



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Hegzagonal bor nitrürün floresans özelliği

Fluorescence properties of hexagonal boron nitride

Yazar(lar) (Author(s)): Hatice Begüm MURATHAN'

ORCID': 0000-0002-0491-098X

To cite to this article: Murathan H. B., “Hegzagonal Bor Nitrürün Floresans Özelliği”, *Journal of Polytechnic*, 28(1): 229-233, (2025).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Murathan H. B., “Hegzagonal Bor Nitrürün Floresans Özelliği”, *Politeknik Dergisi*, 28(1): 229-233, (2025).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1298309

Hegzagonal Bor Nitrürün Floresans Özelliği

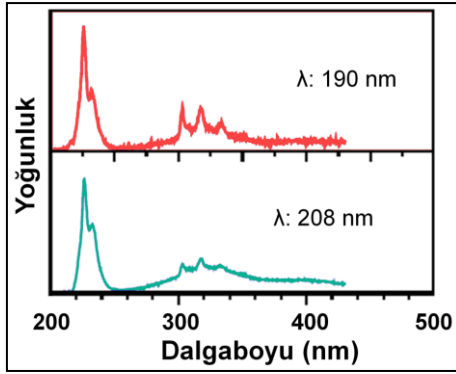
Fluorescence Properties of Hexagonal Boron Nitride

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ İleri bor uç ürünü; h-BN(advanced boron product; h-BN)
- ❖ Yarı-iletken özelliği(semi-conductive properties)
- ❖ Floresans özelliği(fluorescence properties)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışma, hegzagonal bor nitrürün (h-BN) UV-görünür, XRD, FTIR spektrumları ve SEM görüntüleri kullanılarak floresans özelliğini içermektedir. (This study contained fluorescence properties of hexagonal boron nitride (h-BN) by using UV-visible, XRD, FTIR, SEM.)



Şekil 3. h-BN'nin Floresans Spektrumu /Figure 3. Fluorescence spectrum of h-BN

Amaç (Aim)

Hegzagonal bor nitrürün karakterizasyon çalışmaları ile yarı-iletken ve lazer özelliğinin tespiti. / Determination of semiconductor and laser properties of hexagonal boron nitride by characterization studies.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

h-BN'nin UV-görünür, FTIR, SEM, XRD ve floresans spektrum analizlerini içermektedir. / It includes UV-visible, FTIR, SEM, XRD and fluorescence spectrum analyzes of h-BN.

Özgünlük (Originality)

Hegzagonal bor nitrürün floresans özelliğinin tespiti. / Detection of fluorescence of hexagonal boron nitride.

Bulgular (Findings)

Morfolojik özellikleri, mikroyapısı, yarı-iletken ve lazer özelliği tespiti için karakterizasyon çalışmaları bulunmaktadır. / There are characterization studies for the determination of morphological properties, microstructure, semiconductor and laser properties.

Sonuç (Conclusion)

h-BN ultraviyole lazer cihazlarında kullanımına uygundur. / It is suitable for use in h-BN ultraviolet laser devices.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Hegzagonal Bor Nitrürün Floresans Özelliği

Araştırma Makalesi / Research Article

Hatice Begüm MURATHAN^{1*}

¹Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 17.05.2023 ; Kabul/Accepted : 25.03.2024 ; Erken Görünüm/Early View :02.07.2024)

ÖZ

Bu çalışma, ileri bor uç ürünlerinden hegzagonal bor nitrürün (h-BN) ultraviyole-görünür (UV-visible), XRD, FTIR spektrumları ve SEM görüntüleri kullanılarak floresans özelliğini içermektedir. Karakterizasyon sonuçlarına göre h-BN'nin, yaprak deseni andıran bal peteği görünümündeki h-BN'nin tabakalı yapısı elde edildi. Deneysel çalışmada pelet haline getirilen bor nitrür, nem ve organik safsızlıkları uzaklaştırmak için 800 K'de 12h vakumlandıktan sonra optik absorpsiyon ve floresans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu ve h-BN'nin yarı-iletken özellik gösterdiği sonucuna varılmış ve elektrik-elektronik uygulamaların yanı sıra floresans özelliğinden kaynaklı fotokimyasal ve biyoteknolojik uygulamalarda da etkin bir şekilde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Floresans, hegzagonal bor nitrür (h-BN), yarı-iletken.

Fluorescence Properties of Hexagonal Boron Nitride

ABSTRACT

This study contained fluorescence properties of hexagonal boron nitride (h-BN) which is an advanced boron product by using ultra violet-visible (UV-visible), XRD, FTIR, SEM. According to characterization results, it was obtained sheet-like honeycomb layered structure of boron nitride. In the experimental study, optical absorption and fluorescence measurements were performed after the pelleted boron nitride was vacuumed at 800 K for 12 hours to remove moisture and organic impurities. It was concluded that the characterization results were concordant with the literature and h-BN showed semi-conductive properties and can be used effectively in electrical and electronic applications as well as photochemical and biotechnological applications due to its fluorescence properties.

Keywords: Fluorescence, hexagonal boron nitride (h-BN), semi-conductor.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yarı iletken maddeler normalde yalıtkan olup dış etkilere (ısı, ışık, manyetik etki ya da elektriksel gerilim vb.) maruz kaldıklarında, elektronlarının bir kısmını serbest hale geçirerek iletken hale gelirler. Dış etki ya da etkiler ortadan kaldırıldığında ise yalıtkan duruma geri dönerler. Bu sebeple yarı iletken malzemeler elektronik ürünlerin (diodlar, transistörler ve entegre devreler vb.) temel malzemesi olup bu alanda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Elektronik uygulamalarda, yarı iletkenlerden en çok kullanılanları, silisyum, germanyum, selenyum vb elementler veya bakır oksit, indiyum fosfor, galyum arsenik, kurşun ve sülfür gibi bileşikler yer almaktadır [1, 2].

Hegzagonal bor nitrür fiziki özellikleri ve kimyevi kararlılığı sebebiyle geniş optik enerji bandı aralığında olan grup III-IV bileşenidir. Her katmanda B ve N atomları arasında sp² bağlanan grafen/grafit benzeri petek kafesli katmanlı bir yapıya sahiptir. Karbonun izoelektronluğu olduğu için beyaz grafit olarak adlandırılır. h-BN, (BN)₃ halkalarından oluşan bir ağ içeren katmanlı bir yapıdan ibarettir. Grafit; metalik iletkenliğe sahipken, bor nitrür ise yalıtandır. Bunun nedeni, bor ve azot atomlarının katmanlar arası kovalent bağ serbest elektronların hareketini sınırlandırır. Aynı zamanda grafit (siyah) ve bor nitrürün (beyaz) farklı renklerini de açıklar. h-BN, kübik, turbostratik, rombohedral ve

würzitik kristal olmak üzere dört farklı yapıya sahiptir. Elektronik, optik elektronik ve koruyucu kaplamalarda geniş uygulama alanına sahip olan h-BN inorganik maddedir. Dielektrik sabitinin düşük olması ve elektrik direncinin yüksek olması nedeniyle yarı-iletken çalışmalarında tercih edilmektedir [3-6]. Ayrıca üstün termal kararlılık, yüksek termal iletkenlik, değiştirilmiş elastiklik, yüksek elektrik direnci için aranan özelliklerdir [7]. Yüksek termal kararlılığı nedeniyle de vakum teknolojisinde kullanılan önemli bir malzemedir [8], X-ışını litografi maskelerinde [9] ve aşınmaya dayanıklı bir yağlayıcı olarak kullanımı üzerinde çalışmalar bulunmaktadır [10].

Dünyadaki bor rezervlerinin en yüksek oranda (%72) ülkemizde yer aldığından bor içerikli malzemeler çeşitli alanlara yönelik çalışmaları yoğun olarak çalışılmaktadır. Yakın zamanda çalışılan borlu malzemeler ve alanlarına bakarsak, metal borürler (enerjitik madde olarak MgB₂ [11], metalurjik alanda yer alan manyetik özellik gösteren Fe_xB (x=1 veya 2) [12], dökme çeliğe yüksek oranda bor ilavesinin etkileri [13], B₄C/SiC katkılı alüminyum esaslı kompozitin balistik özellikleri [14]), floroboratlardan tekstil malzemeye alev geçirgenlik özelliğinin katılması [15], antibakteriyel özellik gösteren boya üretiminde yer alması [16] gibi geniş çaplı kullanımı mevcuttur. Yine bor uç ürünlerinden olan bor nitrür ise yüksek optielektronik

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : begummurathan@gazi.edu.tr

etkisinden dolayı mikro veya nano yapıda bu malzemelerin sentezi [17] ve termal nötron emiliminde kullanımı [18] gibi pek çok alanda araştırmalar yer almaktadır. Bu çalışma, ileri bor uç ürünü hekzagonal bor nitrürün karakterizasyon çalışmaları ile morfolojik özellikleri ve mikroyapısı araştırılmış, yarı-iletken ve lazer özelliğinin tespiti için floresans spektrofotometrede şiddet ölçümleri alınmıştır.

2. DENEYSSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

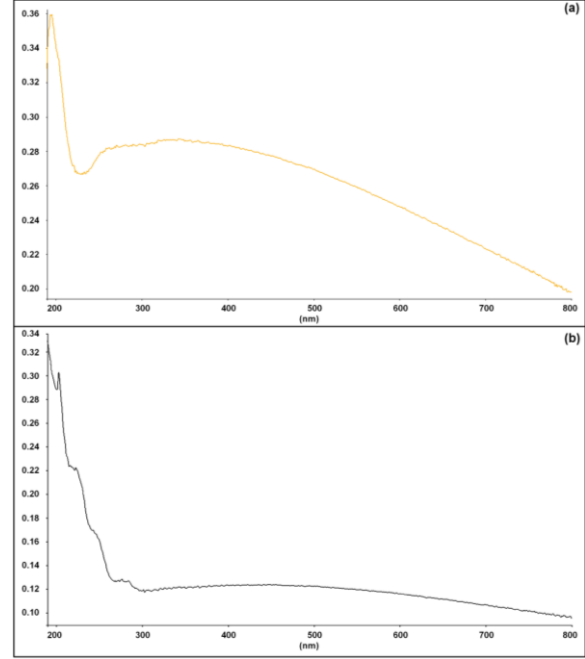
Deneysel çalışmalarda kullanılan h-BN, Anadolu Üniversitesi Malzeme Mühendisliği Bölümün'den temin edilmiştir. UV-Vis, FTIR, Floresans spektrumları ile SEM ve XRD kullanılarak yapı analizleri yapılmıştır.

Hegzagonal bor nitrürün UV-Vis karakterizasyonunda numunede bulunabilecek nemi uzaklaştırmak amacıyla 110 °C'lik vakumlu fırında 1,5h beklendi. Oda sıcaklığına getirildikten sonra sırasıyla su, izopropil alkol ve etil alkolde çözeltileri hazırlandı. Hazırlanan çözeltiler çalkalamalı sıcak su banyosunda 25 °C'de 1h beklendikten sonra ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis, Perkin Elmer Lambda 650S) spektrofotometresinde analizler gerçekleştirilmiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR, Perkin Elmer Spektrum 100) karakterizasyonu KBr'li ortamda pelet haline getirilen numunede yapılmıştır. Floresans spektrum analizi için pelet haline getirilmiş h-BN, nem ve organik safsızlıklardan arındırmak için vakum ortamında 800 K'de 12h tutulmuştur. Oda sıcaklığındaki katı numunede 0,1 nm ölçüm hassasiyetine sahip floresans spektrofotometrede (Shimadzu F- 4500 model) uyarılma dalga boyları 190 nm ve 208 nm'de ölçümler alınmıştır. 15mm çap ve 1mm kalınlıkta peletler hazırlanarak X-ışını kırınımı (XRD, Bruker D8 marka) analizleri yapıldı. Ayrıca toz halindeki numuneden taramalı elektron mikroskopunda (JEOL JSM-7000F) 20 kV enerjide 4000 ve 10.000 büyütmelemlerde çekimler alınmıştır.

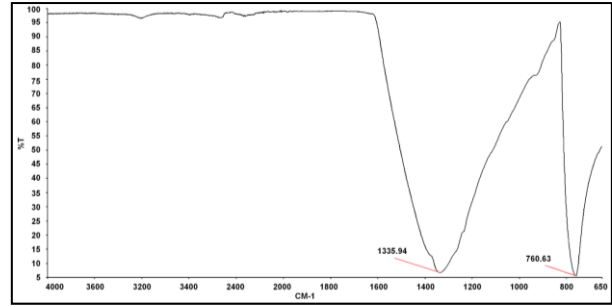
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Suda ve etanolde çözelti haline getirilen h-BN için UV-Visible spektrum sonucu Şekil 1'de gösterilmiştir.

Su için karakteristik pik 200 nm civarında görülürken bor ve bor türevlerinin çabuk nem kapmasından dolayı 300-400 nm aralığında geniş bir bant elde edilmiştir [19, 20]. Etanolde çözündürülen h-BN'nin karakteristik pik 200 nm dolayında elde edilirken su'ya göre daha net bir spektrum görülmektedir. Çözücü olarak izopropil alkol kullanıldığında çözünme sağlanamamıştır. Hegzagonal bor nitrür molekülünün titreşim hareketleri Şekil 2'de FTIR spektrumu ile verilmiştir.



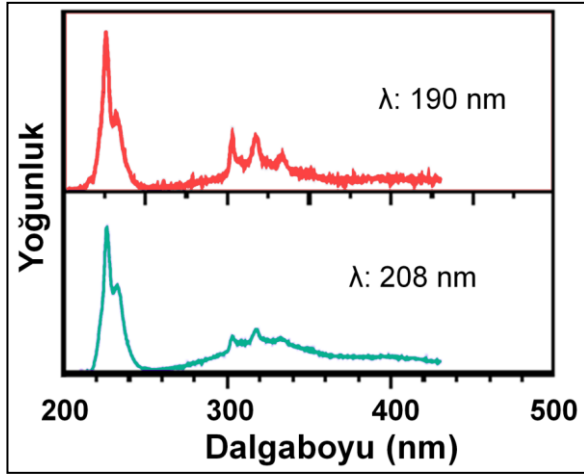
Şekil 1. a) Suda çözündürülen, b) Etanolde çözündürülen h-BN'nin UV-Vis Spektrumu ((a) UV-Vis Spectrum of h-BN dissolved in water, b)UV-Vis Spectrum of h-BN dissolved in ethanol)



Şekil 2. Numuneye ait FTIR spektrumu (FTIR spectrum of the sample)

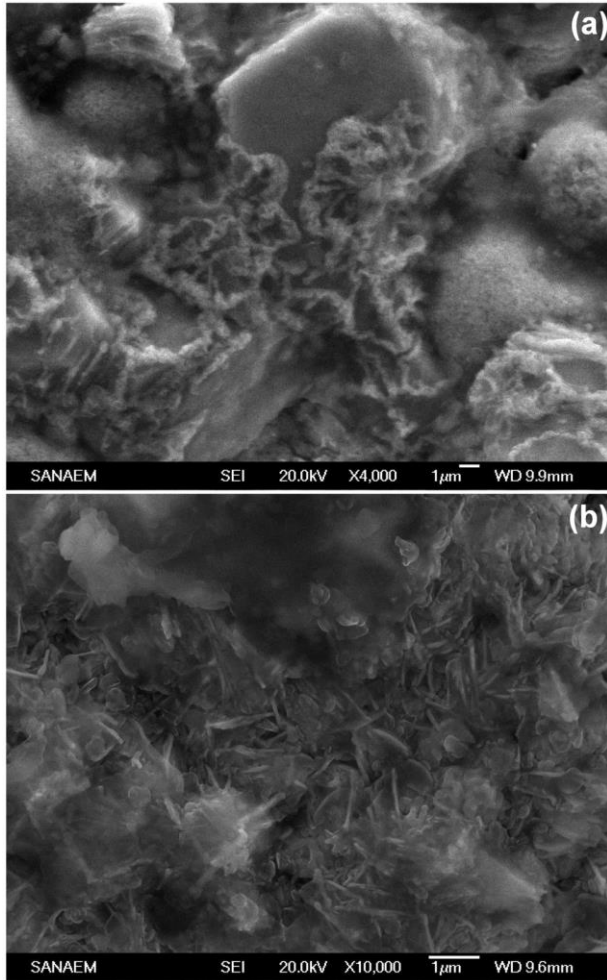
1335,94 cm^{-1} ve 760,63 cm^{-1} dalga boylarında bor nitrür'e ait karakteristik pikleri gözlemlenmiştir. 1335,94 cm^{-1} dalga boyundaki pik sp2 bağ yapısından gelmektedir. 760,63 cm^{-1} dalga boyunda B-N-B bağlarına titreşimine aittir [21-23]. Şekil 3'te numuneye ait 190 nm ve 208 nm uyarılma dalga boylarındaki floresans spektrumu verilmiştir.

Düşük sıcaklıklarda h-BN lazer özeliğinin 215 nm civarında optik uygulamalarda uyumlu sonuç verdiği için 190nm ve 208 nm dalga boyların tercih edilmiştir. Literatürde elektronik özellikleri hakkında kesin bir görüş oluşmasa da düşük sıcaklıklarda bant açıklığı enerjisi 3,6-7,1 eV arasındadır. Bu çalışmada 225 nm civarında uyarılma piki elde edilmiştir [7, 24-26].



Şekil 3. h-BN'nin Floresans Spektrumu (Fluorecence spectrum of h-BN)

Şekil 4'te verilen SEM görüntülerinde, yapıda kümeleşme görülmekle birlikte tipik h-BN'ye ait görüntüler mevcuttur.



Şekil 4. h-BN'nin farklı büyütmelede SEM görüntüleri (SEM images of h-BN with different magnifications)

5 μm 'den büyük ve 1 μm 'den küçük boyut dağılımı görülmüştür. Bal peteği görünümünde h-BN katmaları gözlemlenmiştir [25, 27, 28]. Yapıda yaprak deseni [29] andıran bal peteği görünümünde h-BN katmaları gözlemlenmiştir h-BN'nin XRD analiz sonuçları verilmiştir. XRD analiz sonucuna göre $26,7^\circ$, $41,6^\circ$, $43,8^\circ$, $50,2^\circ$, $55,1^\circ$, $59,3^\circ$, $71,2^\circ$, $75,9^\circ$, $82,2^\circ$, $85,4^\circ$ ve $86,8^\circ$ kırınım açılarındaki karakteristik pikleri bulunmaktadır. Bu kırınım açılarındaki sırasıyla (002), (100), (101), (004), (103), (104), (110), (112) ve (006) düzlemlerine aittir (JCPDS card no:34-0421). Ayrıca $a=b=2,5040$ ve $c=6,6612$ Å kafes parametrelerine sahiptir. (103) ve (104) düzlemlerindeki pikler oldukça küçük olduğu; (100) ve (101) piklerinin gayet net olması ile yarı-kristal yapıya sahip hegzagonal bor nitrür yapısına geçiş sağlandığı söylenebilir. $1800-1900$ °C'de sinterlenmiş bulunan h-BN'nin yüksek sıcaklıklarda daha iyi sentezlendiği ve Bragg açıları incelendiğinde 2θ değerlerinde BN piklerinin gayet net olması ile sentezlenen h-BN yapısının yüksek saflıkta olduğu anlaşılmaktadır [22-35].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma, ileri bor uç ürünü hegzagonal bor nitrürün karakterizasyon çalışmaları ile saflığı ve mikroyapısı araştırılmış, yarı-iletken ve lazer özelliğinin tespiti için floresans spektrofotometrede şiddet ölçümleri alınarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- h-BN'nin yapısı, yaprak deseni andıran bal peteği şeklindeki tabakalı yapısı elde edildi.
- 3,6 - 7,1 eV arasında gözlemlenen güçlü lüminesans zirvesine dayanarak, doğrudan bant aralıklı bir yarı iletken olduğu görülmüştür.
- Optik absorpsiyon ölçümleri ve floresans ölçümlerinde şiddet değerleri göz önüne alındığında, h-BN ultraviyole lazer cihazlarında kullanımı için gelecek vaat etmektedir.
- Ayrıca, hegzagonal bor nitrürün floresans özellikliği göstermesi sonucu sterilizasyon, fotokataliz, kimyasal maddelerin modifikasyonu gibi fotokimyasal ve biyoteknolojik uygulamalarında geniş bir alanda kullanım potansiyeline sahip olduğu söylenebilir [36].

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Hatice Begüm MURATHAN: Deneyleri yapmış, sonuçlarını analiz etmiş ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yacobi, B.G., "Semiconductor Materials: An Introduction to Basic Principles", *Springer Verlag*, 1-3, (2003).
- [2] Nic, M., Jirat, J., Kosata, B., "Chemical terminology at your fingertips", *Chemistry international*, 28(6), 28, (2006).
- [3] Vettoor, S., "Electrical Conduction and Superconductivity", *Resonance*, Cilt 08, No. 09, 41-48, 2003.
- [4] Kittel, C., "Introduction to Solid State Physics", *Wiley*, 08, Kasım 2004.
- [5] Beiranvand, R., and Valedbagi, S., "Electronic and optical properties of h-BN nanosheet: A first principles calculation", *Diamond and Related Materials*, 58, 190-195, (2015).
- [6] Eichler, J., and Lesniak, C., "Boron nitride (BN) and BN composites for high-temperature applications", *Journal of the European Ceramic Society*, 28(5), 1105-1109, (2008).
- [7] Jalilian, J., and Safari, M., "Tuning of the electronic and optical properties of single-layer boron nitride by strain and stress", *Diamond and Related Materials*, 66, 163-170, (2016).
- [8] Lipp, A., Schwetz, K. A., and Hunold, K., "Hexagonal boron nitride: fabrication, properties and applications", *Journal of the European Ceramic Society*, 5(1), 3-9, (1989).
- [9] Dana, S. S., "The properties of low pressure chemical vapor deposited boron nitride thin films", *In Materials Science Forum* (Vol. 54, pp. 229-260). Trans Tech Publications Ltd., (1990).
- [10] Chkhartishvili, L., Tabatadze, G., Nackebia, D., Bzhalava, T., and Kalandadze, I., "Hexagonal boron nitride as a solid lubricant additive (an overview)", *Nano Stud*, 14, 91-98, (2016).
- [11] Canöz, B., Metin, A. Ü., ve Gürü, M., "Mekanokimyasal Yöntemle Elementlerinden Magnezyum Diborür (MgB₂) Sentezi ve Enerjetik Madde Olarak Kullanımı", *Journal of Polytechnic*, 24(3), 933-941, (2021).
- [12] Çelik Ü. A., Sunar T., Özyürek D. ve Gürü M., "Production and Characterization of FeB and Fe₂B Compounds by Mechanochemical Method", *Journal of Polytechnic*, 1-1, (2023).
- [13] Murathan, Ö. F., Kocatepe, K., and Erdoğan, M. "The effect of high boron additions on the microstructure of cast steel", *Journal of Boron*, 5(2), 108-114, (2020).
- [14] Pul M. ve Baydaroğlu V., "B₄C/SiC katkılı alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerin incelenmesi ve balistik performanslarının modellenmesi", *Journal of Polytechnic*, 23(2): 383-392, (2020).
- [15] Aydın, Y. D., Gürü, M., and Akkurt, M., "Investigation Of Synthesis Parameters Of Antimony Fluoroborate And Its Usability As A Flame Retardant For Cellulosic Fabrics", *Cellulose Chem. Technol*, 55(7-8), 893-900, (2021).
- [16] Olgun Ş., Gürü M., Aydın D. Y. ve Ertürk A. A., "Fenol ve bor esaslı çevre dostu pigmentin deniz araçlarında boya olarak kullanılabilirliği", *Journal of Polytechnic*, 26(1): 215-221, (2023).
- [17] Arslan, K., Murathan, A. M., ve Murathan, H. B., Bor Nitrür Mikrotüp (BNMT) Sentezinde Reaksiyon Süresinin Etkisi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32:3 977-986, (2017).
- [18] Arslan, K., Seval, H. K., Murathan, Ö. F., and Soysal, K., "Multiwalled boron nitride microtubes (BNMTs) shielding in thermal neutron absorbing", *Radiation Effects and Defects in Solids*, 173(7-8), 555-566, (2018).
- [19] Kubota Y., Watanabe K., Tsuda O. And Taniguchi T., "Deep Ultraviolet Light-Emitting Hexagonal Boron Nitride Synthesized at Atmospheric Pressure", *Science Magazine*, 317 (5840): 932- 934 , (2007).
- [20] Song, L., Ci, L., Lu, H., Sorokin, P. B., Jin, C., Ni, J., Kvashnin, A. G., Kvashnin, D. G., Lou, J., Yakobson B. I., and Ajayan, P. M., "Large scale growth and characterization of atomic hexagonal boron nitride layers", *Nano letters*, 10(8), 3209-3215, (2010).
- [21] Solozhenko, V. L., Lazarenko, A. G., Petitet, J. P. and Kanaev, A. V., "Photoluminescence properties of pyrolytic boron nitride", *Journal of Phys. Chem. Solids*, 62: 1331, (2001).
- [22] Chen, T. M., Xiao, J., and Yang, G. W. Cubic boron nitride with an intrinsic peroxidase-like activity. *RSC advances*, 6(74), 70124-70132, (2016).
- [23] Muthu, R. N., Rajashabala, S., and Kannan, R., "Hydrogen storage performance of lithium borohydride decorated activated hexagonal boron nitride nanocomposite for fuel cell applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(23), 15586-15596, (2017).
- [24] Kanaev A. V., Petitet, J. P. , Museur, L., Marine, V., Solozhenko, V. L. and Zafirooulos, V. , "Formation of c-BN nano crystals by He+ implantations of h- BN", *Journal of Appl. Phys.*, 96: 4483- 4489, (2004).
- [25] Mohsin, M. H., Khashan, K. S., and Sulaiman, G. M., "Optical and structural properties of H-BN@ Gd₂O₃ nanoflake prepared by laser-induced ablation in liquid", *Physica Scripta*, 98(5), 055903, (2023).
- [26] Li, J., Bernard, S., Salles, V., Gervaisand, C., Miele, P., "Preparation of Polyborazylene-Derived Bulk Boron Nitride with Tunable Properties by Warm-Pressing and Pressureless Pyrolysis", *Chem. Mater*, 22, (2010).
- [27] Guerra, V., Wan, C., Degirmenci, V., Sloan, J., Presvytis, D., and McNally, T., "2D boron nitride nanosheets (BNNS) prepared by high-pressure homogenisation: structure and morphology", *Nanoscale*, 10(41), 19469-19477, (2018).
- [28] Wang, Z., Zhu, Y., Ji, D., Li, Z., and Yu, H., "Scalable Exfoliation and High-Efficiency Separation Membrane of Boron Nitride Nanosheets", *ChemistrySelect*, 5(12), 3567-3573, (2020).
- [29] Chakrabarty, K., Arnold, I., and Catledge, S. A., "Hexagonal boron nitride grown using high atomic boron emission during microwave plasma chemical vapor deposition", *Journal of Vacuum Science and Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 37(6), 061507, (2019).
- [30] Hu, S. Q., Wang, Y., and Liu, L. L., "Synthesis of h-BN by the Combustion of B/KNO₃/Octogen Mixture under Nitrogen Atmosphere", *Journal of Chemistry*, 2019, (2019).
- [31] Huang J. ve Zhu Y. T., "Advances in the Synthesis and Characterisation of Boron Nitride", *Defect and Diffusion Forum*, 186-187, 1-32, (2000).

- [32] Gao L. ve Li J., "Preparation of Nanostructured Hexagonal Boron Nitride Powder", *Journal of American Ceramic Society*, 111: 1982- 1984, (2003).
- [33] Meng, Y., Mao, H. K., Eng, P. J., Trainor, T. P., Newville, M., Hu, M. Y., Kao, C., Shu, J., Hausermann, D., and Hemley, R. J., "The formation of sp^3 bonding in compressed BN", *Nature materials*, 3(2), 111-114, (2004).
- [34] Thangasamy, P., and Sathish, M., "Supercritical fluid processing: a rapid, one-pot exfoliation process for the production of surfactant-free hexagonal boron nitride nanosheets", *Cryst Eng Comm*, 17(31), 5895-5899, (2015).
- [35] Ulus, H., Üstün, T., Eskizeybek, V., Şahin, Ö. S., Avcı, A., and Ekrem, M., "Boron nitride-MWCNT/epoxy hybrid nanocomposites: Preparation and mechanical properties", *Applied Surface Science*, 318, 37-42, (2014).
- [36] Naclerio, A. E., and Kidambi, P. R., "A review of scalable hexagonal boron nitride (h-BN) synthesis for present and future applications". *Advanced Materials*, 35(6), 2207374, (2023).