

# Yeni Fenantrolin İçerikli Ditiyofosfonato Nikel Kompleksinin Sentezi ve Karakterizasyonu

## Synthesis and Characterization of a New Phenanthroline-Containing Dithiophosphonato Nickel Complex

Ayşe Zeynep VARLI<sup>1</sup>

Elif BULAT<sup>1</sup>

Ertuğrul Gazi SAĞLAM<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Fakültesi,  
Kimya Bölümü İstanbul, Türkiye



### Öz

Bu çalışmada, bilinen Ni(II) ditiyofosfonato kompleksinden Lewis bazı içerikli yeni fenantrolin Ni(II)ditiyofosfonato kompleksi sentezlendi. İyonik yapıda kompleks paramanyetik özelliğe sahiptir. Sentezlenen koordinasyon bileşiğinin yapısı elemental analiz, manyetik duyarlılık ölçümleriyle beraber, FT-IR ve kütle spektroskopisi ölçümleriyle de aydınlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ditiyofosfonato Ni(II) kompleksi, Ditiyofosfonato Nikel Fenantrolin kompleksleri, Fenantrolin

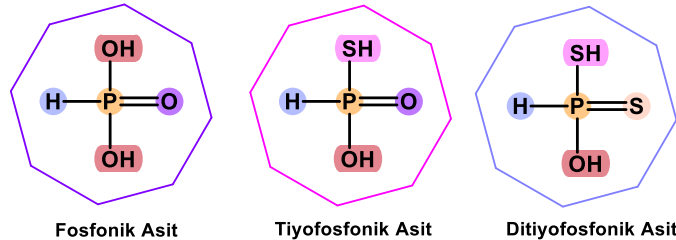
### ABSTRACT

In this study, a new Lewis base-containing phenanthroline Ni(II) dithiophosphonato complex was synthesized from Ni(II)dithiophosphonato complex which is previously known. The complex has ionic structure and paramagnetic properties. The structure of the synthesized coordination compound was elucidated by elemental analysis, magnetic susceptibility measurements, FT-IR and mass spectroscopy measurements

**Keywords:** Dithiophosphonato Ni(II) complex, Dithiophosphonato Nickel Phenanthroline complexes, Phenanthroline

## GİRİŞ

Organo-tiyofosfor bileşiklerinin bir üyesi ditiyofosfonik asitler (DTPOA) ve türevleri (ditiyofosfonat tuzları, ditiyofosfonato-koordinasyon bileşikleri), uzun yıllar akademik araştırmalarda tercih edilmelerinin yanı sıra<sup>1</sup> bu bileşikler ayrıca; endüstride<sup>2,3</sup>, tarımda<sup>4</sup>, biyokimyada<sup>5</sup> ve metalürjide<sup>6</sup> yaygın katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Bu bileşikler merkezdeki fosfor atomuna bağlı kükürt atomlarının sayısına göre sınıflandırılırlar (Şekil 1).



Şekil 1. Organo-tiyofosfonik Asitlerin Yapıları

Geliş Tarihi/Received 15.01.2024  
Kabul Tarihi/Accepted 19.03.2024  
Yayın Tarihi/Publication Date 22.05.2024

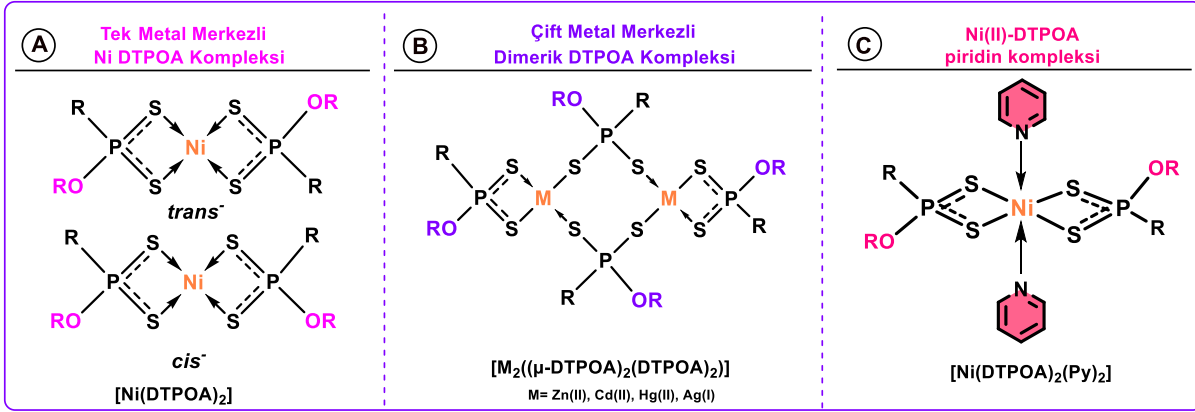
Sorumlu Yazar/Corresponding author:  
Ertuğrul Gazi SAĞLAM,

E-mail: [saqlameg@gmail.com](mailto:saqlameg@gmail.com)

Cite this article: Varlı A.Z., Bulat E., Sağlam E.G. Synthesis and Characterization of a New Phenanthroline-Containing Dithiophosphonato Nickel Complex. *J Ata-Chem.* 2024;4(1):20-25.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.



Şekil 2. DTPOA'lerin tek-çift metal merkezli kompleksleri.

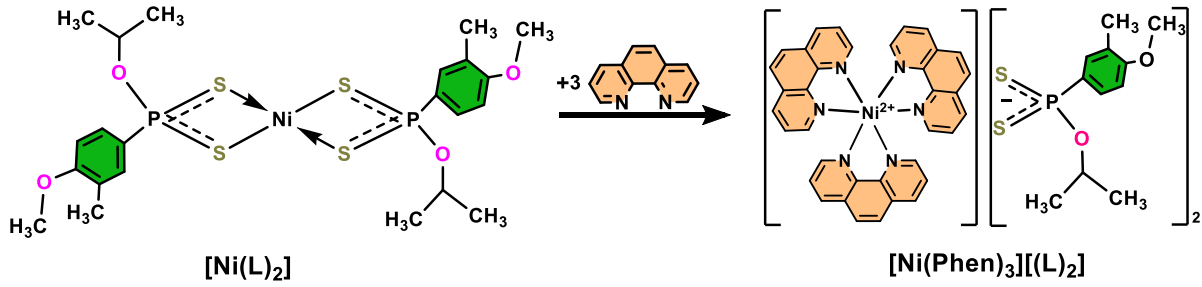
DTPOA'ler fosfora bağlı aromatik veya alifatik grubun büyüklüğüne göre katı veya yağ kıvamında ve kükürt atomlarından dolayı kötü kokulu maddelerdir. DTPOA tuzlarına (ditiyofosfonat) veya komplekslerine (metal-ditiyofosfonato) dönüştürülerek kokusuz ve kararlı formlarına dönüştürülürler.<sup>7</sup> Bileşiklerin yapısındaki iki kükürt atomu ayrıca; periyodik sistemdeki geçiş metalleri ile çeşitli yapıda koordinasyon bileşikleri oluşturmasına neden olur. Ditiyofosfonato-koordinasyon bileşiklerinde kükürt atomları, metal atomuna köprülü veya doğrudan bağlanmasıyla tek metal merkezli (mononükleer) veya iki metal merkezli (dinükleer) yapılar oluşur. Her iki yapıda koordinasyon bileşiği yüksüzdür ve metal atomu dört koordinasyonludur.<sup>8</sup> Ancak metalin türüne göre koordinasyon bileşiğinin yapısı farklıdır. Şöyleki, 10. Grup metalleriyle ([M(DTPOA)<sub>2</sub>], M= Ni(II), Pd(II) ve Pt(II)) kare düzlem yapıda, tek metal merkezli ditiyofosfonato koordinasyon bileşiklerini oluşturur (Şekil 2A). Diğer taraftan, 11. Grup (Ag (I)) ve 12. Grup ([M<sub>2</sub>(μ-DTPOA)<sub>2</sub>(DTPOA)<sub>2</sub>], M= Zn(II), Cd(II), Hg(II) ve Ag(I)) metalleriyle düzgün dört yüzlü yapıda, çift metal merkezli, (halkalı, dimerik) koordinasyon bileşiklerini oluşturur (Şekil 2B) oluştururlar.<sup>9-11</sup>

Kare düzlem yapıdaki [Ni(DTPOA)<sub>2</sub>] bilenen en iyi koordinasyon bileşikleridir.<sup>12</sup> Bu kompleksler koordinasyon sayısı bakımından doymamış olarak kabul edilir ve piridin gibi tek dişli ligandlarla ([Ni(DTPOA)<sub>2</sub>(Py)<sub>2</sub>]) veya fenantrolin gibi çift dişli ligandlarla ile koordinasyon sayılarını altıya çıkarabilirler (Şekil 2C). Kare düzlem veya düzgün dört yüzlü yapıdaki kompleksler diamanyetik özellik gösterirken, altı koordinasyonlu düzgün sekiz yüzlü yapıdaki Ni(II) kompleksleri paramanyetik özellik gösterir.<sup>13-15</sup>

Nikel veya diğer geçiş metal katyonlarının DTPOA koordinasyon bileşikleri; çift dişli-nötr organik bir ligand

özelliği gösteren fenantrolinle kararlı koordinasyon bileşikleri oluştururlar.<sup>16</sup> Son 20 yıl içinde, yapısında fenantrolin ve Organo-ditiyofosfor ligandlarını bir arada bulunduran Ni(II)- DTPOA kompleksleri sentez çalışmaları, nadiren de olsa devam etmektedir ([Ni(Phen)<sub>m</sub>][(DTPOA)<sub>n</sub>]). Bu çalışmalarda sentezlenen komplekslerde merkez atomu Ni(II) iyonuna, ditiyofosfonat ve fenantrolin ligandları koordine kovalent bağla bağlanabildiği gibi ([Ni(Phen)<sub>m</sub>][(DTPOA)<sub>n</sub>], m=1, n=2; m=2, n=1); nikel-fenantrolin katyonuyla ([Ni(Phen)<sub>3</sub>]<sup>2+</sup>) ve ditiyofosfonat anyonları iyonik olarak bağlanabilmektedir ([Ni(Phen)<sub>m</sub>][(DTPOA)<sub>n</sub>], m=3, n=2). Her iki bağlanma türünde de nikelin koordinasyon sayısı altıdır ve koordinasyon bileşiği paramanyetik özellik gösterir.<sup>16-19</sup>

[Ni(Phen)<sub>m</sub>][(DTPOA)<sub>n</sub>] koordinasyon bileşikleriyle ilgili araştırmalar, diğer metal-DTPOA koordinasyon bileşikleri araştırmalarına göre daha azdır. Bu çalışmada; bilinen bir dört koordinasyonlu [Ni(L)<sub>2</sub>] kompleksinden (Ligand, L=O-2-propil-(3-metoksitolil)ditiyofosfonat)<sup>20</sup>, iyonik yapıda yeni fenantrolin Ni(II) ditiyofosfonato kompleksi ([Ni(Phen)<sub>3</sub>][L<sub>2</sub>]) sentezlendi (Şekil 3). [Ni(L)<sub>2</sub>] için gerekli ligand, son yıllarda sentezlenen ve araştırmaları halen devam eden 2,4-bis-(3-metoksitolil)-1,3-ditiya-2,4-difosfetan 2,4-disülfür (SAV-B1), bileşiğinin bir alkolle (izo-propil alkol) reaksiyonundan yeniden sentezlendi. [Ni(Phen)<sub>3</sub>][L<sub>2</sub>] koordinasyon bileşiğinin yapısı element analiziyle beraber kütle spektrometrisi (ESI) ve FTIR spektroskopileri ve manyetik duyarlılık ölçümleri aydınlatılmıştır.



Şekil 3.  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$  kompleksinin sentez reaksiyonu

## YÖNTEMLER

### Kimyasallar ve Cihazlar

1,10 Fenantrolin, ethanol, methanol ve kloroform Merck firmasından temin edilmiştir. Ligand ve Ni(II) kompleksi literatürdeki yöntemlere göre sentezlendi.<sup>20</sup>

Bileşiklerin erime noktaları (EN) Electrothermal 9200 cihazında; element analizi LECO 932 CHNS-O Elementel Analiz cihazında, kütle ölçümleri LC/MS sistemi bir C-18 HPLC kolonu ve bir ESI iyonlaştırıcısına bağlı bir Waters Micromass ZQ ile Waters tarafından sağlanan cihazında; IR ölçümleri Perkin Elmer marka Spectrum Two FT-IR model ATR modüllü cihazında ( $4000-200\text{ cm}^{-1}$ ) marka cihazında alındı. Manyetik duyarlılıklar, oda sıcaklığında ( $25^\circ\text{C}$ ) Sherwood Scientific manyetik duyarlılık dengesi (Model MK1) üzerinde ölçüldü.

### Tris (1,10-fenantrolin) nikel(II)-O-2-propil-(3-metoksitolil) ditiyofosfonat koordinasyon bileşiğinin Sentezi, $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$

0,60 g (1 mmol)  $[\text{NiL}_2]$  kompleksinin metil alkoldeki çözeltisine, etil alkolde çözünmüş fenantrolin (3 mmol, 0,55 g) çözeltisi damla damla ilave edilir. Geri soğutucu altında 30 dk kaynatılır. Kavuniçi renkli çözelti süzülür; iki gece oda sıcaklığında bekletilir. Oluşan kavuniçi renkli katı kompleks süzülür ve vakum desikatöründe kurutulur.

**$[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$ :** Verim: 0,82 g (%71). Kavuniçi. EN  $210^\circ\text{C}$ . Teorik:  $\text{C}_{58}\text{H}_{56}\text{N}_6\text{NiO}_4\text{P}_2\text{S}_4$  ( $1150.00\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ): C, 60.58; H, 4.91; N, 7.31; S, 11.15; Deneysel: C, 60.50; H, 4.84; N, 7.26; S, 11.09%.  $\mu_{\text{eff}}^{\text{deneysel}} = 2.53\text{ BM}$ .

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 4-5'de görülen  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$  kompleksinin FT-IR spektromunda; ditiyofosfonik asitin anyon kısmına ait

fosfor ve kükürt bağlarını titreşim frekansları simetrik ( $\nu(\text{PS})_{\text{sym}}$ ) ve asimetrik ( $\nu(\text{PS})_{\text{asym}}$ ) olarak sırasıyla  $543\text{ cm}^{-1}$  ve  $643\text{ cm}^{-1}$  arasında çıkmıştır. Kompleksin katyon kısmına ait nikel-azot bağı gerilme titreşim bandı ( $\nu(\text{Ni-N})$ ), spektrumun parmak izi bölgesinde  $297\text{ cm}^{-1}$  de gözlemlenmiştir. Bileşiğin IR verileri benzer yapılarıdaki verilerle uyum içerisindedir.<sup>20,21</sup>

Kompleksin kütle spektromunda (Şekil 6);  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$  komplekse ait bazı piklerin, beklenen değerden farklı çıkması atomlara (fosfor, kükürt veya nikel) ait izotopların, izotop bolluklarından kaynaklanmaktadır. İyonizasyon sürecinde kullanılan çözeltideki (buffer solution) sodyum veya diğer çözücü molekülleri (MeOH, EtOH,  $\text{H}_2\text{O}$ ), molekül iyon pikine veya farklı türlere tutunabilmektedir.

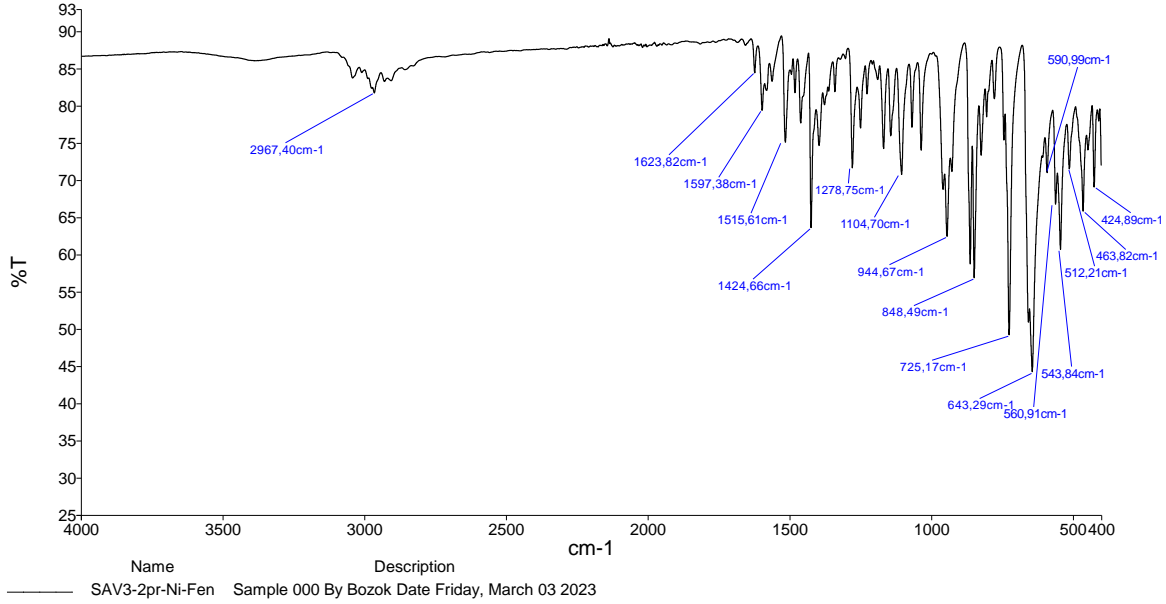
Komplekse ait molekül iyon piki çok azda olsa spektromda görülmektedir ( $[(\text{M}+\text{Na})+2\text{H}]^+$ , 1%). Spektromda temel pik, moleküldeki  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3]^{2+}$  iyonudur. Spektromda oluşan diğer türler, molekül iyon pikinden ayrılan grupların (fenantrolin) veya çözücü moleküllerinin (EtOH); bu türlere tutunmasıyla oluştuğu görülmektedir. (MS (ESI) m/z (%): 299.9 ( $[\text{Ni}(\text{Phen})_3]^{2+}$ , 100%), 209.4 ( $[\text{Ni}(\text{Phen})_2]^{2+}$ , 21%), 250.0 ( $[\text{Ni}(\text{Phen})_2(\text{EtOH})_2]^{2+}$ , 17%), 463.8 ( $[\text{Ni}(\text{Phen})_2(\text{EtOH})-2\text{H}]^+$ , 3%), 513.6 ( $[\text{Ni}(\text{Phen})_2(\text{EtOH})_2-2\text{H}]^+$ , 23%), 693.8 ( $[\text{Ni}(\text{Phen})_3(\text{EtOH})_2-2\text{H}]^+$ , 36%), 1174,3 ( $[(\text{M}+\text{Na})+2\text{H}]^+$ , 1%).

Sentezlenen kompleksin manyetik duyarlılık ölçümü de yapılmıştır. Fenantrolinin nikel atomuna altı koordinasyonla bağlanarak oluşturduğu iyonik  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][(\text{DTPOA})_2]$  kompleksinde nikel atomunun yüksek spin türünde  $d^8$  elektron konfigürasyonuna sahip olduğunu, deneysel ölçüm değerleri doğrulamaktadır. (Deneysel  $\mu_{\text{eff}}^{\text{deneysel}} = 2.53\text{ BM}$ ; hesaplanan  $\mu_{\text{eff}} = 2.83\text{ BM}$ ) (Tablo 1).

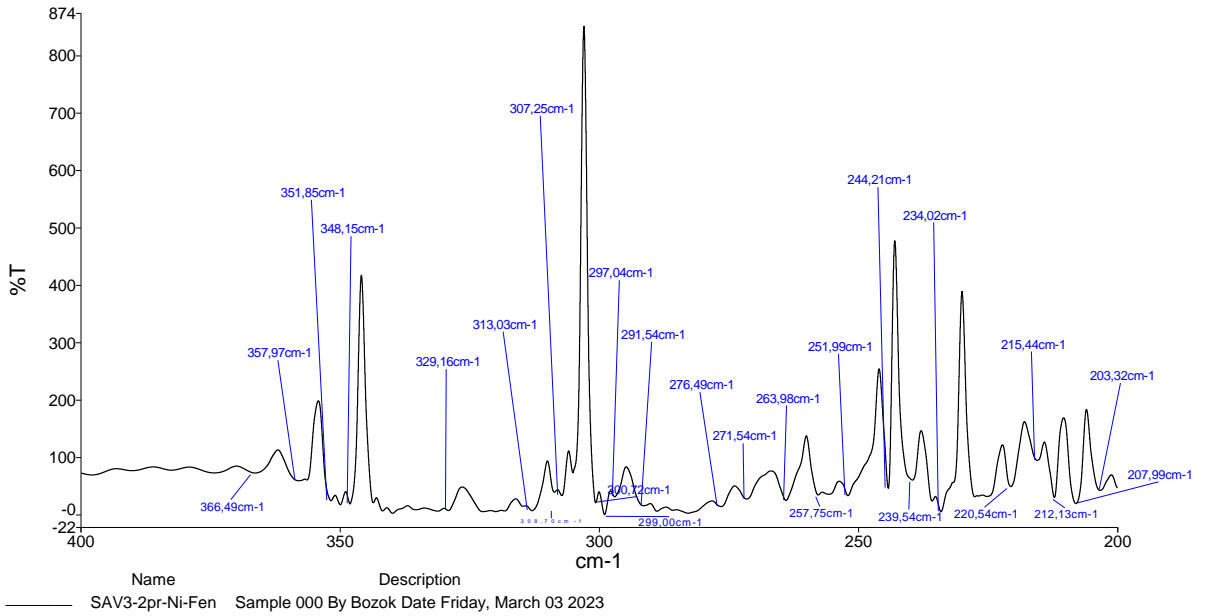
Bu çalışmada literatürde az rastlanılan fenantrolin içerikli nikel(II) ditiyofosfonato koordinasyon bileşiği

sentezlenmiştir  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$ . Kompleksin yapısı FTIR ve MS spektroskopisi yöntemleri ile aydınlatılmıştır. IR spektrumundaki değerler, P-S asimetrik ve simetrik gerilme titreşimleri ile parmak izi bölgesinde metalin Lewis bazıyla koordinasyonuna ait titreşim frekans değerleri beklenildiği gibi çıkmıştır.<sup>21</sup> Kütle spektrumundaki molekül

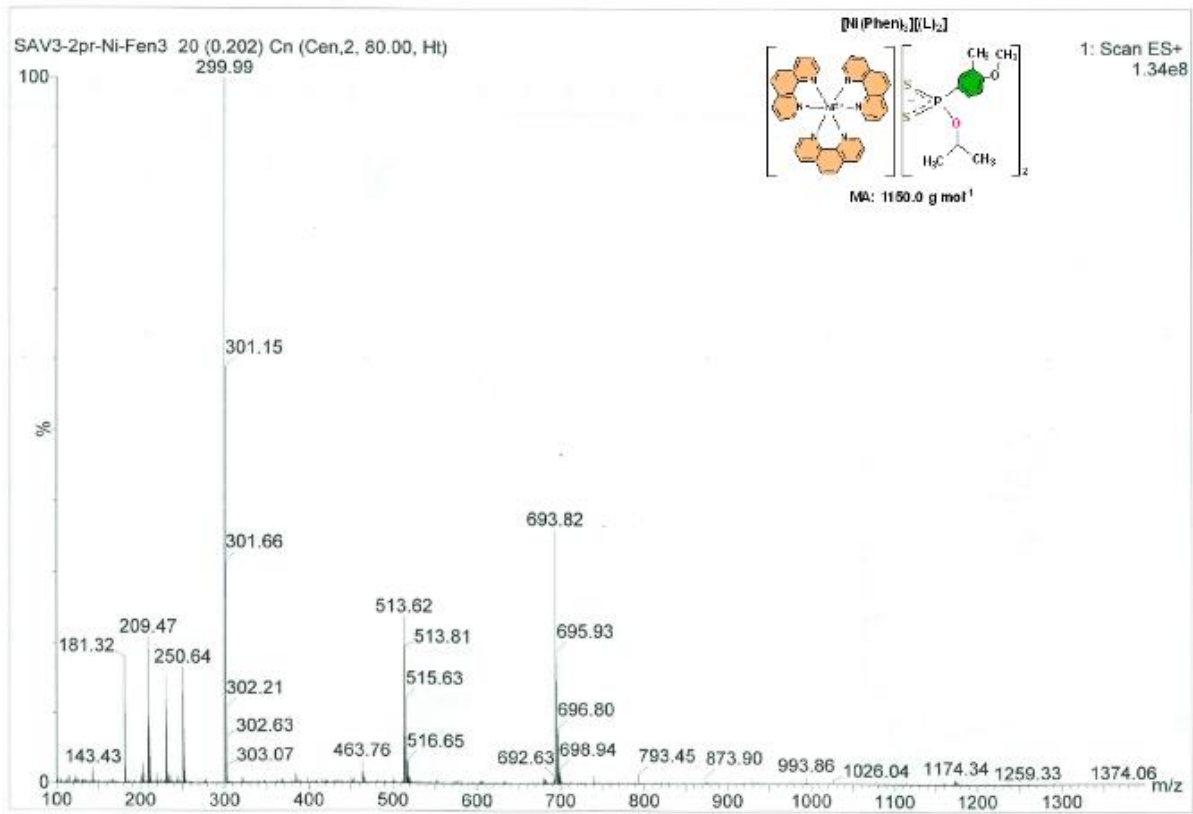
iyon piki ve temel pik, kompleksin öngörülen yapısını desteklemektedir. Ayrıca deneysel olarak bulunan manyetik alınganlık değerinin ( $d^8$  elektron konfigürasyonu için  $\mu_{\text{eff}}^{\text{deneysel}} = 2.53 \text{ BM}$ ) bu tür yapılarda beklenen teorik değere yakın olduğu görülmüştür ( $d^8$  elektron konfigürasyonu için  $\mu_{\text{eff}}^{\text{teorik}} = 2.83 \text{ BM}$ ).



Şekil 4.  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$  kompleksine ait IR spektrumu ( $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$ ).



Şekil 5.  $[\text{Ni}(\text{Phen})_3][\text{L}_2]$  kompleksine ait IR spektrumu ( $400\text{-}200 \text{ cm}^{-1}$ ).



Şekil 6. [Ni(Phen)<sub>3</sub>][L<sub>2</sub>] kompleksine ait MS spektrumu.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

**Yazar Katkıları:** Ayşe Zeynep Varlı: Araştırma, Sentezleme, Doğrulama, Yazma, Finansman sağlama. Elif Bulat, Kavramsallaştırma, Görselleştirme, Hazırlık, Metodoloji, Biçimsel Analiz, Araştırma, Yazma-Orijinal. Ertuğrul Gazi Sağlam, Kavramsallaştırma, Doğrulama, Hazırlık, Biçimsel analiz, Araştırma, Kaynaklar, Denetleme, Yazma-Orijinal, Yazma-İnceleme ve Düzenleme, Görselleştirme, Finansman sağlama.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

**Finansal Destek:** Yazarlar bu çalışmaya "Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı" kapsamında finansal destekte bulunan, "TÜBİTAK 2209-A" projesine teşekkür ederler.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Ayşe Zeynep Varlı, Investigation, Synthesizing, Verification, Writing-Original, Funding. Elif Bulat, Conceptualization, Visualization, Preparation, Methodology, Formal Analysis, Investigation, Writing-Original. Ertuğrul Gazi Sağlam, Conceptualization, Verification, Preparation, Formal analysis, Investigation, Sources, Auditing, Writing-Original, Writing-Review and Editing, Visualization, Funding.

**Conflict of Interest:** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Financial Disclosure:** The authors would like to thank the "TUBITAK 2209-A" project, which provided financial support for this study within the scope of the "University Students Research Projects Support Program".

## Kaynaklar

1. Van-Zyl WE, Fackler JP. A General and Convenient Route to Dithiophosphonate Salt Derivatives. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.* 2000; 167: 117-132.
2. Ziyatdinova GK, Budnikov GK, Samigullin AL, et al. Electrochemical determination of synthetic antioxidants of bisdithiophosphonic acids. *J Anal Chem.* 2010; 65: 1273-1279.
3. Mc.Cleverty JA, Rick SZ, Kowalski N, et al. Aspects of the inorganic chemistry of rubber vulcanisation. Part 4. Dialkyl- and diaryl-dithiophosphate and -dithiophosphinate complexes of zinc: phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectral studies and structures of [NMe<sub>4</sub>][Zn{S<sub>2</sub>P(OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Me-p)<sub>2</sub>}<sub>3</sub>] and [NEt<sub>4</sub>][Zn(S<sub>2</sub>PPh<sub>2</sub>)<sub>3</sub>]. *J Chem Soc Dalton Trans.* 1983; 4: 627-634.
4. Kabra V, Mitharwal S, Singh S. Synthesis and Insecticidal Activity of Novel Dithiophosphonates. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.* 2009; 184(9): 2431-2442.
5. Banaei A, Saadat A, McArdle P, et al. Crystal structure, antibacterial activity and nanoparticles of Cd(II) complex derived from dithiophosphonate ligand. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.* 2018; 193(6): 369-367.
6. Xihong H, Guoxin T, Jing C, et al. Characterization of

- the extracted complexes of trivalent lanthanides with purified cyanex 301 in comparison with trivalent actinide complexes. *J Chem Soc Dalton Trans.* 2014; 43: 17352-17357.
7. Haiduc I, Sowerby DB. Stereochemical aspects of phosphor-1,1-dithiolato metal complexes (dithiophosphates, dithiophosphinates): Coordination patterns, molecular structures and supramolecular associations-I. *Polyhedron.* 1995: 14; 3389-3472.
  8. Haiduc I. Thiophosphorus and related ligands in coordination, organometallic and supramolecular chemistry. A personal account. *J Organomet Chem.* 2001: 623(1-2); 29-42.
  9. Sağlam EG, Ebinç A. Syntheses and Spectroscopic Characterization on New [O-3-phenyl-1-propyl-(4-methoxyphenyl) dithiophosphonato] Ni(II), Cd(II) and Hg(II) Complexes. *J Turkish Chem Soc A.* 2018: 5 (3); 1239-1248.
  10. Karakus M, Lönnecke P, Hildebrand M, et al. Chiral Heterobimetallic Gold(I) Ferrocenyl dithiophosphonato Complexes. *Z Anorg Allg Chem.* 2011: 637(7-8); 983-987.
  11. Sağlam EG, Akkoç S, Acar N, et al. New heterobimetallic ferrocenyl dithiophosphonato Cd(II) and Hg(II) Complexes: DNA Interactions, Antimicrobial and Anticancer Activity Studies of the Cd(II) Complexes. *ChemistrySelect.* 2021: 6(44); 12496.
  12. Sağlam EG, Bulat E, Zeyrek CT, et al. 2,4- Bis (2,4-dimethoxyphenyl)-1,3-dithia-2,4-diphosphetane 2,4-disulfide and its derivatives: Syntheses, structural characterizations, anticancer activities, and theoretical studies on some dithiophosphonato Ni(II) complex. *J Mol Struct.* 2023: 1272; 134197.
  13. Sağlam EG, Akkoç S, Zeyrek CT, et al. New heterobimetallic nickel(II) ferrocenyl dithiophosphonato complexes: Syntheses, characterization, antiproliferative activity and X-ray, DFT, molecular docking studies on trans-bis-[O-3-methyl-1-butyl-(ferrocenyl) dithiophosphonato] nickel(II). *Inorg Chim Acta.* 2021: 514; 119991.
  14. Kokina TE, Glinskaya LA, Sankova EA, et al. Crystal and molecular structure and properties of [Ni(4-NH<sub>2</sub>Py)<sub>2</sub>(iso-Bu<sub>2</sub>PS<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] and [Co(4-NH<sub>2</sub>Py)(iso-Bu<sub>2</sub>PS<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]. *J Struct Chem.* 2005: 46; 1031-1038.
  15. Aragoni MC, Arca M, Champness NR, et al. Designed Assembly of Low-dimensional Molecular Units: Novel Neutral Coordination Polymers Based on (Phosphonodithioato)Ni(II) Complexes. *Eur J Inorg Chem.* 2004: 2004(10); 2008-2012.
  16. Klevtsova RF, Glinskaya LA, Kokina TE, et al. Crystal Structures of [Ni(Phen)(i-Bu<sub>2</sub>PS<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] and [Ni(Phen)<sub>3</sub>(i-Bu<sub>2</sub>PS<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] Complexes and Interaction between Coordinated 1,10-Phenanthroline Molecules. *J Struct Chem.* 2003: 44; 256-267.
  17. Karakus M, Yilmaz H. Synthesis and characterization of Ni(II), Zn(II), and Cd(II) complexes with dithiophosphonate derivatives. *Russ J Coord Chem.* 2006: 32(6); 437-443.
  18. Chakravarty M, Pailloux S, Ouizem S, et al. Synthesis and metal coordination chemistry of (phenyl)(pyridin-2-ylmethyl)phosphinodithioic acid, [2-C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>N]CH<sub>2</sub>P(S)(SH)(Ph). *Polyhedron.* 2012: 33; 327-335.
  19. Batsanov AS, Bilton C, Deng RMK, et al. Saccharinate-metal complexes with 1,10-phenanthroline (phen) or 2,2'-bipyridine (bipy) as co-ligands; the synthesis, crystal and molecular structures of five new compounds of divalent metals. *Inorg Chim Acta.* 2011: 365; 225-231.
  20. Sağlam EG, Bulat E, Yilmaz H, The Syntheses and Characterization of New Dithiophosphonates derived from Novel 2,4-Bis(methoxytolyl)-1,3-dithia-2,4-diphosphetane 2,4-disulfides and Their Ni(II) Complexes. *JOTCSA.* 2020: 7; 789-800.
  21. Sağlam EG, Akkoç S, Zorlu Y, et al. New phenanthroline nickel(II) organodithio-phosphorus complexes: Syntheses, structural characterizations and in vitro cytotoxic activity studies. *Polyhedron.* 2020: 199; 115097.