

Yeni Bor İçerikli Aromatik Ditiyofosfonato Nikel(II) Kompleksi: Sentez ve Yapı Aydınlatılması

New Boron-containing Aromatic Dithiophosphonato Nickel(II) Complex: Synthesis and Structure Elucidation

Elif BULAT¹

İrem ALDEMİR¹

Ertuğrul Gazi SAĞLAM¹



¹Marmara Üniversitesi, Fen Fakültesi,
Kimya Bölümü, İstanbul, Türkiye



Öz

Bilinen bir *trans*-[*O*-1-fenil-1-propil-(4-metoksifenil)ditiyofosfonato] nikel(II) dört koordinasyonlu kompleksinin difenilfosfino etanla (dppe), kovalent yapıdaki kompleksi sentezlendi ([dppe)Ni(L)]). [dppe)Ni(L)] ara ürününden, tetrafenilborat anyonuyla iyonik yapıda, yeni bor içerikli aromatik ditiyofosfonato Ni(II) kompleksi elde edildi ([dppe)Ni(L)]⁺[BPh₄]⁻). Yeni kompleksin yapısı element analizi, FTIR ve ³¹P NMR analiz yöntemleriyle açıklandı.

Anahtar Kelimeler: Ditiyofosfonik asitler, Fosfonoditiyoato Ni(II) kompleksleri, Bor Kompleksleri, Fosfin Ligandları

ABSTRACT

Trans-[*O*-1-phenyl-1-propyl-(4-methoxyphenyl)dithiophosphonato] nickel(II) four-coordination complex which is known previously with diphenylphosphino ethane (dppe) was synthesised ([dppe)Ni(L)], covalent structure). A new boron-containing aromatic dithiophosphonato Ni(II) complex of the [dppe)Ni(L)] intermediate product with tetraphenylborate anion was obtained ([dppe)Ni(L)]⁺[BPh₄]⁻) as ionic form. The structure of the new complex was elucidated by elemental analysis, FTIR and ³¹P NMR analysis methods.

Keyword: Dithiophosphonic acids, Phosphonodithioato Ni(II) complexes, Boron Complexes, Phosphine Ligands

Geliş Tarihi/Received 26.03.2026
Kabul Tarihi/Accepted 06.05.2026
Yayın Tarihi/Publication 14.06.2026
Date

Sorumlu Yazar/Corresponding author:
Ertuğrul Gazi SAĞLAM

E-mail: saglameg@gmail.com

Cite this article: Bulat E, Aldemir İ, Sağlam EG. New Boron-containing Aromatic Dithiophosphonato Nickel(II) Complex: Synthesis and Structure Elucidation. *J Ata-Chem.* 2026;6(1):21-27

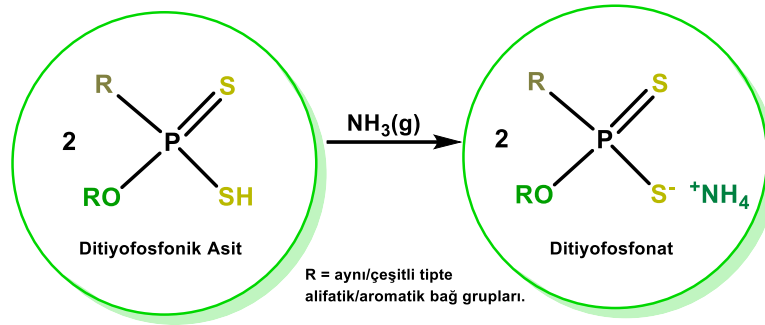
GİRİŞ

Tiyofosfor bileşikleri endüstriyel süreçlerde katkı maddesi olarak yaygın kullanım alanlarının keşfedilmesiyle 1940'larda başlayan araştırmalar^{1,2} günümüzde de halen devam etmektedir.^{3,4} Son 60 yıldır endüstride petrol rafineri sürecinde ele geçen ürünlere,^{5,6} yağlayıcı kimyasallara (antioksidan);⁷ tarımda pestisit türevlerine^{8,9} katkı maddesi olarak katılmaktadır. Ayrıca madencilikte metal karışımlarının ve Nükleer Kimya endüstrisinde lantanit/aktinit metallerinin özütlenerek birbirinden ayrılmasında kullanılmaktadır.¹⁰

Tiyofosfor bileşiklerinden, özellikle ditiyofosfonato [S₂PR(OR)] türündeki Organo-ditiyofosfor ligandlarına yönelik, geçiş metallerinin kompleks sentezine ilişkin akademik çalışmalar önemli ölçüde artmıştır. Ditiyofosfonik asitleri (DTPOA); yöntem olarak Lawesson Reaktifi gibi bir pertiyofosfonik asit anhidritinin alkol gibi bir nükleofilden doğrudan elde edilir. Ele geçen ham DTPOA'nın tuzlarına (ligandlarına) dönüştürülmesi kolaylığı ve geçiş metalleriyle kararlı yapıda kompleks verme özelliği sebebiyle araştırmaların ilgi odağı olmuştur (Şekil 1).



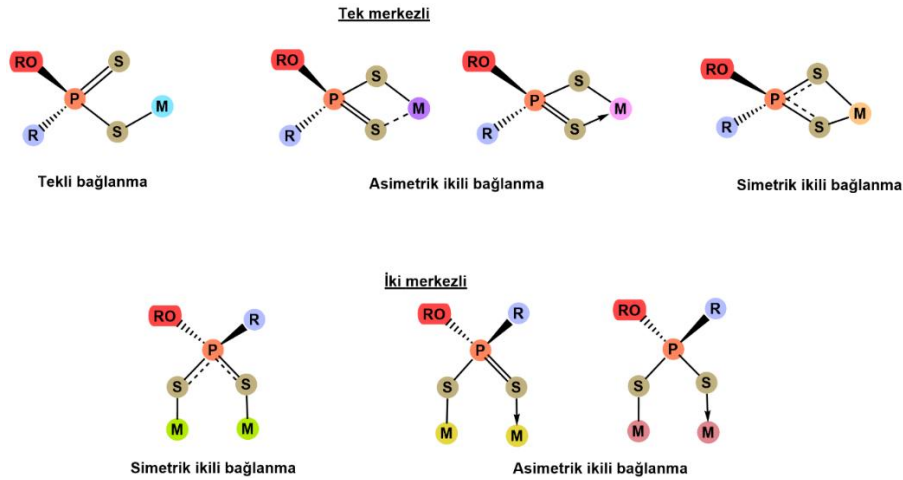
Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.



Şekil 1. Ditiyofosfonik Asit ve Ditiyofosfonat Ligandı.

Sentezlenen DTPOA komplekslerinin çoğunun bilinen organik çözücülerde çözünmesi, yapılarının aydınlatılmasında pratiklik sağlamaktadır. DTPOA'ler, yapılarındaki kükürt atomlarının şelat ligandı özelliği göstermesi, periyodik sistemdeki hemen hemen tüm metallerle çeşitli yapılarda koordinasyon bileşikleri oluşturmalarına neden olur.¹¹⁻¹³ DTPOA'nin anyonu olan ditiyofosfonat ligandları, yumuşak tür Lewis bazı özelliği

taşımasıyla birlikte, ligandların koordinatif bir bağla bağlandıkları Lewis asidinin (metal iyonunun) iyonik potansiyel özelliğine göre, yumuşak veya sert baz uyumluluğu gösterebilmektedir. Şekil 2'de belirtilen koordinatif bağlanma türlerinde metal atomu ditiyofosfonat anyonuna kükürt atomlarıyla; tek metal merkezli (monomerik) veya çift metal merkezli ikili (dimerik) bağlanabilmektedir.



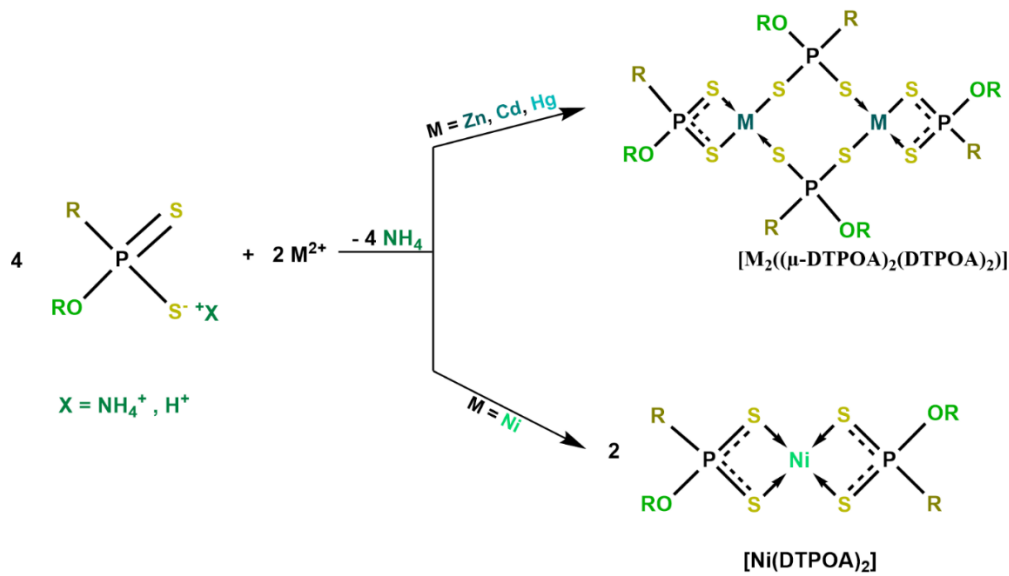
Şekil 2. Metal ditiyofosfonat komplekslerinin tekli ve ikili bağlanma türleri.

Dimerik yapıdaki komplekslerinde, elektron verici kükürt atomları; metalle simetrik veya asimetrik türde bağlanabilmektedir. Fosfor-kükürt tipi ligandlarında, üç merkezli üçlü bağlanma ve dört merkezli dörtlü bağlanmalar da mevcuttur.¹⁴

DTPOA koordinasyon bileşiklerinin yapıları geçiş metallerine göre değişkenlik gösterir, şöyle ki: Ni(II)-DTPOA kompleksleri tek metal merkezlidir. Liganddaki kükürt atomları; merkezdeki nikel çift dişli, şelat şeklinde bağlanır. Grup 12 geçiş metalleri yani çinko, kadmiyum ve civa metali DTPOA komplekslerinde ise Koordinasyon bileşiği çift metal merkezlidir. Burada kompleksin yapısında bulunan iki metal atomundan birisi ligandın iki kükürt atomundan doğrudan bağlanırken, diğer metal

atomu ise liganda iki kükürt atomuna köprülü olarak bağlanır. Böyle bir yapı; iki metal atomu, dört fosfor atomu ve sekiz kükürt atomundan oluşan sekiz üyeli bir halkadan meydana gelir.

Metal-DTPOA kompleksleri genellikle, DTPOA ligandlarının bir metal tuzuyla alkol çözeltisindeki reaksiyonundan ele geçer (Şekil 3). Başka bir sentez metodu ise ditiyadifosfetanın, alkol ve metal tuzu karışımının apolar bir çözücü içerisinde doğrudan reaksiyonu ile elde edilir.¹⁵

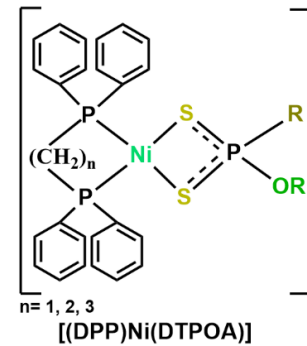


Şekil 3. M(II)-DTPOA komplekslerinin sentez reaksiyonu (R= Aynı veya farklı türdeki alkil veya aril grupları).

koordinasyon bileşikler literatürde neredeyse yok denecek kadar azdır.

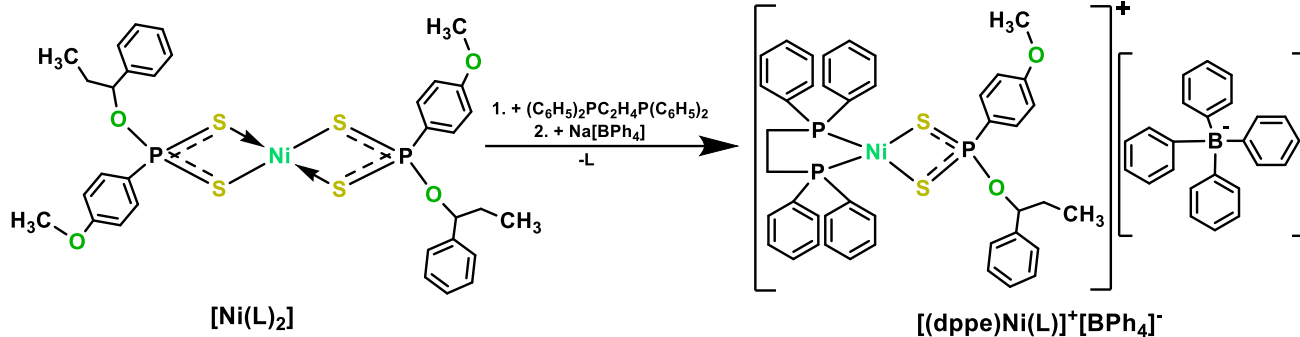
Dörtlü koordinasyondaki $[\text{Ni}(\text{DTPOA})_2]$ kompleksleri kare düzlem yapıda iken;¹⁶ Grup 12 metallerinin DTPOA komplekslerinde, merkezdeki metal atomu dört kükürt atomuna tetrahedral yapıda koordine olur.¹⁷ $[\text{Ni}(\text{DTPOA})_2]$ kompleksleri, koordinasyon sayısını, azot içerikli Lewis bazlarıyla beş veya altı koordinasyona yükseltebilir. Bu tür kompleksler nötr ve paramanyetik komplekslerdir.¹⁸⁻²¹ Ayrıca, karedüzlem yapıdaki $[\text{Ni}(\text{DTPOA})_2]$ kompleksleri fenantrolin gibi çift dişli liganlarla belirli mol oranlarında (Ni(II)-DTPOA/ligand=1/3) koordinasyonunu altıya tamamlayarak kavuniçi renkli iyonik tuz yapısında kompleksler oluşturabilir. Bu durumda dört koordinasyonlu $[\text{Ni}(\text{DTPOA})_2]$ kompleksleri diamanyetik özelliğe gösterirken, altı koordinasyonlu iyonik yapıli kompleksler paramanyetik özellik gösterir.²²⁻²⁴ Organo-ditiyofosfor bileşiklerine ait bir diğer iyonik komplekslere borat anyonu içeren ditiyofosfonik asit nikel kompleksleri örnek verilebilir.²⁵ Kare düzlem $[\text{Ni}(\text{DTPOA})_2]$ kompleksindeki bir ligand (DTPOA anyonu), aromatik difosfin (DPP) Lewis bazıyla yer değiştirerek, merkez atomuna iki fosfor atomu üzerinden bağlanır (Şekil 4). Bu durumda nikel iyonu, iki DTPOA ligandından gelen iki kükürt atomuyla ve difosfinden gelen iki fosfor atomuyla dörtlü koordinasyon oluşturur ($[(\text{DPP})\text{Ni}(\text{DTPOA})]$).

Kovalent yapıdaki ara ürün $[(\text{DPP})\text{Ni}(\text{DTPOA})]$ koordinasyon bileşiğinin bor içerikli anyonlarla (genellikle tetrafenilborat anyonu, $[\text{BPh}_4]^-$) reaksiyonundan, bor içerikli dört koordinasyonlu iyonik DTPOA kompleksleri oluşturur. Bor içerikli dört koordinasyonlu iyonik DTPOA



Şekil 4. Kovalent $[(\text{DPP})\text{Ni}(\text{DTPOA})]$ kompleksi.

Bu araştırmada, önceden bilinen bir O-1-fenil-1-propil-(4-metoksifenil)ditiyofosfonatoNi(II) kompleksinin ($[\text{Ni}(\text{L})_2]$; $\text{L} = \text{O-1-fenil-1-propil-(4-metoksifenil)ditiyofosfonato}$)difenilfosfino etanla (dppe) reaksiyonundan kovalent yapıdaki yeni ara ürünü $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]$ sentezlendi. Bir sonraki aşamada $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]$ ara ürünün $\text{Na}[\text{BPh}_4]$ ile reaksiyonundan $[\text{bis}-(\text{difenilfosfino})(\text{O-1-fenil-1-propil-(4-metoksifenil)ditiyofosfonatoNi(II)})[\text{tetrafenilborat}][(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]^+[\text{BPh}_4]^-$ iyonik bor içerikli kompleksi sentezlendi (Şekil 5).



Şekil 5. Yeni tetrafenil borat içerikli $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]^+[\text{BPh}_4]^-$ kompleksinin sentezi.

¹] $[319.23 \text{ g mol}^{-1}]$: C, 63.49; H, 5.33 S, 8.07; Deneysel: C, 63.53; H, 5.34; S, 8.11%.

YÖNTEM

Kimyasallar ve Cihazlar

Lawesson reaktifi, 1-fenil-1-propanol, metanol, bis(difenilfosfino)etan, sodyum tetrafenilborat ve metanol Merck firmasından temin edildi. $[\text{Ni}(\text{L})_2]$ kompleksi literatürdeki yöntemle sentezlendi.²⁶

Bileşiklerin erime noktası (EN) Electrothermal 9200 cihazında; element analizi LECO 932 CHNS-O Elementel Analiz cihazında, IR ölçümü Perkin Elmer marka Spectrum Two FT-IR model ATR modüllü cihazında ($4000\text{-}200 \text{ cm}^{-1}$), Raman analizi Renishaw Invia Raman Mikroskobunda alındı. ³¹P-NMR spektrumu Varian Mercury (Agilent) 400 MHz marka cihazında ölçüldü.

Bis-(difenilfosfino) etan [O-1-fenil-1-propil (4-metoksifenil)ditiyofosfonato] Ni(II) tetrafenilborat Kompleksinin Sentez Yöntemi, $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]^+[\text{BPh}_4]^-$: $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]$ ara ürünü ve $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]^+[\text{BPh}_4]^-$ kompleksleri literatürdeki sentez yöntemine göre elde edildi.²⁵

$\text{Ni}(\text{L})_2$ (0,5 g, 1 mmol) ve dppe (0,27 g, 1 mmol) karışımı metanol (25 ml) içinde 2-3 dakika $\sim 50^\circ\text{C}$ 'de ısıtılarak kırmızı-turuncu renkli bir çözelti elde edildi. Çözeltideki safsızlık ve çözünmeyen maddeler uzaklaştırılmak için süzüldü. Ara ürün $[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]$ içeren süzüntüye $\text{Na}[\text{BPh}_4]$ (0,23 g, 1 mmol) eklenerek turuncu renkli bir çökelti elde edildi. Çökeltiye su (3 ml) ilave edilerek ürün süzüldü. Soğuk suyla (5 ml) yeniden yıkandı ve vakumda kurutuldu.

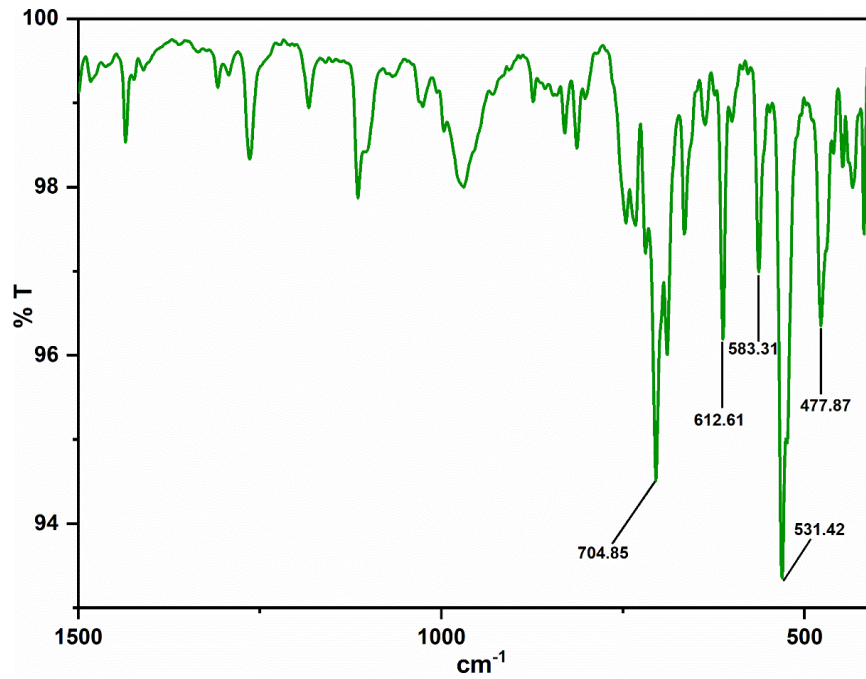
$[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]^+[\text{BPh}_4]^-$: Verim: 0,59 g (%77). Turuncu. EN: 128°C . Teorik: $[\text{C}_{42}\text{H}_{42}\text{NiO}_2\text{P}_3\text{S}_2]^+[\text{C}_{24}\text{H}_{20}\text{B}]^-$ ($[794.53 \text{ g.mol}^{-1}]$)

TARTIŞMA

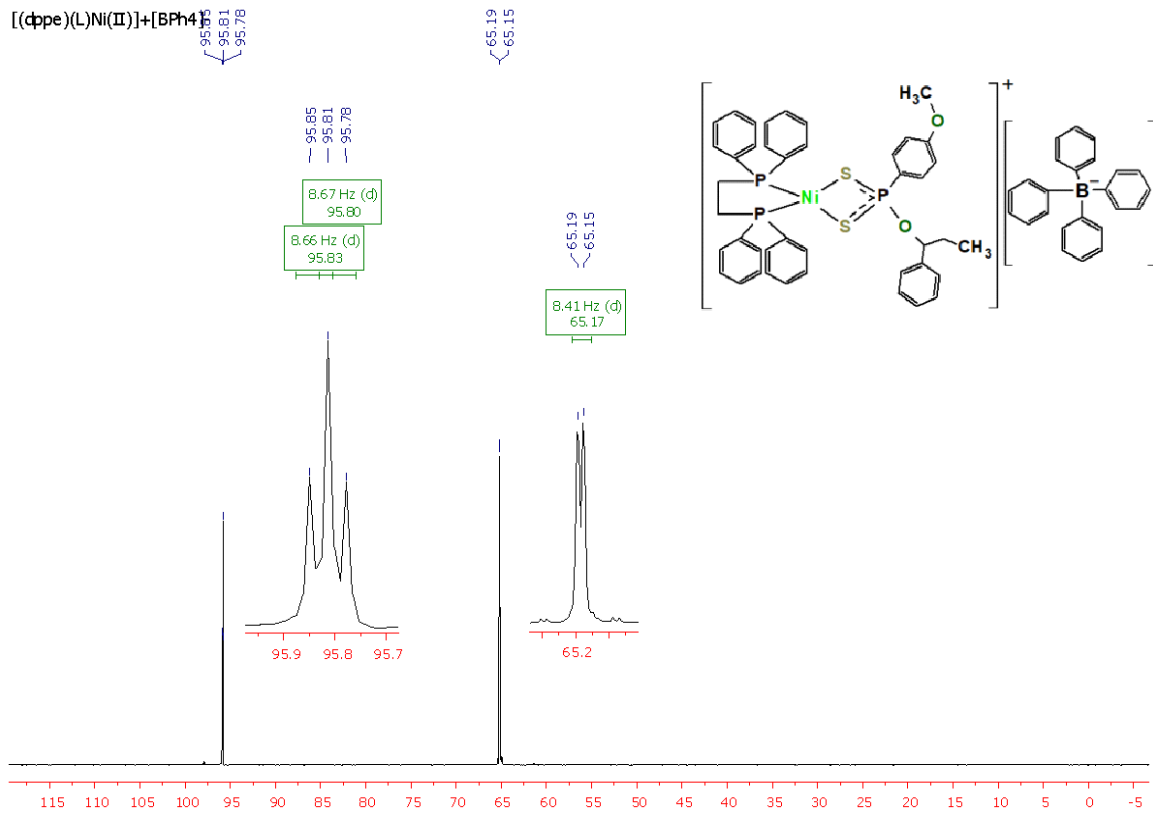
FT-IR spektrumunda; Organo-ditiyofosfor bileşiklerinde karakteristik nikel-PS simetrik ($\nu(\text{PS})_{\text{sym}}$) ve asimetrik ($\nu(\text{PS})_{\text{asym}}$) gerilme titreşim bandlarına ait pikleri, 477 cm^{-1} , 531 cm^{-1} , 583 cm^{-1} ve 612 cm^{-1} , 704 cm^{-1} atfedebiliriz (Şekil 6). Bu değerler literatürlerdeki benzer yapılarla uyum içerisindedir.²⁵⁻²⁹

$[(\text{dppe})\text{Ni}(\text{L})]^+[\text{BPh}_4]^-$ kompleksinin ³¹P-NMR spektrumunda liganda ait fosfor ve dppe'ye ait fosfor pikleri spektrumda ayrı ayrı yerlerde rezonans olduğu görülmektedir (Şekil 7). Liganddaki ditiyofosfonat fosforu, difenilfosfino etan fosforlarından biri tarafından üç bağ öteden önce ikiye ($^3J_{\text{PP}} = 8.66 \text{ Hz}$, $\delta = 95.83 \text{ ppm}$); daha sonra ikiye yarılan her bir pik tekrar ikiye yarılmıştır ($^3J_{\text{PP}} = 8.67 \text{ Hz}$, $\delta = 95.80 \text{ ppm}$). İkisinin ikilisi şeklinde görülmesi gereken piklerin üst üste örtüşmesi sonucunda spektrumda üçlü pik olarak çıkmıştır.

Difenilfosfino etandaki iki fosfor atomunda ligandın fosforu tarafından üç bağ öteden $^3J_{\text{PP}} = 8.41 \text{ Hz}$ eşleşme sabitiyle $\delta = 65.17 \text{ ppm}$ 'de rezonans olmuştur. Ligandın fosforu, difenilfosfino etanın fosforlarına ait eşleşme sabitlerinin birbirine çok yakın olması önerilen yapıyı doğrulamaktadır. Ayrıca difenilfosfino etan fosforlarına ait spektrumdaki ligand fosforları tarafından yarılan ikili pik; bu iki fosfor atomunun kimyasal çevre bakımından eşdeğer olduğunu göstermektedir. Bu değerler literatürdeki benzer yapılarla uyum içerisindedir.^{26,30-32}



Şekil 6. [(dppe)Ni(L)]⁺[BPh₄]⁻ kompleksine ait IR spektrumu.



Şekil 7. [(dppe)Ni(L)]⁺[BPh₄]⁻ bileşiğine ait ³¹P NMR spektrumu.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma için etik kurul onayı gerekmemektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Elif Bulat, Kavramsallaştırma, Görselleştirme, Hazırlık, Metodoloji, Biçimsel Analiz, Araştırma, Yazma-Orijinal. İrem Aldemir: Araştırma, Sentezleme, Doğrulama, Yazma, Finansman sağlama. 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: Bu çalışma "Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı" kapsamında bulunan, "TÜBİTAK 2209-A" projesi tarafından desteklenmiştir.

Yapay Zeka Kullanımı: Bu çalışmada yapay zeka kullanılmamıştır.

Ethics Committee Approval: Ethics committee approval is not required for this study.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Elif Bulat, Conceptualization, Visualization, Preparation, Methodology, Formal Analysis, Investigation, WritingOriginal. İrem Aldemir: Investigation, Synthesizing, Verification, WritingOriginal, Funding. Ertuğrul Gazi Sağlam, Conceptualization, Verification, Preparation, Formal analysis, Investigation, Sources, Auditing, WritingOriginal, Writing-Review and Editing, Visualization, Funding.

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

Financial Disclosure: This study was supported by the "TÜBİTAK 2209-A" project, which falls under the "University Students Research Projects Support Program".

Use of Artificial Intelligence: No artificial intelligence was used in this study.

Kaynaklar

1. Beckmann H, Ohms G, Großmann G, Krüger K, Klostermann K, Kaiser V. Synthesis, crystal structure, and NMR spectroscopy of a 1,3,2λ5,4λ5-oxathiadiphosphetane. *Heteroatom Chem.* 1996;7:111-118.
2. Loane CM, Gaynor JW. Lubricant. *US Patent* 2316078A; 1943.
3. Bhatiya S, Chauhan HPS, Carpenter N. Preparation, spectroscopic, thermal and powder X-ray diffraction characterization, and antimicrobial activities of mixed bis(O,O'-diisopropyldithiophosphato-S,S')antimony(III) derivatives with some oxygen and sulfur donor ligands. *Appl Organomet Chem.* 2018;32:e4026.
4. Yang X, Xu L, Zhang A, Xiao C. Organophosphorus extractants: A critical choice for actinides/lanthanides separation in nuclear fuel cycle. *Chem Eur J.* 2023;29(33):e202300456.
5. Barnes AM, Bartle KD, Thibon VRA. A review of zinc dialkyldithiophosphates (ZDDPs): Characterisation and role in the lubricating oil. *Tribol Int.* 2001;34(6):389-395.
6. Nicholls MA, Do T, Norton PR, Kasrai M, Bancroft GM. Review of the lubrication of metallic surfaces by zinc dialkyl-dithiophosphates. *Tribol Int.* 2005;38(1):15-39.
7. Spikes HA. Low- and zero-sulphated ash, phosphorus and sulphur anti-wear additives for engine oils. *Lubr Sci.* 2008;20(2):103-136.
8. Patnaik P. *A Comprehensive Guide to Hazardous Properties of Chemical Substances*. 3rd ed. John Wiley & Sons; 2007.
9. Gaines TB. Acute toxicity of pesticides. *Toxicol Appl Pharmacol.* 1969;14(3):515-534.
10. Bromberg L, Lewin I, Warshawsky A. Membrane extraction of mercury(II) and silver(I) by bis(di(2-ethylhexyloxy)thiophosphoryl) disulfide. *Hydrometallurgy.* 1993;33(1-2):59-71.
11. Van Zyl WE, Woollins JD. The coordination chemistry of dithiophosphonates: An emerging and versatile ligand class. *Coord Chem Rev.* 2013;257(3-4):718-731.
12. Sağlam EG, Bulat E, Saçmacı M, Yıldız S. Çift metal merkezli fosfor 1,1-ditiyolat Cd(II) komplekslerinin sentez ve yapılarının aydınlatılması. *Düzce Üniv Bilim Teknol Derg.* 2023;11:759-774.
13. Sağlam EG, Bulat E, Acar N, Demirel İ. New homodinuclear alkyl- and aryl-dithiophosphonato Cd(II) and Hg(II) complexes: Syntheses and characterizations. *J Turk Chem Soc A.* 2019;7:49-64.
14. Haiduc I, Sowerby DB, Lu SF. Stereochemical aspects of phosphor-1,1-dithiolato metal complexes. *Polyhedron.* 1995;14(23-24):3389-3472.
15. Liu HL, Mao HY, Xu C, et al. Four novel sulfur-rich complexes: Syntheses and crystal structures. *Polyhedron.* 2004;23(10):1799-1804.
16. Gray IP, Milton HL, Slawin AMZ, Woollins JD. Synthesis and structure of [Fc(RO)PS₂]- complexes. *Dalton Trans.* 2003;(17):3450-3457.

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. Aragoni MC, Arca M, Demartin F, et al. Reactivity of phosphonodithioato Ni(II) complexes. *Dalton Trans*. 2001;(18):2671-2677.
19. Chakravarty M, Pailloux S, Ouizem S, et al. Synthesis and metal coordination chemistry of phosphinodithioic acid derivatives. *Polyhedron*. 2012;33(1):327-335.
20. Aragoni MC, Arca M, Crespo M, et al. Investigation on the reactivity of dithiophosphonato/dithiophosphato Ni(II) complexes towards 2,4,6-tris-2-pyridyl-1,3,5-triazine: developments and new perspectives. *Dalton Trans*. 2009:2510-2520.
21. Aragoni MC, Arca M, Crespo M, et al. Predictable and unpredictable reactions between dipyridyldisulfide and Ni(II) complexes. *CrystEngComm*. 2007;9:873-878.
22. Zhang C, Feng L, Chen Z. Synthesis and photophysical processes of phenanthroline-containing chromophores. *Spectrochim Acta A*. 2007;66(4-5):1204-1207.
23. Butcher RJ, Sinn E. Synthesis and relation between magnetic and structural properties of nickel(II) complexes. *Inorg Chem*. 1977;16:2334-2343.
24. Sağlam EG, Akkoç S, Zorlu Y, Bulat E, Akgün A. New phenanthroline nickel(II) organodithiophosphorus complexes. *Polyhedron*. 2020;199:115097.
25. Duffy ST, Nicholson BK, Henderson W. Di-isobutyldithiophosphinate complexes of nickel(II), palladium(II) and platinum(II). *J Sulfur Chem*. 2011;32(5):443-450.
26. Sağlam EG, Bulat E, Zeyrek CT, Dal H, Hökelek T. Structural studies on square planar dithiophosphonato Ni(II) complexes. *J Mol Struct*. 2019;1178:112-125.
27. Sağlam EG, Ebinç A, Zeyrek CT, Ünver H, Hökelek T. Structural studies on dithiophosphonato complexes and DFT studies. *J Mol Struct*. 2015;1099:490-501.
28. Nizamov I, Yakimov VYu, Nizamov I, et al. Lawesson's reagent in the synthesis of a malic ester of dithiophosphonate salts with antifungal activity. *J Sulfur Chem*. 2025;46(1):1-13.
29. Nizamov I, Yakimov VYu, Nizamov I, et al. Racemic 2-butanol, 2-ethylhexanol and malic ester in the synthesis of ammonium and hexadecylammonium dithiophosphonates with antimicrobial and cytotoxic activity. *J Sulfur Chem*. 2025:1-19.
30. Süzen DY, Bulat E, Taşcı N, et al. Syntheses, structural characterization, photophysical properties and anticancer evaluation of novel dithiophosphonic acid derivatives and their Ni(II) complexes. *J Mol Struct*. 2026;1365:145945.
31. Bulat E, Taşcı N, Sağlam EG. O-methyl-(2,4-dimethoxyphenyl) dithiophosphonate ligand and the Ni(II) complex thereof: Synthesis, structural characterization, X-ray crystallography, theoretical calculations and photophysical properties. *J Mol Struct*. 2026;1357:145220.
32. Sağlam EG, Bulat E, Yılmaz 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. *J Turk Chem Soc A*. 2020;7:789-800.