bileşimin asimetric birimi iki psa ve iki bpp molekülü içerir. Merkez altı üyeli fenol ve piridil grup halkaları hemen hemen düzlemseldir. Sonuç olarak, bileşik temelde moleküller arası O–H...O ve C–H...O tipi hidrojen bağları, zayıf moleküller arası C–H...π ve bpp molekülleri arasında meydana gelen π–π etkileşimleri ile kararlı haldedir. Tüm hidrojen bağları, zayıf etkileşimler ve moleküller arası etkileşimler dikkate alınarak yapı büyütüldüğünde 2-boyutlu tabakalı mimari elde edilmiştir. Bu çalışmada incelenen organik bileşik, optik ve endüstriyel uygulamalarda yapısal ara malzemeler olarak kullanılabilme potansiyeline sahip olabilirler.

### Ek Veriler

Bu makalede verilen kristalografik veriler, Cambridge Crystallographic Data Centre'da depolanmış olup talep üzerine, (The Director, CCDC, 12 Union Road, Cambridge, CB2 1EZ, UK; e-mail: deposit@ccdc.cam.ac.uk; www: <http://www.ccdc.cam.ac.uk>; fax: +44 1223 336033) CCDC 1886525 Nolu depolama numarası ile ücretsiz olarak temin edilebilir.

### KAYNAKLAR

- Atria AM, Corsini G, Garland MT, Baggio R, 2011. Poly[4,4'-(propane-1,3-diyl)dipyridiniumbis{tetraaquabis(μ2-5-carboxybenzene-1,2,4-tricarboxylato)bis[μ2-1,3-bis(4-pyridyl)propane]dicobalt(II)}pentahydrate]. *Acta Crystallographica Section C Structural Chemistry*, 67: m367–m370.
- Clark RC, Reid JS, 1995. The analytical calculation of absorption in multifaceted crystals. *Acta Crystallographica Section A Foundations and Advances*, 51: 887–897.
- Coban MB, 2017. Synthesis and photophysical properties of new Eu(III) complex. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19: 7–15.
- Coban MB, Amjad A, Aygun M, Kara H, 2017. Sensitization of Ho(III) and Sm(III) luminescence by efficient energy transfer from antenna ligands: Magnetic, visible and NIR photoluminescence properties of Gd(III), Ho(III) and Sm(III) coordination polymers. *Inorganica Chimica Acta*, 455: 25–33.
- Coban MB, 2018. Hydrothermal synthesis, crystal structure, luminescent and magnetic properties of a new mononuclear Gd(III) coordination complex. *Journal of Molecular Structure*, 1162: 109–116.
- Coban MB, Gungor E, Kara H, Baisch U, Acar Y, 2018. New mixed valence defect dicubane cobalt(II)/cobalt(III) complex: Synthesis, crystal structure, photoluminescence and magnetic properties. *Journal of Molecular Structure*, 1154: 579–586.
- Coban MB, 2019. Magnetic and photophysical properties of new Tb<sup>III</sup>–based twodimensional hydrogen-bonded polymer. *Journal of Molecular Structure*, 1177: 331–337.
- Dai Y-M, Shen H-Y, Huang J-F, 2005. Terephthalic acid–1,3-di-4-pyridylpropane (1/1). *Acta Crystallographica Section E Crystallographica Communications*, 61: o3410–o3411.
- 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.
- Erkarslan U, Donmez A, Kara H, Aygun M, Coban MB, 2018. Synthesis, structure and photoluminescence performance of a new Er<sup>3+</sup>-cluster-based 2D coordination polymer. *Journal of Cluster Science*, 29: 1177–1183.
- Hu Z, Li B, Ju W, Liang Y, Chen Z, 2016. Synthesis and structures of two new Cu(I) frameworks bearing 1,3-bis(4-pyridyl)propane and inorganic linkers. *Journal of Chemical Science*, 128: 893–898.
- Kara H, 2018. Synthesis and 3D crystal structure of new Ni(II)-ion-pair complex. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20: 1–7.
- Kocak C, Oylumluoglu G, Donmez A, Coban MB, Erkarslan U, Aygun M, Kara H, 2017. Crystal structure and photoluminescence properties of a new monomeric copper(II) complex: bis(3-[(3-hydroxypropyl)imino]methyl)-4-nitrophenolato-κ<sup>3</sup>O,N,O)copper(II). *Acta Crystallographica Section C Structural Chemistry*, 73: 414–419.

- Li H-H, Li H, Niu Z, Wang Y-P, 2015. Structural diversity of two novel Dy(III) metal-organic frameworks based on binuclear nodes with furan-2,5-dicarboxylic acid: Crystal structures and luminescent properties. *Inorganic Chemistry Communications*, 55: 103–107.
- Oylumluoğlu G, 2018. 4,4- bipiridin ve 2-amino-1,4-benzendikarboksilik asit tabanlı yeni bileşimin sentezlenmesi ve hidrojen bağlı 3D polimerik yapısı. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20: 320–326.
- Ren Y, Chai H, Tang L, Hou X, Wang J, 2016. Structural diversity and fluorescence properties of three 2-sulfoterephthalate Cd(II)/Zn(II) coordination polymers employing 1,4-bisbenzimidazole. *Journal of Solid State Chemistry*, 234: 103–109.
- Sheldrick GM, 2015a. Crystal structure refinement with SHELXL. *Acta Crystallographica Section C Structural Chemistry*, 71: 3–8.
- Sheldrick GM, 2015b. SHELXT – Integrated space-group and crystal-structure determination. *Acta Crystallographica Section A Foundations and Advances*, 71: 3–8.
- Shen H-Y, Wang W-M, Gao H-L, Cui J-Z, 2016. Near-infrared luminescence and SMM behaviors of a family of dinuclear lanthanide 8-quinolinolate complexes. *Royal Society of Chemistry Advances*, 6: 34165–34174.
- Spek AL, 2009. Structure validation in chemical crystallography. *Acta Crystallographica Section D Structural Biology*, 65: 148–155.
- Sun Y-Y, Dong H-Z, Cheng L, 2008. 1,3-Bis[4-(4-pyridyl)pyrimidin-2-ylsulfanyl]propane. *Acta Crystallographica Section E Crystallographica Communications*, 64: o901–o901.
- Yang E, Song X-C, Zhuang R-Q, 2008. 4,4'-(Propane-1,3-diyl)dipiperidinium sulfate monohydrate. *Acta Crystallographica Section E Crystallographica Communications*, 64: o1763–o1763.
- Zhang J-Y, Shi J-X, Chen L-Y, Jia Q-X, Deng W, Gao E-Q, 2017. N-donor auxiliary ligand-directed assembly of Co(II) compounds with a 2,2'-dinitro-biphenyl-4,4'-dicarboxylate ligand: structures and magnetic properties. *Crystal Engineering Communications*, 19: 1738–1750.
- Zhou RS, Shao J, Li Y, Song JF, 2017. Three new imidazole dicarboxylate metal compounds: Synthesis, structures, and magnetic property. *Inorganic Nano-Metal Chemistry*, 47: 509–514.