

**Atf İçin:** Şahin, E. İ. ve Emek, M. (2023). Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları İçin GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Kompozitlerin Özellikleri . *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(3), 2143-2154.

**To Cite:** Şahin, E. İ. & Emek, M. (2023). Properties of GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Composites For Electromagnetic Shielding Applications . *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(3), 2143-2154.

## Elektromanyetik Ekranlama Uygulamaları İçin GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Kompozitlerin Özellikleri

Ethem İlhan ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Mehriban EMEK<sup>2</sup>

### **Öne Çıkanlar:**

- Elektromanyetik ekranlama etkinliği
- GdMnO<sub>3</sub>, Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>, Polianilin Matriks kompozit
- Polianilin, Matriks kompozit

### **Anahtar Kelimeler:**

- XRD
- SEM
- Ağ Analizör

### **ÖZET:**

Bu çalışmada, oksitlerin karışımı tekniği kullanılarak GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> üretilmiştir. GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozisyon bileşimleri yapısal analiz için çeşitli oranlarda oluşturulmuştur. Tek fazlı GdMnO<sub>3</sub> ve Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> bileşimi, 1200-1400°C arasında sinterlendikten sonra üretilmiştir. Yapısal analizi sonuçları, GdMnO<sub>3</sub> ve Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> 'de ikinci fazın oluşmadığını göstermiştir. Yapısal analiz için X-ışını kırınımı (XRD) yapıldı. Ek olarak, GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozitleri çeşitli miktarlarda GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> ve anilin bileşimleri kullanılarak sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. (GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>) ve anilin ağırlık oranları sırasıyla 1:1 idi. Çeşitli ağırlıklarda oluşturulan GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> bileşiği ve epoksi tozu kullanılarak mikrodalga kalkanlama etkili kompozitler üretilmiştir. Bir ağ analizör cihazı (NA) kullanılarak, GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozitlerinin mikrodalga ekranlama etkisi 8-18 GHz aralığında incelenmiştir. 1.4 mm kalınlıkta 15.77 GHz'de minimum -56.77 dB ekranlama etkisi değeri elde edilmiştir. GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozit malzeme olarak üretilmiş ve kalkanlama etkisi için özellikleri karakterize edilmiştir. Bu mikrodalga koruma performansı, daha geniş ve gerekli frekans bantları için örneklerdeki polianilin içeriği ve GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> içeriği kontrol edilerek kolayca ayarlanabilir.

## Properties of GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> Composites For Electromagnetic Shielding Applications

### **Highlights:**

- Electromagnetic shielding effect
- GdMnO<sub>3</sub>, Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>, Polyaniline Matrix composition
- Polyaniline Matrix composite

### **Keywords:**

- XRD
- SEM
- Network Analyzer

### **ABSTRACT:**

In this study, GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> was manufactured using the mixture of oxides technique. GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> compositional compounds were formed in various ratios for structural analysis. Single-phase composition of GdMnO<sub>3</sub> and Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> were produced after sintering between 1200-1400°C. Structural analysis results showed that the second phase did not occur in GdMnO<sub>3</sub> and Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>. X-ray diffraction (XRD) was performed for structural analysis. In addition, GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> composites were produced by hot pressing method using various amounts of GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> and aniline. The weight ratios of (GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>) and aniline were 1:1, respectively. The GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> compound formed in various weights, and epoxy powder were used to produce microwave shielding effect composites. Using a network analyzer (NA), the microwave shielding effect of GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> composites was investigated in the range of 8-18 GHz. A minimum shielding effect value of -56.77 dB was obtained at 15.77 GHz at 1.4 mm thickness. The GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> was produced as composite material and their properties were characterized for shielding effect. This microwave shielding performance can be easily adjusted by controlling the polyaniline content and GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> content in the samples for wider and required frequency bands

<sup>1</sup>Ethem İlhan ŞAHİN ([Orcid ID: 0000-0001-7859-9066](https://orcid.org/0000-0001-7859-9066)), Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adana, Türkiye

<sup>2</sup>Mehriban EMEK ([Orcid ID: 0000-0001-7322-9808](https://orcid.org/0000-0001-7322-9808)), Adıyaman Üniversitesi, Gölbaşı Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Gölbaşı, Adıyaman, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ethem İlhan ŞAHİN, e-mail: shnethem@gmail.com

## GİRİŞ

5G iletişim teknolojisinin hızlı şekilde ilerlemesiyle, elektronik aletlere ve elektromanyetik dalgalara (EMW) dayalı bilgi aktarımına daha fazla güven duyulmaktadır (Gogotsi and Huang, 2021; Qasrawi ve Hamarsheh, 2022). Yaşadığımız çevrede sürekli bize zarar veren göremediğimiz kablosuz mikrodalga sinyallerinin ağına altında kalmaktayız. Bu mikrodalga sinyalleri bize fiziksel olarak zarar vererek kötü hastalıklara veya başka sağlık tehlikelerine neden olabilmekte ya da elektronik olarak çalışmakta olan cihazları olumsuz etkileyip elektronik devrelerin arızalanmasına neden olabilmektedir. Aslında teknolojik gelişmeler nedeniyle sürekli mikrodalga radyasyon tehdidi altında elektromanyetik kirlilik ortamındayız ( Shifa ve ark., 2021; Guan ve ark., 2022).

Bu nedenle araştırmacılar mikrodalga yutucular ve elektromanyetik (EM) koruyucu malzemeler üzerinde çalışmakta ve son on yılda mevcut olanları daha iyi hale getirmeye çalışmaktadırlar. Farklı uygulamalar askeri ve sivil uygulamalar dahil olmak üzere yeni EM koruma ve yutucu kompozit malzemelerin hazırlanması ve özelliklerinin geliştirilmesi yıldan yıla artış göstermektedir (Şahin, 2022; Shahzad ve ark., 2016). EM koruyucu ile EM emici malzemeler, taşınabilir elektronik, kablosuz iletişim, havacılık, askeri ve tıbbi ekipman alanlarında kritik öneme sahiptir ve ekipmanın düzgün çalışmasının ayrılmaz bir parçası olmuştur (Şahin ve ark., 2020). Kalkanlama etkinliğine sahip malzemeler, istenmeyen EM dalgaların emilmesine veya yansıtılmasına neden olan farklı mekanizmalar ile elektromanyetik dalgalardan koruma sağlayabilmektedir (Lalan ve Ganesanpotti, 2020; Liu ve ark., 2016). Elektromanyetik girişim (EMI) olarak bilinmekte olan elektromanyetik kirliliğin genişlemesine katkı yapan çok sayıda istenmeyen elektromanyetik dalgalar oluşmaktadır (Lalan ve Ganesanpotti, 2020). EMI koruması için etkili birkaç unsur mevcuttur ve bunlardan biri, mobil yük taşıyıcılarının (elektronlar veya delikler) gelen EM dalgası ile nasıl etkileşim yaptığına bağlı olan yansıma kaybıdır. İkinci olanı, manyetik ve elektriksel dipollerin EM dalgalarıyla etkileşiminden etkilenen yutulma kaybıdır (Şahin 2019). Üçüncü unsur ise, çoklu yansıma etkisidir, elektromanyetik dalgaları geçirmeyen koruyucu malzeme içinde oluşan iç yansımaları ifade eder. Bu etki genelde fazla sayıda ve oldukça büyük yüzey veya arayüzey bölgesi olduğunda kendisini gösterir (Hamouni vd. 2014; Shukla 2020).

Diğer taraftan giyim sektöründe elektromanyetik koruyucu tekstiler bulunduğu gibi, nükleer araştırma tesislerinde de EMI radyasyon koruma kalkanlı beton benzeri malzemelerde kullanılmaktadır (Wang ve Liu, 2012). Giyilebilir halde olan kablosuz teknolojiler ile problemsiz olarak birleştirilme olanaklı EMI engelleyici çeşitli malzemeler en başta sağlık bakımından elektromanyetik koruma için şarttır. "Ekranlama etkinliği", kalkanlama performansını (SE) tanımlayan bir ifadedir (Şahin ve ark., 2022). EMI ekranlamada kullanılan malzemelere, partiküller ve karbon fiberler, metal pullar ve teller, kesintili iletken dolguya sahip kompozit yapıları malzemeleri verebiliriz (Xiangcheng ve Chung, 1999). Son yıllarda, metal bazlı kompozitlerde ayrıca ilgi görmektedir (Bhingardive ve ark., 2015; Chaudhary ve ark., 2016).

Polimerik baza sahip iletken kompozit malzemeler, bilinen metalik kompozit yapıdaki malzemelere göre düşük maliyet, hafif ve korozyona karşı dayanıklı olma gibi özellikleri sayesinde genelde daha fazla tercih edilmektedir (Chen ve ark., 2018). Kompozitlerin kalitesi, bileşen malzemeler arasındaki arayüz bağlantıları tarafından da belirlenebilmektedir.

Polianilin (PANI) iyi elektriksel iletkenliği, belirli fiziksel ve kimyasal karakteristikleri, uygun çevre stabilitesi, uygun maliyet, üretilme kolaylığı benzeri özelliklerle tanınmaktadır (Yang ve ark., 2010). Kontrollü ortam şartları altında, polianilin sıvı anilin malzemesinin kimyasal oksidatif polimerizasyonu ile üretilebilmektedir. PANI kolayca katkılanma özelliğine sahip olduğu gibi yeterli

stabilite de göstermektedir, mekaniksel ve diğer özellikleri, inorganik nanomalzemelerle ve polianilin karışımının kullanılmakta olduğu eklenir malzemelerine bağlı şekilde iyi yönde değişebilmektedir. PANI eklendiği malzemeye de bağlı olarak, elektromanyetik kalkanlama sağladığı gibi, az yansıma veya yüksek yutulma sağlayabilir özelliktedir (Schnitzler ve ark., 2003; Ma ve ark., 2006; Şahin, 2019). Ayrıca PANI bazlı kompozitlerin kalkanlama kapasitesini yükselttiği de ayrıca bilinmektedir (Zhang ve ark., 2019).

Multiferroik bileşikler, aynı fazda ferroelektrik ve ferromanyetiğin aynı anda bir arada bulunduğu malzemelerdir. Teknolojik öneme sahip bu malzemeler potansiyel uygulamaları ve zengin fiziksel özellikleri nedeniyle muazzam ilgi görmektedir (Ye ve ark., 2020). Tek fazlı multiferroik, malzemeler kristalografik oryantasyonuna ve kimyasal formülüne dayalı olarak birkaç farklı tipte sınıflandırılabilir, bu tipler arasında peroveskit, nadir toprak manganiti,  $REMnO_3$  (RE = Ho, Lu, Y, Gd ve Sc) ve  $BaMF_4$  bileşikler (M= Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Zn) bulunmaktadır.

Tipik bir nadir toprak manganitleri olarak,  $GdMnO_3$  (GDO), karmaşık düşük sıcaklıktaki manyetik düzeni, manyetik bozulma kaynaklı ferroelektrikliği ve büyük manyetoelektrik katsayısı nedeniyle oldukça ilginç bir malzemedir. Ortorombik bozulmuş peroveskit yapılı GDO, sıcaklığın düşmesiyle birlikte meta-manyetik özellikler gösterir; yaklaşık 45 K'de paramanyetik fazdan antiferromanyetik faza ve ardından yaklaşık 25 K'de antiferromanyetikten zayıf ferromanyetiğe (eğimli antiferromanyetik) dönüşür (İbrahim, 2015; İbrahim ve ark., 2017).

Multiferroik malzemelerdeki manyetoelektrik etkiye dayanarak, bellek bloğu, dönüştürücü ve manyetik sensör gibi elektronik ve manyetik cihazlarda çok sayıda pratik uygulama beklenmektedir. Geleneksel manyetik veri depolama araçları, temel olarak verileri yazmak için manyetik alanlara ihtiyaç duyar, her bitin mıknatıslanma yönü, yazma kafasındaki elektromıknatısın yüksek kaçak alanı tarafından kontrol edilir (İbrahim ve ark., 2017). Manyetoelektrik etki yoluyla elektrik alanlarını kullanarak mıknatıslanmayı kontrol etmek, yüksek yoğunluklu düşük güçlü veri depolama cihazlarına yeni bir kapı açabilir. Ayrıca manyetoelektrik özellikler, entegre optik ve fiber optik iletişimdeki sensörler, transdüserler ve film dalga kılavuzları için çeşitli şekillerde uygulanabilir (Wang ve ark., 2022; İbrahim, 2015).

$Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  (BZN) seramik, haberleşme sektöründe büyük uygulama potansiyeli olan mikrodalga dielektrik malzemelerden biridir. Çok işlevli aktiviteler için umut vaat eden  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  (BZN) seramik malzemeleri olarak bilinen yüksek dielektrik malzemeler, elektronikte mikro/radyo dalgası filtreleri ve/veya mikrodalga rezonatörleri olarak kullanılmaktadır (Huang ve ark., 2018; Şahin, 2010; Şahin, 2023). Yüksek kalite faktörü ( $Q_{xf}$  değerleri) sergileyen akıllı dielektrik nitelikleri, bu seramik sınıfını dielektrik rezonatörler ve mikrodalga bant filtreler olarak tanımlar. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, tek veya çok fazlı peroveskit seramik sistemlerinin, yüksek Q faktörü ve termal kararlılıkları nedeniyle rezonatör olarak kullanıldığında kapsamlı ayarlanabilirliğe sahip olacak şekilde kontrol edilebileceğini doğrulamıştır. Ayrıca manyetik alanların, ferrit-dielektrik fazlardan yapılmış kompozit rezonatörleri yönetme yeteneğine sahip olduğu tespit edilmiştir. BZN seramik malzemelerinin yapısına farklı katyonların eklenmesinin dielektrik özelliklerini iyileştirdiği ve onları çok işlevli cihazlar olarak daha uygun hale getirdiği görülmektedir (Qasrawi ve ark., 2019).

Daha önceki çalışmalarda elektromanyetik ekranlama (kalkanlama) ölçümleri örneklerine bakıldığında, % 25 MWCNT kompozit yapısı için yapılan ölçümde -39 dB'lik ekranlama etkinliği 1.6 GHz frekansında ölçülmüştür (Tariq ve ark., 2015). Bir başka çalışmada grafen nanokompozitler için X bandında -30 dB kalkanlama etkinliği değeri elde edilmiştir (Santhos ve ark., 2020). Bir diğer çalışmada ise kırpılmış elyaf/ $ZnNb_2O_6$  kompozit malzemesinin ekranlama etkinliği performansının

6.75 GHz frekansında -51.32 dB değeri ölçüldüğü belirlenmiştir (Şahin, 2022). Farklı bir çalışma olarak ise, polianilin tabanlı kolemanit:SiO<sub>2</sub> kompozit malzemesinin yüksek frekanslarda yani 16.09 GHz frekansında -41.1 dB ekranlama etkinliği değeri hesaplanmıştır (Şahin ve ark., 2020).

Ekranlama etkinliği (SE) yada araya girme kaybı terimi bir malzemeye gelen elektromanyetik dalganın bu malzemeden geçerek karşı tarafa ne kadarının geçtiği ile alakalıdır (Şahin 2022, Şahin ve Ibrahim, 2022; Meisak ve ark., 2023). Malzemeye gelen elektromanyetik dalganın ne kadarının emildiği veya ne kadarının geri yansıtıldığı da ölçülebilmektedir. Örneğin bir ölçümde SE değeri -10 dB verdiğinde, gelen elektromanyetik dalganın % 90 oranında azaltıldığı ve % 10' unun karşıya geçtiğini kabul etmekteyiz (Chung, 2000; Ting ve ark., 2011).

SE değerinin oldukça düşük değerler vermesi ile gelen elektromanyetik dalganın hem geri yansıma yaptığı hem yutulduğu veya sadece geri yansıdığını ya da malzemede yutulduğu anlaşılmaktadır, ancak tam değerler için ayrı ölçümler yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, ilk defa GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> bileşimi optimum parametrelere göre kompozit olarak üretilerek, 1.4 mm kalınlıkta kalkanlama etkinliği değerleri bir çok uygulamanın yer aldığı geniş frekans bandında karakterize edilmiştir. Yeni oluşturulan, manyetik özellikli GdMnO<sub>3</sub> ile dielektrik özellikli BZN yapısından iletken polimer ile oluşturulan bu kompozitlerin bileşenleri farklı oranlarda alınarak epoksi ile sıcaklıklı hidrolük preste kalıplanmış ve farklı GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozitleri elde edilmiştir. Bu kompozitlerin bileşenleri XRD (Bruker / Alpha -T) cihazı kullanılarak karakterize edilmiştir (Şahin ve Emek, 2023; Şahin 2019; Şahin 2023; Topcu 2022; Topcu ve ark., 2020; Topcu 2020). İlk kez üretilen polianilin tabanlı bu kompozit malzemelerin mikrodalga ekranlama etkinliği, bazı radar frekans bantları dahil olmak üzere oldukça geniş frekans aralığı olan 8 ile 18 GHz frekans bandında hassas ölçüm yapabilen agilent technologies marka N 5230A PNA serisi ağ analizörü cihazı ile ölçülerek belirlenmiş, diğer çalışmalara nazaran oldukça düşük ekranlama etkinliği değerleri elde edilmiştir (Şahin ve ark., 2023; Golezani ve ark., 2022; Şahin ve ark., 2022).

## MATERYAL VE METOT

### GdMnO<sub>3</sub> ve Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>' ün Hazırlanışı

GdMnO<sub>3</sub> ile Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>, geleneksel oksitlerin karışımı yöntemi ile belirli işlemler sonrası kompozit halinde üretilmiştir. GdMnO<sub>3</sub> oluşturmak için başlangıç malzemeleri olarak yüksek saflıkta Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% 99.9; Alfa Aesar) ve Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% 98; Alfa Aesar) tozları belirli oranlarda alınarak kullanılmıştır. Başlangıç tozları dikkatlice tartılarak bir plastik kap içinde etil alkol içinde zirkonyum tozları ile 20 saat değirmende karıştırıldı. Daha sonra elde edilen bulamaç etüvde 95°C'de 24 saat kurutulduktan sonra karışım 600°C'de 10 saat kalsine edilmiştir. Kalsine edilen tozlar ince toz haline getirildi ve hidrolük preste 10 MPa basınç altında tutularak 10 mm çapta ve 2 mm kalınlıkta peletler haline getirilmiştir. Peletler 1350°C'de 20 saat ısıtma ve soğutma hızı 120°C/h olacak şekilde sinterlendi. Tek fazlı GdMnO<sub>3</sub> kalsinasyon sonrası 1350°C'de 20 saat sinterlendikten sonra elde edilmiştir.

BZN oluşturmak için başlangıç materyali olarak BaCO<sub>3</sub>, ZnO ve Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> stokiometrik oranda karıştırılmıştır. ZnO (% 99.9) Merc firmasından, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Sigma –Aldrich : % 99) sigma-aldrich firmasından ve BaCO<sub>3</sub> (% 99) Sigma-Aldrich firmasından elde edilmiştir. Bu tozlar etil alkol içinde plastik kapta zirkonya bilyeler ile 15 saat boyunca dönmeli değirmende karıştırıldı. Bulamaçlar önce 100°C'de 24 saat kurumaya bırakıldı ve daha sonra numunelerin öncesi ve sonrası tartılarak buharlaşma kayıplarını en aza indirmek için alüminadan oluşan hava geçirmez bir potada 4 saat boyunca 1100°C'de kalsine edildi. Kalsine tozlar önce agat havanda öğütülmüş, ardından tek eksenli

preste 2 MPa basınçta 1-2 mm kalınlığında ve 10 mm çapında pelet haline getirilmiştir. Peletler BZN tozu içerisine gömülme işleminden sonra uçucu türlerin kayıp olmasını önlemek için 1250°C 'de 4 saat bekletilerek sinterlenmiştir. Tek fazlı  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  tozları 1100°C'de kalsine edildikten sonra 1250°C'de sinterlenerek elde edilmiştir.

Sinterlenen numuneler, 2θ:10 – 70° aralığında Cu-Kα radyasyonlu ve 1°/ dakika tarama hızında XRD (X-ışını difraktometrisi - D2 Phaser Bruker AXS) cihazı ile karakterize edildi. X-ışını toz difraktometrisi ile ana yapıların  $GdMnO_3$  ve  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  tek fazlı olduğu tespiti yapılmıştır. Fazları gözlemlmek için, numunelerin mikro yapısını ve morfolojisini incelemek üzere bir taramalı elektron mikroskobu (JEOL 5910LV-SEM) kullanılmıştır. Yeni  $GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozitlerin mikrodalga kalkanlama (ekranlama) etkinliği agilent teknoloji marka N5230A-PNA serisi ağ analizör (NA) cihazı ile 8-18 GHz frekans bölgesinde ölçülmüştür.

### **Polianilin / ( $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ ) Kompozitlerin Hazırlanışı**

Sinterlenmiş  $GdMnO_3$  ve  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  tozları sırasına göre ağırlıkça % 25-75, % 50-50 ve % 75-25 olacak şekilde alınarak etanol içinde plastik şişede zirkonya bilyelerle 20 saat sürede boyunca dönmeli değirmende karışıma bırakılmıştır.

Karışım sonrası elde edilen farklı oranlardaki bulamaçlar etüv içinde 100°C sıcaklıkta 24 saat süre kurutulmaya bırakılmıştır. Sinterlenmiş  $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozisyonu (% 25-75, % 50-50 ve % 75-25), anilin miktarının % 100' ü olacak şekilde ayarlandı, bu kompozisyon tozları sırasıyla 1 ml anilin (% 99.9 saflıkta) monomer bir 35 ml hidroklorik (HCl) asit çözeltisi içine (0.1 mol L-1) eklendi ve 30 dakika sürede mekanik bir karıştırıcı içinde karıştırılıp dağıtıldı. Aynı ortamda amonyum persülfat (APS) 2.49 gr alınarak, 15 ml hidroklorik asit çözeltisi (1 mol L-1) içinde manyetik karıştırıcıda çözüldürüldü, sonrasında APS içinde bulunan çözelti, yavaşça bir önceki solüsyona yani 1 ml anilin ve  $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  karışım solüsyonuna damla damla ilave edildi.

Elde edilen bu karışım buzlu su ortamında kendi şişeleri içinde ayrı ayrı tutuldu ve polimerizasyon işlemi, 0°C'de 12 saat sürede bu buzlu su banyosunda gerçekleştirildi. Polimerizasyon sonunda üretilen her bir bulamaç filtre kağıtları üzerine dökülerek destile su ve etanol ile yıkanıp filtre edildi ve 24 saat sürede 60°C sıcaklıkta vakumlu fırında tutuldu, kurutulan ve farklı oranlarda olan  $GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozit tozları [Anilin / ( $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  -(%25-75, %50-50, %75-25 ağırlıkta)) = (1:1) alınarak] üretildi.  $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  bileşimleri Polianilin bazlı kompozit tozu şeklinde farklı oranlarda alınmış ve sıcaklı hidrolik pres cihazında ölçüm için uygun boyutlara getirilerek pelet numunesi olarak üretilmiştir.

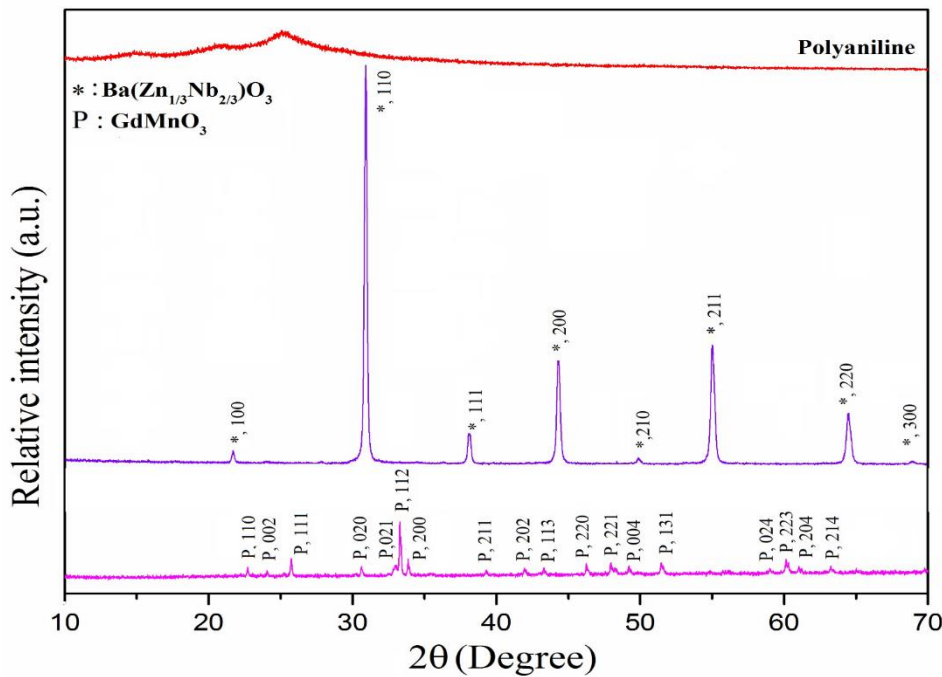
### **Epoksi-PANI Tabanlı $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ Kompozitlerinin Hazırlanışı**

PANI tabanlı  $GdMnO_3:Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozisyonu ve epoksi tozu kürlenmiş sonrasında kalıplanarak yeni kompozitler haline dönüştürülmüştür. Tüm bileşim kompozisyonunun epoksi toza karışımı ağırlıkça 5/1 alınmıştır. Pelet halindeki kompozitler sıcaklık ayarlı hidrolik pres cihazında 5 MPa basınç altında ve 100°C sıcaklıkta 1 saat bekletilme ile elde edilmiştir. Kalkanlama etkinliğinin ölçülmesi için peletler 1.4 mm kalınlığında uygun şekilde üretilerek cihaz ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Yeni oluşturulan mikrodalga ekranlama etkinliğine sahip bu kompozitler, Anilin/ ( $GdMnO_3:Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ ) oranı 1/1 olacak şekilde ayarlanarak epoksi kullanılarak üretilmiştir.

### **BULGULAR VE TARTIŞMA**

$GdMnO_3$  ve  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  'ün yapısal karakterizasyonu için Bruker/Alpha- T cihazı kullanılarak XRD spektroskopisi yapılmıştır.  $GdMnO_3$  bileşiği 1350 °C sıcaklıkta 20 saat sürede

sinterlenmiştir.  $GdMnO_3$  'ün X-ışını difraktometresi çalışması, tek fazlı  $GdMnO_3$  yapısını tespit etmiştir. (Şekil 1). BZN bileşiği ise  $1250^\circ C$ 'de 4 saat sürede sinterlenmiştir, XRD analizi sonucunda tek fazlı bir yapı ortaya çıkarmıştır.  $GdMnO_3$  (PDF kart no:00-025-0337) ve BZN (PDF kart no :00-039-1474) tespitinde de görüldüğü gibi ana fazlar  $GdMnO_3$  ve BZN olarak belirlenmiştir. Oksitlerin karışımı yöntemi uygulanarak uygun kalsinasyon sıcaklığında olası ara fazların uzaklaştırılması ile  $GdMnO_3$  ve BZN 'nin tek fazlı yapısı elde edildi.  $GdMnO_3$  ile BZN tozlarının iyi homojenleştirilmesi, ısıl işlem sırasında difüzyon sürecini iyileştirmiştir. XRD incelenmesi, sinterlenmiş  $GdMnO_3$  ve BZN 'nin ikincil bir fazdan yoksun olduğunu göstermiştir. Ölçüm sonuçlarına göre numunelerin kırınım pikleri ana fazdaki yapı ile uyum içindedir. Ayrıca  $GdMnO_3$  ve BZN oluşumu büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır ve tek fazlı bu yapıların oluşması için yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Şekil 1'de yer alan miller indisleri tek fazlı BZN ve  $GdMnO_3$  için yayınlanan verilerle PDF kart numaraları ile uyumludur.

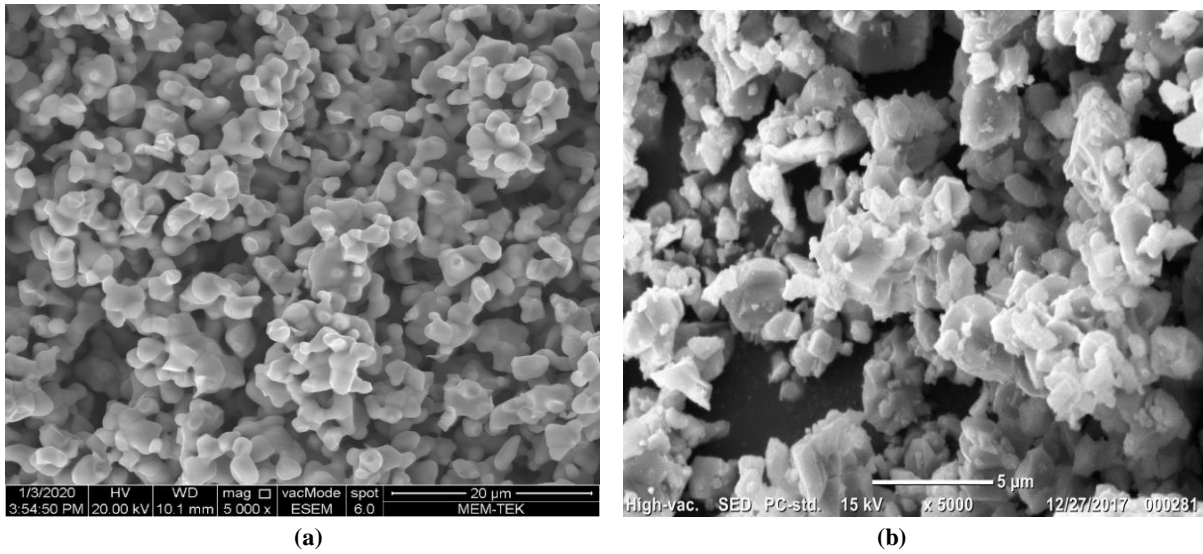


Şekil 1.  $GdMnO_3$  ( $1350^\circ C$  'de sinterlenmiş),  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  ( $1250^\circ C$  'de sinterlenmiş) ve Polianilin (Polyaniline) için XRD paterni

### $GdMnO_3 - Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ SEM Analizi

$1350^\circ C$ 'de 20 saat sinterlenen  $GdMnO_3$  numuneleri ile  $1250^\circ C$ 'de 4 saat sinterlenen  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  numunelerinin mikroyapılarını ve morfolojisini araştırmak için SEM analizi yapıldı. XRD analizinde olduğu gibi, SEM incelemesinde numunelerde sadece ortorombik kristal yapıdaki  $GdMnO_3$  ile kübik kristal yapıya sahip BZN tek fazlı yapılarının oluşturulduğu ve ikincil fazların veya mikroyapısal safsızlıkların olmadığı görülmüştür (Şekil 2 a,b). BZN sentrosimetrik olarak kübik bir kristal yapıya sahiptir.  $GdMnO_3$  ise sentrosimetrik olarak ortorombik kristal yapıdadır.

Mikroyapıda birbirleri ile uyumlu morfolojiye sahip tanelerin olduğu gözlemlenmiştir.  $GdMnO_3$  yapısında taneler küresel şekle sahip iken, BZN yapısında taneler kübik şekle sahiptir. Elektromanyetik ekranlama malzeme içindeki iç yansımaları temsil eden ve çoğunlukla çok sayıda geniş yüzey alanı veya arayüz alanı olduğunda ortaya çıkan çoklu yansıma etkisinden etkilenir. Gözenekli yapıya sahip sinterlenmiş  $GdMnO_3$  ve BZN muhtemelen geniş spesifik yüzey alanına ve çok sayıda iç tane sınırına sahiptir. Bu özellikler, elektromanyetik dalgaların kalkanlama etkinliğini arttırmaktadır.



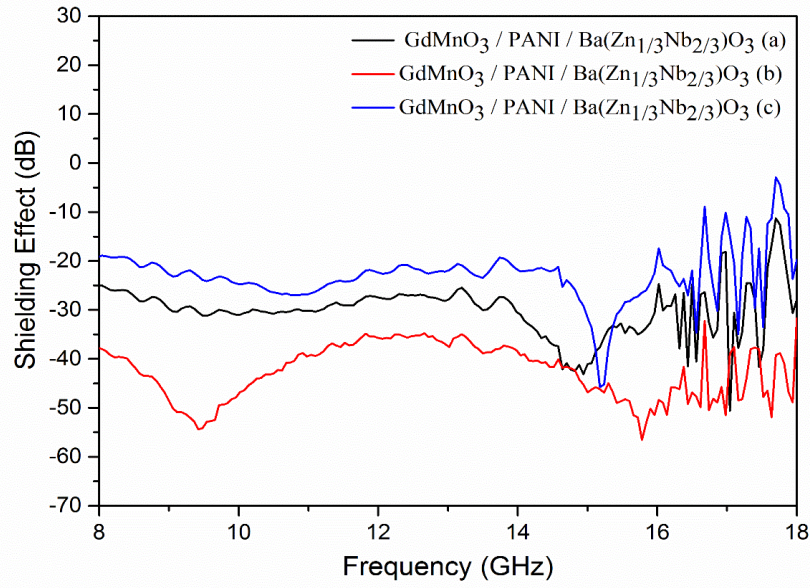
Şekil 2. Tek fazlı  $GdMnO_3$  ve BZN 'nin SEM resimleri a) x 5000 büyütmede  $GdMnO_3$  b) x 5000 büyütmede BZN

### $GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği Ölçümleri

Şekil 3, 8-18 GHz frekans bandında  $GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozitlerinin kalkanlama (ekranlama) etkinliğinin frekansa bağlı değişimini göstermektedir. Kalkanlama etkinliğinin yani SE (shielding effect) değerleri ölçümü N 5230A PNA seri ağ analizörüyle gerçekleştirilmiştir. 1.4 mm kalınlığında hazırlanan numuneler cihazın ölçümleri tekrarlanarak kontrol edilmiştir.  $GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozitleri arasında, epoksi- ( $GdMnO_3$ - $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  (ağırlıkça % 50-50) /Anilin: 1/1) kompozisyonunun mikrodalga kalkanlama etkinliğinin diğer kompozitlere göre daha üstün etki gösterdiği anlaşılmıştır. Bu orandaki kompozit en düşük -56.77 dB değerini 15.77 GHz frekansında göstermiştir. (Şekil 3b). Bu kompozitin sırası ile 9.45, 16.14, 16.98, 17.64 GHz frekanslarında -54.63, -51.79, -52.03, -52.26 dB ekranlama etkinliği değerlerini gösterdiği anlaşılmıştır, geniş bant frekans aralığı olarak incelendiğinde, 8'den 18 GHz'e kadar -30 dB'in altında ekranlama etkinliği değeri göstermiştir. Ayrıca 9.06 'dan 9.71 GHz'e kadar, 15.65'den 15.88 GHz'e kadar -50 dB'den daha az ekranlama etkinliği değeri vermiştir. 8.45 GHz'den 10.79 GHz'e kadar, 14.6 GHz' den 16.65 GHz'e kadar -40 dB'den daha az ekranlama etkinliği değeri vermiştir. Epoksi- ( $GdMnO_3$ - $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1 ) kompozisyonu ise en az ekranlama etkinliği değeri olarak -50.83 dB değerini 15.77 GHz frekansında vermiştir. Bu kompozit sırasıyla 6.54, 14.95, 16.44, 16.77, 17.72 GHz frekanslarında -35.61, -43.45, -41.78, -51.06, -44.42 dB değerlerini göstermiştir.

Ayrıca geniş frekans aralığı bölgesi olarak bakıldığında, 6.5'den 6.96 GHz'e kadar, 7.36'dan 16.88 GHz'e kadar, 16.99 'dan 17.59 GHz'e kadar -20 dB altında ekranlama etkinliği vermiştir. Yine bu orandaki kompozit malzeme 13.99 'dan 15.96 GHz'e kadar -30 dB 'den düşük ekranlama etkinliği göstermiştir.

Diğer yani epoksi- ( $GdMnO_3$ - $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  (ağırlıkça % 75-25) /Anilin: 1/1 ) kompoziti ise en düşük değeri yani -46.09 dB ekranlama etkinliğini 15.18 GHz frekansında vermiştir. Bu kompozit sırasıyla 6.64, 15.18, 16.56, 17.17, 17.53 GHz frekanslarında -36.81, -46.09, -34.91, -35.37, -36.34 dB değerlerini vermiştir. Geniş frekans aralığı olarak ise 6.45'den 7.25'e kadar, 8.82 'den 13.67'ye kadar, 13.86'dan 15.98'e kadar, 16.08'den 16.61'e kadar -20 dB'in altında ekranlama etkinliği değeri göstermiştir (Çizelge 2).



**Şekil 3.** Epoksi- $(GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3)$  kompozitlerinin ekranlama etkinliği: a –  $GdMnO_3:Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  bileşimleri (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1, b –  $GdMnO_3:Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  bileşimleri (ağırlıkça % 50-50) /Anilin: 1/1, c –  $GdMnO_3:Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  bileşimleri (ağırlıkça % 75-25) /Anilin: 1/1 fazlı  $GdMnO_3$  ve BZN ‘nin SEM resimleri a) x 5000 büyütmede  $GdMnO_3$  b) x 5000 büyütmede BZN

Polianilin ve tek fazlı  $GdMnO_3$  ile BZN arasındaki arayüzey polarizasyonu, kompozit yüzeyindeki ışınlama empedansının tutarlılığı SE performansını etkilediğinden, elektromanyetik ekranlayıcı malzeme için kritik öneme sahiptir.

Çizelge 1’de literatürdeki bazı SE sonuçları yer almıştır.  $GdMnO_3/PANI/Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  kompozitleri bir çok uygulamanın yer aldığı oldukça geniş bant bölgesinde elektromanyetik dalga için iyi koruma etkinliği göstermektedir.

Bu sonuçlar çeşitli uygulamalarda kullanım için verimli yol sağlamakla birlikte, elektromanyetik ekranlama özellikli yeni kompozit malzemelerin geliştirilmesinde de önemli etkilere neden olabilir.

**Çizelge 1.** Bazı malzemelerin mikrodalga ekranlama etkinliği değerlerinin literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılması

Örnek	Ekranlama Ekinliği (SE) Değeri (dB)	Frekans (GHz)	Referans
$GdMnO_3/PANI/BZN$	-56.77	15.77	Bu çalışma, şekil 3 c
%25 MWCNT	-39	1.6	(Tariq ve ark., 2015)
Colemanite/PANI/SiO <sub>2</sub>	-41.1	16.09	(Şahin ve ark., 2020)
$Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ :Chopped strands	-44.75	6.24	(Şahin, 2023)

Polianilinin kompozit malzemede kullanılması, kompozit bileşenler arasındaki iletimlerin uyum empedansını geliştirmektedir. Polianilin ve  $GdMnO_3-Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  arasındaki arayüzey polarizasyonu, elektromanyetik kalkanlayıcı kompozit malzemeye büyük fayda sağlar.



**Çizelge 2.** Epoksi-(GdMnO<sub>3</sub>/PANI/BZN) kompozitlerin belirli frekanslarda ve frekans aralıklarında ekranlama etkinliği

Sample	SE (dB)	Frequency (GHz)
GdMnO <sub>3</sub> :Ba(Zn <sub>1/3</sub> Nb <sub>2/3</sub> )O <sub>3</sub> bileşimleri (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1	-50.83	15.77
	-20	6.5- 6.96, 7.36- 16.88, 16.99-17.59
	-56.77	15.77
GdMnO <sub>3</sub> :Ba(Zn <sub>1/3</sub> Nb <sub>2/3</sub> )O <sub>3</sub> bileşimleri (ağırlıkça % 50-50) /Anilin: 1/1	-30	8-18
	-40	8.45-10.79, 14.6-16.65
	-50	9.06-9.71, 15.65-15.88
	-46.09	15.18
GdMnO <sub>3</sub> :Ba(Zn <sub>1/3</sub> Nb <sub>2/3</sub> )O <sub>3</sub> bileşimleri (ağırlıkça % 75-25) /Anilin: 1/1	-20	6.45-7.25, 8.82-13.67, 13.86-15.98, 16.08-16.61

GdMnO<sub>3</sub> ve Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> 'ün kristalit boyutu küçüldüğünde ve düzensiz bölgeler arttıkça, yüzey spinlerindeki döndürme çarpışmaları artar, bu da kristal yapı içinde gözlemlenen parçacık boyutu dağılımında bir artışa ve buna karşılık olarak perdeleme etkisi pik genişliklerinde bir artış olarak görülebilir. Ani oluşan SE pikleri, tutucu geometrisi ve yansımanın rezonans etkisinden dolayı ortaya çıkar. Ayrıca elektromanyetik dalgaların oluşturduğu girdap akımlarını en aza indirmek için, yüksek frekanslı malzemelerin geçirgenliği girdap akımlarının etkisini azaltabileceğinden, iletken polimer polianilin kullanılmıştır. İletken polimer PANI aynı zamanda malzemede elektrik kayıplarına da yol açarak BZN yapısının dielektrik koruma etkisini ayarlamak ve elektromanyetik ekranlamanın etkinliğini arttırmak için bileşenleri uygun hale getirir.

## SONUÇ

Bu çalışmada ilk kez, polianilin tabanlı GdMnO<sub>3</sub>/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozitlerin mikrodalga kalkanlama etkinliği ölçümleri incelenmiştir. GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> kompozitleri basit ve düşük maliyetli üretim süreçleri nedeniyle etkili mikrodalga koruma malzemeleri olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. (GdMnO<sub>3</sub>-Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> (ağırlıkça % 50-50) /Anilin: 1/1) kompozisyonu en iyi mikrodalga kalkanlama etkinliği değerlerini vermiştir. Kompozit malzeme en düşük -56.77 dB değerini 15.77 GHz frekansında 1.4 mm kalınlıkta vermiştir. Geniş frekans bandı olarak 8'den 18 GHz'e kadar -30 dB' in altında oldukça iyi ekranlama etkinliği değeri göstermiştir. Bu sonuçların, literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılabilir olması, çeşitli uygulamalarda kullanım için elektromanyetik ekranlama özelliklerine sahip yeni kompozit malzemelerin geliştirilmesi için önemli etkileri olabilir. GdMnO<sub>3</sub>/PANI/Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>'ün çeşitli katkı maddeleri ile mikrodalga ekranlama etkinliği, yansıma kaybı ve yutma yada soğrulma etkinliği düşük radar frekansları veya daha yüksek frekans bantlarında teknolojik gelişmeler için incelenebilir. Bu kompozitler, elektromanyetik kirliliğin önlenmesi, zırh ve kalkanlama malzemelerinin geliştirilmesi için rehber olarak incelenebilir, ayrıca kompozit malzemelerin diğer özelliklerini değerlendirmek için verimli bir yol sağlamaktadır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma yardımları asla unutulmayacak Emsal Şahin, Salim Şahin ve Prof. Dr. Ayhan Mergen anısına ithafendir.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

## KAYNAKLAR

- Bhingardive, V., Sharma, M., Suwas, S., Madras, G., Bose, S. (2015). Polyvinylidene fluoride based lightweight ve corrosion resistant electromagnetic shielding materials. *RSC Advances*, 5, 35909-35916.
- Chaudhary, A., Kumari, S., Kumar, R., Teotia, S., Singh, B. P., Singh, A. P., Dhawan, S. K., Dhakate, S. R. (2016). Lightweight ve easily foldable MCMB-MWCNTs composite paper with exceptional electromagnetic interference shielding. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 8(16), 10600-10608.
- Chen, Z., Yi, D., Shen, B., Zhang, L., Ma, X., Pang, Y., Liu, L., Wei, X., Zheng, W. (2018). Semi-transparent biomass-derived macroscopic carbon grids for efficient and tunable electromagnetic shielding. *Carbon*, 139, 271-278.
- Chung D. D. L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. *JMEPEG*, 9, 350-354.
- Gogotsi, Y., Huang, Q. (2021). MXenes: Two-dimensional building blocks for future materials and devices. *ACS Nano*, 15(4), 5775-5780.
- Golezani, J. J., Kartal, M., Döken, B., Paker, S. (2022). Triple-band frequency selective surface design effective over oblique incidence angles for GSM system. *IETE Journal of Research*. 68(2), 1406-1410.
- Guan, X., Yang, Z., Zhou, M., Yang, L., Peymanfar, R., Aslibeiki, B., ve Ji, G. (2022). 2D Mxene nanomaterials: synthesis, mechanism, and multifunctional applications in microwave absorption. *Small Structures*, 3, 2200102.
- Hamouni, M., Heddar, S., Ansri, A., Khaldi, S. (2014). A comparative study of electromagnetic shielding efficiency of composites conducting polymers in near and far-fields. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(3), 945-950.
- Huang, M., Yang, X., ve Jiang, F. (2018). Dielectric and luminescent properties of Sm<sup>3+</sup> doped Ba(Zn<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub> ceramics with perovskite strycture, *Materials Research Express*, 5(6), 066301.
- Ibrahim, J. E. (2015). *Enhancement of Structural and Magnetic Properties of Eu and Fe Doped GdMnO<sub>3</sub> and Cr Doped HoMnO<sub>3</sub> Multiferroic Ceramics* (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Ibrahim, J. F. M., Mergen, A., Sahin, E. İ., Basheer, H. S. (2017). The effect of europium doping on the structural and magnetic properties of GdMnO<sub>3</sub> multiferroic ceramics. *Advanced Ceramics Progress*, 3(4), 1-5.
- Lalan, V., Ganesanpotti, S. (2020). Broadband electromagnetic response and enhanced microwave absorption in carbon black and magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles reinforced polyvinylidenfluoride composites. *Journal of Electronic Materials*, 49(3), 1666-1676.

- Liu, L., Bian, X.-M., Hou, Z.-L., Wang, C.-Y., Li, Z. S., Hu, H. D., Qi, X. & Zhang, X. (2016). Electromagnetic response of magnetic graphene hybrid fillers and their evolutionary behaviors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27, 2760-2772.
- Ma, X., Zhang, X., Li, Y., Li, G., Wang, M., Chen, H., Mi, Y. (2006). Preparation of nano-structured polyaniline composite film via “Carbon Nanotubes Seeding” approach and its gas-response studies. *Macromolecular Materials Engineering*, 291(1), 75-82.
- Meisak, D., Plyushch, A., Macutkevič, J., Grigalaitis, R., Sokal, A., Lapko, K. N., Selskis, A., Kuzhir, P., Banys, J. (2023). Effect of temperature on shielding efficiency of phosphate-bonded  $CoFe_2O_4 - xBaTiO_3$  multiferroic composite ceramics in microwaves. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 1939-1948.
- Qasrawi, A. F., Hamarsheh, A. A. (2022). Structural, optical and electrical properties of band-aligned  $CdBr_2/Au/Ga_2S_3$  interfaces and their application as band filters suitable for 5G technologies. *Journal of Electronic Materials*, 51, 3693-3704.
- Qasrawi, A. F., Şahin, E. İ., Emek, M., Kartal, M., Kargin, S. (2019). Structural and dielectric performance of the  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3-x}Sb_x)O_3$  perovskite ceramics. *Materials Research Express*, 6, 095095.
- Santhosi, B. V. S. R. N., Ramji, K., Rao, N. B. R. Mohan. (2020). Design and development of polymeric nanocomposite reinforced with graphene for effective EMI shielding in X-band. *Physica B: Condensed Matter*, 586, 412144.
- Schnitzler, D. C., Meruvia, M. S., Hümmelgen, I., Aldo, J., Zarbin, G. (2003). Preparation and characterization of novel hybrid materials formed from  $(Ti,Sn)O_2$  nanoparticles and polyaniline. *Chemistry of Materials*, 15(24), 4658-4665.
- Shahzad, F., Alhabeab, M., Hatter, Christine B., Anasori, B., Hong, S. M., Koo, C. M., Gogotsi, Y. (2016). Electromagnetic interference shielding with 2D transition metal carbides (MXenes). *Science*, 353(6304), 1137-40.
- Shukla, V. (2020). Role of spin disorder in magnetic and EMI shielding properties of  $Fe_3O_4/C/PPy$  core/shell composites. *Journal of Materials Science*. 55, 2826-2835.
- Şahin, E. İ., Emek, M., Ertuğ, B., Kartal, M. (2020). Electromagnetic shielding performances of Colemanite/PANI/SiO<sub>2</sub> composites. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 34-42.
- Şahin, E. İ. (2023). Electromagnetic shielding effectiveness of  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ : chopped strands composites for wide frequency applications. *Journal of Ceramic Processing Research*, 24(1), 190-196.
- Şahin, E. İ. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of  $ZnNb_2O_6$ -chopped strands composites for radar wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62(3), 161-170.
- Şahin, E. İ. (2019). *Katkılı  $NiFe_2O_4$  Polimer Tabanlı Mikrodalga Yutucuların Frekans Seçici Malzeme Tasarımı* (Doktora Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şahin, E. İ. (2010). *Yeni  $Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$  Bazlı Dielektrik Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu* (Yüksek Lisans). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Şahin, E. İ., Emek, M., Ibrahim, J. E. F. M. (2022). CuO/PANI/Kolemanit Kompozitlerin Geniş Bant Elektromanyetik Ekranlama Etkinliği. Prof. Dr. Elif Orhan, Dr. Öğr. Üyesi Elanur Seven, Teoriden Uygulamaya Fizik ve Matematik Alanında Akademik Çalışmalar (S. 121-132) içinde. İksad Publishing House.

- Şahin, E. İ. & Emek, M. (2023). Elektromanyetik kirlilik ortamında Kaolinit/PVA kompozitlerin elektromanyetik kalkanlama özellikleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(43), 194-204.
- Şahin, E. İ., Emek, M., Ibrahim, J. E. F. M. (2023). *Instrumental measurements laboratory* (1st ed.). Iksad Publishing House.
- Tariq, F., Shifa, M., Tariq, M., Kazim Hasan, S., & Baloch, R. A. (2015). Hybrid nanocomposite material for EMI shielding in spacecrafts. *Advanced Materials Research*, 1101, 46-50.
- Ting, T. H., Yu, R. P., Jau, Y. N. (2011). Synthesis and microwave absorption characteristics of polyaniline/NiZn ferrite composites in 2–40 GHz. *Materials Chemistry Physics*, 126(1-2), 364-368.
- Topcu, İ. (2020). Investigation of wear behavior of particle reinforced Al/B<sub>4</sub>C composites under different sintering conditions. *Tehnicki Glasnik*, 14(1), 7-14.
- Topcu, İ. (2022). Sol-Jel yöntemi ile üretilen silica tabanlı hidrofobik aerojellerin karakterizasyon özelliklerinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 45, 1-7.
- Topcu, İ. (2021). Examination of wear properties of Al/B<sub>4</sub>C composites reinforced with irregularly shaped B<sub>4</sub>C. *Journal of Ceramic Process Research*, 22(3), 276-282.
- Wang, X. C. ve Liu, Z. (2012). A new computation of shielding effectiveness of electromagnetic radiation shielding fabric. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 33, 177-186.
- Wang, M., Wang, R., Dai, H., Li, T., Chen, J., Liu, D., Yan, F., Chen, D. (2022). The structure, optical and magnetic properties of GdMnO<sub>3</sub> nano ceramics induced by aluminum substitution. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 553, 169256.
- Xiangcheng, L., Chung, D. D. L. (1999). Electromagnetic interference shielding using continuous carbon-fiber carbon-matrix and polymer-matrix composites. *Composites Part B: Engineering*, 30(3), 227–231.
- Yang, C. C., Gung, Y. J., Hung, W. C., Ting, T. H., Wu, K. H. (2010). Infrared and microwave absorbing of BaTiO<sub>3</sub>/Polyaniline and BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/Polyaniline composites. *Composites Science and Technology*, 70(3), 466-471.
- Ye, F., Dai, H., Wang, M., Chen, J., Li, T. & Chen, Z. (2020). The structural, dielectric, and magnetic properties of GdMnO<sub>3</sub> multiferroic ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31, 3590-3597.
- Zhang, W., Zhang, X., Wu, Z., Abdurahman, K., Cao, Y., Duan, H., Jia, D. (2019). Mechanical, electromagnetic shielding and gas sensing properties of flexible cotton fiber/polyaniline composites. *Composites Science and Technology*, 188, 107966.