



*Araştırma Makalesi / Research Article*

**ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK ORTAMINDA KAOLİNİT/PVA  
KOMPOZİTLERİN ELEKTROMANYETİK KALKANLAMA  
ÖZELLİKLERİ**

**ELECTROMAGNETIC SHIELDING EFFECT PROPERTIES OF KAOLINITE/PVA  
COMPOSITE IN ELECTROMAGNETIC POLLUTION ENVIRONMENT**

**Ethem İlhan ŞAHİN<sup>1</sup>**

**Mehriban EMEK<sup>2</sup>**

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1252709>

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author*  
shnethem@gmail.com

*Geliş Tarihi / Received*  
18.02.2023

*Kabul Tarihi / Accepted*  
24.04.2023

**Öz**

Bu çalışmada, kaolinit-PVA kompozitlerini oluşturmak için geleneksel oksitlerin karışımı yöntemi kullanılmıştır.  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  kimyasal denklemine sahip tek fazlı kaolinit bileşiği,  $1150^\circ C$ 'de 4 saat sinterlendikten sonra elde edildi. Yapısal araştırma için çeşitli miktarlarda kaolinit-PVA üretildi. Yapısal analiz için X-ışını kırınımı (XRD) yapıldı, bu da  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ 'te ikincil fazın oluşmadığını gösterdi. Ayrıca çeşitli oranlarda  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ -PVA bileşimleri ve epoksi tozu kullanılarak mikrodalga kalkanlama etkili kompozitler sıcak presleme yöntemiyle üretilmiştir. Bir ağ analizör cihazı kullanılarak,  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ /PVA kompozitlerinin mikrodalga ekranlama etkisi 6-18 GHz aralığında incelenmiştir. 1.4 mm kalınlıkta 6.92 GHz'de minimum -47.02 dB ekranlama etkisi değeri elde edilmiştir.  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ /PVA bileşikler kompozit malzeme olarak üretilmiş ve kalkanlama etkisi için özellikleri karakterize edilmiştir. Daha yüksek ve gerekli frekans bantlarında çalışmak için, kompozitlerdeki bileşenlerin miktarı ayarlanarak, mikrodalga kalkanlama etkisi performansı değiştirilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaolinit, mikrodalga kalkanlama etkinliği, matris kompozit, PVA.

**Abstract**

In this study, the traditional mixed oxides method was used to create kaolinite-PVA composites. The single phase kaolinite compound with the chemical equation  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  was generated after sintering at  $1150^\circ C$  for 4 h. For the structural investigation, various quantities of kaolinite-PVA were generated. X-ray diffraction (XRD) was carried out for the structural analysis, which indicated that second phase did not form in  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ . In addition, by using  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ /PVA compositions and epoxy powder in various proportions, microwave shielding effectiveness composites were manufactured by hot pressing method. Utilizing a network analyser device, the microwave shielding effect of  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ /PVA composites were investigated in the range of 6-18 GHz. A minimum shielding effect value of -47.02 dB was obtained at 6.92 GHz at 1.4 mm thickness. The  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ -PVA compounds were produced as composite material and their properties were characterized for shielding effect. To work in higher and required frequency bands, by adjusting the amount of components in the composites, the performance of the microwave shielding effect can be changed.

**Keywords:** Kaolinite, microwave electromagnetic shielding effect, matrix composite, PVA.

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adana, Türkiye. shnethem@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-7859-9066.

<sup>2</sup>Adıyaman Üniversitesi, Gölbaşı Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Gölbaşı, Adıyaman, Türkiye. emekmehriban@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-7322-9808.

## 1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim teknolojisine bağlı olarak elektronik cihazların ve uydu haberleşme ağlarının yaygınlaşması nedeniyle yüksek frekanslı uygulamalara olan talep artmıştır. GHz frekans bölgesindeki elektromanyetik dalgalar, iletişim sistemlerinde ve çeşitli elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. GPS, kablosuz iletişim ve mobil cihazlar dahil olmak üzere elektronik teknolojilerinin hızla ilerlemesi ve minyatürleşmesiyle sonuçlanan aşırı elektromanyetik radyasyon, artık diğer kirlilik nedeni olarak sayılmakta, insan sağlığı ve çevre için tehdit oluşturmaktadır (Wang ve ark., 2022; Şahin, 2022; Qasrawi, 2022). Elektromanyetik dalgalar iletişim sistemlerinde aşırı kullanıldığında, elektromanyetik girişim (EMI) olarak bilinen elektromanyetik kirliliğin olumsuz genişlemesine katkıda bulunan çok sayıda istenmeyen elektromanyetik dalga oluşturmaktadır (Lalan ve Ganesanpotti, 2020). Elektromanyetik radyasyon, çok sayıda elektronik cihazın hassasiyeti ve işlevselliği ile birlikte günlük yaşamın çeşitli yönleri üzerinde olumsuz etkiye sahip olabilmektedir. Sessiz ve görünmez yüksek yoğunluklu elektromanyetik dalgalara uzun süre maruz kalmak, genetik fonksiyona ve bağışıklık fonksiyonuna etkinin yanında, fizyolojik olarak değişikliklere ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Panagopoulos ve Margaritis, 2010; Zaroushani ve ark., 2015). Elektromanyetik dalga maruziyetini önlemek ve azaltmak için, kişisel koruyucu ekipman kullanmak gibi, maruz kalma süresinin sınırlandırılması, maruz kalma düzeylerinin kabul edilebilir seviyelere düşürülmesi benzeri mühendislik teknikler vardır (Zaroushani ve ark., 2015). Sistemleri ve insanları bu elektromanyetik kirliliklerden korumak için EMI'ye karşı koruyucu zırhlama malzemelerinin kullanılması gerekmektedir. EMI kalkanları, istenmeyen EM dalgaları perdeleme yada ekranlama yaparak, malzeme tarafından emilmesine veya yansıtılmasına neden olan mekanizmalar kullanarak elektromanyetik dalgalardan koruma sağlayabilir (Lalan ve Ganesanpotti, 2020; Liu ve ark., 2016; Meisak ve ark., 2023).

EMI koruması üzerinde etkisi olan birkaç faktör vardır, bunlardan birincisi, mobil yük taşıyıcılarının (elektronlar veya delikler) gelen EM dalgalarıyla nasıl etkileşime girdiğine bağlı olan yansıma kaybıdır. İkincisi ise, manyetik ve elektriksel dipollerin EM dalgalarla etkileşiminden etkilenen absorpsiyon kaybıdır (Şahin, 2019). Çoklu yansıma etkisi olarak bilinen üçüncü mekanizma ise, koruyucu malzeme içindeki iç yansımaları ifade eder. Bu etki genellikle çok sayıda ve oldukça büyük yüzey veya ara yüzey bölgeleri olduğunda kendini gösterir (Hamouni ve ark., 2014; Shukla, 2020).

Elektromanyetik girişim, özellikle havacılıkta iletişim komuta, kontrol sistemine zarar verebilmektedir, ayrıca risk yaratarak kazalara neden olabilmektedir. Bu bağlamda, yeni ve geliştirilmiş frekans seçici EMI kalkanlama özelliği gösteren malzemeler daima dikkat çekmektedir (Avloni ve ark., 2007; Wang ve Liu, 2012). Ayrıca giyim sektöründe elektromanyetik koruyucu tekstil malzemelerinin çeşitli kullanımları olduğu gibi, nükleer araştırma tesislerinde de EMI radyasyon kalkanı beton tarzı malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve Liu, 2012). Sonuç olarak, elektromanyetik koruyucu özellik gösteren yeni malzemelerin araştırılması ve üretilmesi oldukça önemli hale gelmiştir. Sağlam ve giyilebilir özellikte olan kablosuz teknolojilerle sorunsuz bir şekilde birleştirilebilen EMI koruyucu malzemeler en başta sağlık açısından elektromanyetik korunma için önem arz etmektedir ve gereklidir. Yukarıda belirtilen sorunları ele almanın en etkili yöntemi, EMI koruyucu malzemelerin kullanılması olmalıdır. "Ekranlama etkinliği" terimi, ekranlama performansını (SE) tanımlamak için kullanılan bir ifadedir (Şahin ve ark., 2022).

Kaolinin ana maddesi kaolinittir. Kimyasal formülü  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  olan kaolinit, katmanlı bir silikat mineralidir. Metal elementler çoğunlukla cevher yataklarındaki kil mineralleri (kaolinit, montmorillonit ve mika gibi) üzerinde hidratlı veya hidroksil iyonları şeklinde adsorbe edilir. Hidratlı metal iyonlarının etkili bir adsorbanı, tipik bir 1:1 tipi kil minerali olan kaolinittir (Chen

ve ark., 2019). Kaolinit seramik, kağıt, refrakter malzemeler vb. üretimlerinde öncelikli çok önemli ham madde olarak kullanılır.

Kaolinit mineralin yüzey reaktivitesi, mekanik özellikleri hidrasyon ve adsorpsiyonun bir sonucu olarak değişir, bu nedenle dağılabilir özelliktedir (Shaikh ve ark., 2017). Bu nitelikleri nedeniyle kaolinit, çimento hamuru, çamur delme, mineral flotasyonu, atık susuzlaştırma, çevre koruma gibi uygulamalarda çok fazla umut vaat etmektedir (Anderson ve ark., 2010; Xing ve ark., 2017; Kang ve ark., 2019; Xu ve ark., 2017; Shakeel ve ark., 2021). İnorganik dolgu maddeleri genellikle hidrojelde doğrudan kimyasal değişiklik olsun veya olmasın kullanılır (He ve ark., 2019). Reaktif fonksiyona sahip hidroksil gruplarının çoğu, yoğun şekilde paketlenmiş alüminosilikat tabakalarında gizlenmiştir, çünkü kaolinitin yapısı, hidrojenle bağlanmış alüminosilikat tabakalarının birikmesiyle oluşur, ham kaolinit katmanlı bir agrega şeklini sergiler (Ding ve ark., 2021).

Polimer matrisli kompozitler geniş ürün yelpazesi sundukları için daha çok tercih edilmektedir, ayrıca bu kompozitler yeni malzemenin istenilen eksikliklerini giderebilirler (Topcu, 2020).

Polivinil alkol (PVA) suda çözünür özellikte olup, toksik (zararlı) olmayan, fiber, film ve jel formunda geniş çapta araştırılan ve uygulanabilen şeffaf sentetik polimerdir. PVA, güçlü bir hidrofilik yapıya ve hidrojen bağlama özelliğine sahiptir, böylece ince film veya zar oluşturabilmektedir (Castell ve ark., 2013; Mallapragada ve Peppas, 1996; Zhang ve ark., 2009). Polivinil alkol (PVA) hidrofil yapıda, biyoyumluluğu olan, kimyasal yapı dayanıklılığı olan, sade yapışkanlık gösteren ve hidroksil grubunun basit modifikasyonu gibi avantajlarından dolayı yaygın kullanılan sentetik polimerlerdendir (İkiz, 2009). Ayrıca iyi film oluşturabilme özelliğine sahip PVA tekstil ve kimya endüstrisinde, seramik alanında, elektronik kaplama alanlarında, sağlık alanında, inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır (Pivovar ve ark., 1999).

Daha önceki araştırmalarda elektromanyetik kalkanlama ölçümleri örneklerine bakıldığında, elde edilen grafen nanokompozitlerin x-band bölgesinde -30 dB kalkanlama etkinliği değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Santhosi ve ark., 2020). %0.25 MWCNT kompozitlerinin ölçümlerinde ise 1.6 GHz tek bant frekansında -39 dB ekranlama etkinliği değerine sahip olduğu belirlenmiştir (Tariq ve ark., 2015). Bir diğer çalışmada kırpılmış elyaf tabanlı  $ZnNb_2O_6$  kompozitlerin kalkanlama (ekranlama) etkinliği performansının 6.75 GHz frekansında -51.32 dB değerinde olduğu tespit edilmiştir (Şahin, 2022). Bir başka çalışmada ise polianilin tabanlı kolemanit:SiO<sub>2</sub> kompozitleri için en yüksek elektromanyetik kalkanlama değerinin 16.09 GHz frekansında -41.1 dB değer verdiği belirlenmiştir (Şahin ve ark., 2020).

Ekranlama etkisinin kapasitesi, gelen elektromanyetik dalganın malzemedene ne kadar uzağa gittiği ile alakalıdır. Ekranlama etkisi değeri -10 dB değer gösterdiğinde, malzemeye gelen elektromanyetik dalganın %90 oranında azaldığı ve %10'unun karşıya geçtiği kabul edilmektedir (Chung, 2000; Ting ve ark., 2011).

Bu araştırmada, kaolinit/PVA optimum parametrelere göre bir bileşim kompoziti olarak üretildi ve kalkanlama etkinliği karakteristikleri belirlendi. Yeni elde edilen bu kompozitlerin bileşenleri farklı oranlarda alınmış ve epoksi tozu ile birleştirilmiş, sonrasında sıcaklıklı hidrolik pres makinesinde belirli kalıpta preslenerek kaolinit/PVA kompozitleri farklı oranlarda oluşturulmuştur. Bu kompozitlerin karakterizasyonu için XRD (Bruker / Alpha -T) cihazı kullanılmıştır (Şahin, 2019; Şahin, 2023; Topcu, 2022; Topcu ve ark., 2020; Şahin ve ark., 2023). Üretilen yeni kaolinit/PVA kompozitlerinin mikrodalga ekranlama etkinliği, belirli radar frekans bantları dahil olmak üzere 6-18 GHz frekans bandında EMI-SE ölçebilen Agilent Technologies marka N 5230A PNA serisi Ağ Analizörü cihazı ile ölçülmüştür (Golezani ve ark., 2022; Şahin ve ark., 2022).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Kaolinitin Hazırlanışı

Doğal kaolinit ile PVA tozu oksitlerin karışımı yöntemi ile kaolinit/PVA kompoziti halinde üretilmiştir. Ticari olarak elde edilen kaolinit (Aldrich) tozu yaklaşık 10 µm tane boyutuna sahiptir, yoğunluğu 2.6 gr/cm<sup>3</sup> civarındadır. PVA (Merck) tozları ise beyaz renkte granüller halinde elde edilir ve yoğunluğu 1.25 gr/cm<sup>3</sup> civarındadır. Doğal kaolinit buharlaşma kaybının önlenmesi amacıyla kapalı alümina sert pota içinde 450°C'de 4 saat süreyle kalsine edildi, bu numune kalsinasyon işlemi öncesinde ve sonrasında tartılmış ve ağırlık kontrolü sağlanmıştır. Kalsine edilen numune tozları akik sert havanda öğütülüp 2 MPa basınç altında tek eksenli hidrolik preste 10 mm çapında ve 1-2 mm kalınlıkta pelet halinde sinterleme işlemi öncesinde üretildi. Peletler halindeki doğal kaolinit mühürlü seramik potanın üzerine monte edilerek, uçucu türlerin kaybının azaltılması amacıyla 1150°C'de 4 saat kadar 300°C/saat ısıtma ve soğutma hızı ile yüksek sıcaklıklı fırında sinterlendi. Sinterlenen kaolinit numunesindeki, ayrıca PVA numunesindeki fazların karakterize edilmesi için, 2θ:10–70° aralığında Cu-Kα radyasonlu ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ), 1°/dk. taramalı hızı ile, D2 Phaser Bruker AXS marka X-ışını difraktometrisi (XRD) cihazı kullanıldı. X-ışını toz difraktometrisi ile ana yapıların kaolinit ve PVA olduğu belirlendi. Kaolinit/PVA kompozitlerin mikrodalga kalkanlama (ekranlama) etkinliği Agilent teknoloji marka N5230A PNA serisi ağ analizör (NA) cihazı ile geniş frekans bandında 6-18 GHz aralığında ölçülmüştür.

### 2.2. Kaolinit/PVA Kompozitlerin Hazırlanışı

Dayanıklı seramik agat havan içinde daha da ezilen ve toz haline getirilen PVA numunesi, sinterlenmiş kaolinit ile stokiometrik oranlarda karıştırılmıştır. Karışım kompozisyonu ağırlıkça sırasıyla (kaolinit - PVA) %80-20 ve %60-40 ayarlanmış ve plastik kaplar içine alınarak, kap içerisine 20 adet zirkonya bilye ve etanol konularak dönmeli değirmende 20 saat boyunca karıştırıldı. Karışım sonrası elde edilen bulamaçlar 50°C sıcaklık altında 24 saat kadar etüvde bekletilerek kurutuldu, belirli oranlarda alınan her bir karışım kompozisyonu etanol ile filtrelenerek yıkandı ve ince süzgeç kağıtlarda süzüldükten sonra elde edilen bulamaç vakum içine alınarak 24 saat boyunca 40°C'de bekletildi. Farklı oranlarda alınan yeni kaolinit/PVA (ağırlıkça %80-20, %60-40) kompozitleri elektromanyetik korunmanın nasıl etki ettiğinin belirlenmesi için üretilmiştir.

### 2.3. Epoksi-(Kaolinit/PVA) Kompozitlerin Hazırlanışı

Kaolinit/PVA bileşimi ve epoksi yeni kompozitlerin oluşturulması için belirli formda kalıplanarak oluşturuldu. Bileşim numunenin epoksi toza karışımı ağırlıkça 5:1 olarak belirlendi. Kalıplanma, sıcaklığı ayarlanabilir hidrolik pres cihazında 5 MPa basınç altında 60°C sıcaklık altında 45 dakika bekletilme ile gerçekleşmiştir. Kalkanlama etkinliğinin ölçümü için 1.5 cm'e 3 cm boyutlarında dikdörtgen şeklinde 1.4 mm kalınlığında kompozit numune üretilmiştir (Şekil 1). Kaolinit/PVA kompozitleri, geniş bant frekans bölgesinde koruma etkisi sağlamak amacıyla epoksi kullanılarak üretilmiş ve kalkanlama etkinliği testleri gerçekleştirilmiştir.

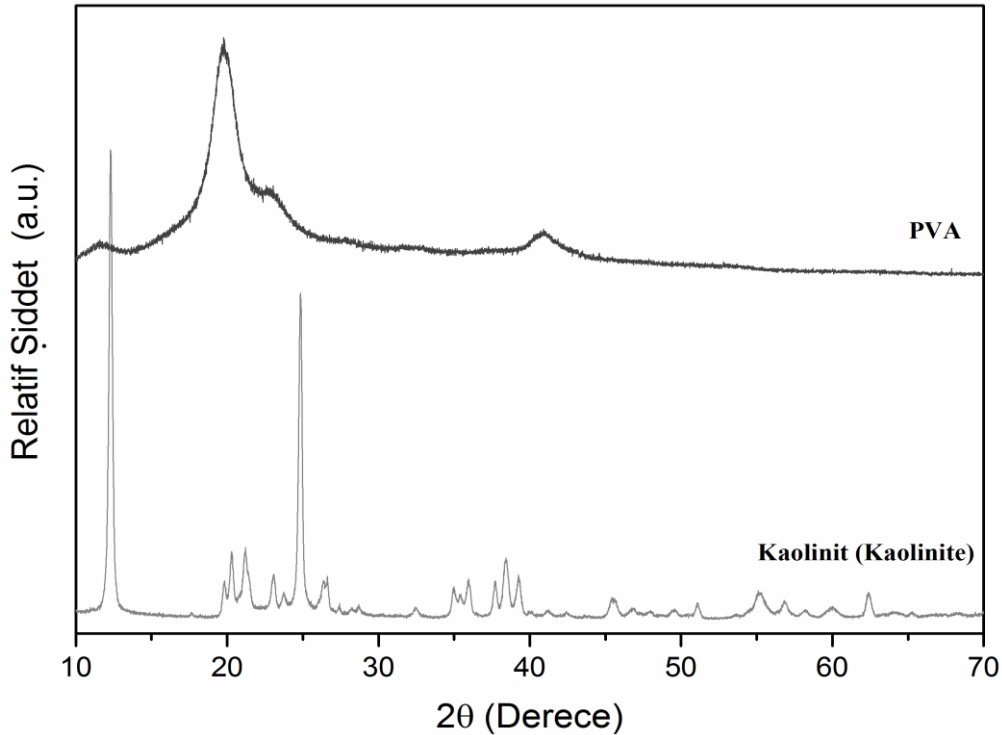


Şekil 1. Ölçüm Numuneleri, (Kaolinit/PVA)-Epoksi

### 3. ÖLÇÜMLER VE TARTIŞMA

#### 3.1. (Kaolinit/PVA) XRD Analizi

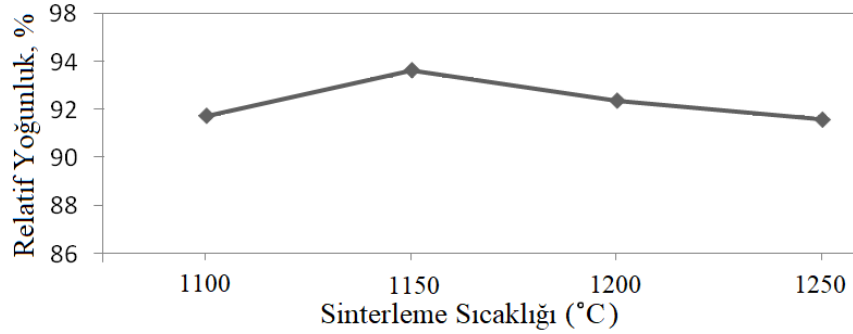
Kaolinit ve PVA'nın yapısal analizi için XRD spektroskopisi uygulandı. PVA ve 1150°C'de 4 saat sürede sinterlenen kaolinit'in X-ışını difraktometrisi çalışması, tek fazlı kaolinit ve PVA yapısını tespit etti (Şekil 2). XRD analizi sonucunda temel fazlar, kaolinit (PDF kart no: 00-005-0143), PVA (PDF kart no: 00-053-1847) olarak belirlenmiştir. Kaolinit'in tek fazlı yapı durumu, belirli bir kalsinasyon sıcaklığı ile olabilecek ara fazların ortadan kaldırılmasıyla ve uygun sinterlenme sıcaklığıyla elde edildi. Ölçüm sonuçlarına göre numunelerin kırınım pikleri ana fazdaki yapı ile uyum içindedir. XRD incelenmesine göre kaolinit ve PVA yapılarında ikincil fazlara rastlanılmamıştır.



Şekil 2. Kaolinit (1150°C'de sinterlenmiş) ve PVA için XRD paterni

### 3.2. Kaolinit'in Yoğunluk Ölçümleri

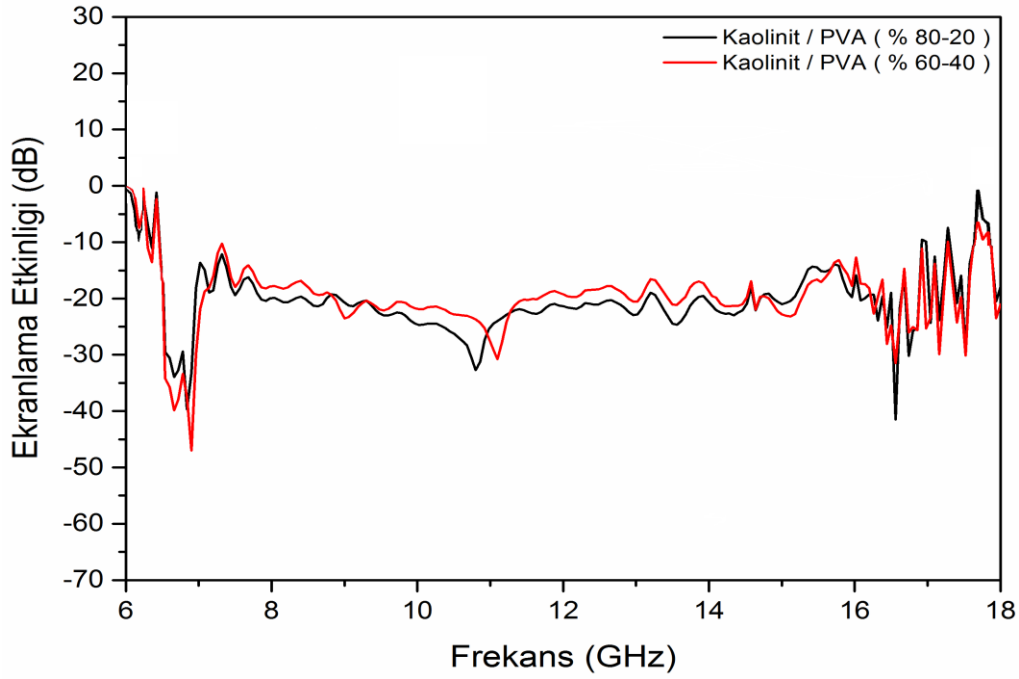
Sinterleme sonrası elde edilen kaolinit peletlerinin yoğunlukları arşimet yöntemi kullanılarak ölçüldü. Kaolinitler 1100°C'de yaklaşık %92 nispi yoğunluğa sahipken, 1150°C'de yoğunluk değeri %94'e ulaşmış ve daha sonra yoğunluk değerinde kademeli bir düşüş yaşanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kaolinit'in Relatif Yoğunluklarının Sinterleme Sıcaklığı ile Değişimi

### 3.3. (Kaolinit/PVA) Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği Ölçümleri

6-18 GHz geniş frekans bandında Şekil 4 (kaolinit/PVA)-epoksi kompozitlerin kalkanlama (ekranlama) etkinliğinin frekansa bağlı değişimini göstermektedir. Kalkanlama etkinliği yani SE (shielding effect) ölçümü N 5230A PNA seri ağ analizör aleti ile gerçekleştirildi. Pürüzsüz 1.4 mm kalınlıktaki dikdörtgen formdaki numuneler tekrar tekrar ölçülerek cihazın ölçümleri kontrol edilmiştir. Kaolinit/PVA kompozitleri arasında, kaolinit/PVA'nın (ağırlıkça %60-40) mikrodalga ekranlama etkinliği performansı diğer kaolinit/PVA (ağırlıkça %80-20) 'ya göre daha üstündü. Kaolinit/PVA (ağırlıkça %60-40) kompoziti en düşük değeri 6.92 GHz frekansta -47.02 dB olarak vermiştir. Bu kompozit sırasıyla 6.67, 11.09, 16.56, 17.53 GHz frekanslarında -40.14, -30.87, -31.8, -30.14 dB değerlerini göstermiştir. Ayrıca 6.48 ile 7.25 GHz, 7.36 ile 17.26 GHz arasındaki geniş frekans aralığı bölgelerinde -10 dB değeri altında kalkanlama etkisi göstermiştir. Buna ek olarak 6.51 ile 7.02 GHz, 9.73 ve 11.38 GHz, 16.42 ve 16.63 GHz frekans aralıkları bölgelerinde -20 dB değerinden daha az ekranlama etkinliği göstermiştir.



Şekil 4. (Kaolinit/PVA)- Epoksi Kompozitlerin Kalkanlama (ekranlama) Etkinliği Ölçümleri: Kaolinit-PVA (ağırlıkça %80-20) , Kaolinit-PVA (ağırlıkça %60-40)

Kaolinit miktarı yükseldiğinde ve PVA miktarı düştüğünde yani kaolinit/PVA (ağırlıkça %80-20) kompoziti test edildiğinde, en düşük -41.55 dB ekranlama etkinliği değerini 16.56 GHz frekansında yakalamıştır. Yine bu kompozit sırasıyla -39.88, -33.01, -30.14 dB değerlerini 6.83, 10.82, 17.53 GHz frekanslarında vermiştir. Ayrıca 6.51'den 16.92 GHz'e kadar olan geniş frekans bant bölgesinde -10 dB'den daha düşük kalkanlama etkinliği değeri göstermiştir. -20 dB'den daha az SE değerlerini ise 6.48 ile 6.92 GHz, 9.31 ile 12.29 GHz, 13.96 ile 14.51 GHz frekans aralıkları bölgelerinde vermiştir.

Ölçümlerde numune kalınlığı kritik öneme sahiptir, ayrıca kompozit malzemenin ölçülen SE değerleri geometriye ve oryantasyona bağlıdır. Elektromanyetik kalkanlayıcı malzemedeki iç yansımaların neden olduğu çoklu yansıma etkisi, EMI koruması üzerinde bir etkiye sahiptir ve malzemede çok sayıda büyük yüzey alanı veya arayüz bölgesi bulunduğu fark edilmektedir. Gözenekli yapıda olan bu kompozit malzeme, tahminen geniş spesifik yüzey alanlarına ve fazlaca iç tane sınırlarına sahiptir. Bu karakteristikler, EM dalga kalkanlama etkinliğini artırır, ayrıca malzemenin hafifliği de kompozit malzemenin değerli bir özelliğidir.

PVA ve kaolinit arasındaki çoklu arayüzler, arayüz polarizasyon varlığından dolayı gelişmiş elektromanyetik kalkanlama etkisini destekler. Mikrodalga kalkanlama etkisi aynı zamanda malzeme yüzeyindeki ışınlama empedansının uyumluluğu ile ilgilidir. PVA, kompozitlerin içeriğindeki malzemeler arasındaki iletimlerdeki uyum empedansını geliştirir. Bu arada, tutucu geometrisinin rezonans etkisi ve yansıma nedeniyle ölçüm sonuçlarında keskin ekranlama etkisi tepe noktaları ortaya çıkar. Kaolinit/PVA kompozitleri, geniş bant bölgesinde elektromanyetik dalga için iyi kalkanlama etkinliği gösterir. Yeni kompozitlerin mikrodalga kalkanlama etkinliği, malzemedeki PVA ve kaolinit konsantrasyonu ayarlanarak değiştirilebilir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışma sonucunda (kaolinit-PVA) kompozitleri ağırlıkça sırasıyla %80-20 ve %60-40 ayarlanarak oksitlerin karışımı tekniği ile 1.4 mm kalınlığında üretilmiştir. Bu, bilinen (kaolinit-PVA) kompozitlerin geniş frekans bandındaki ilk kalkanlama etkinliği ölçümü araştırmasıdır. Kaolinit-PVA kompozitleri, mikrodalga ekranlama etkinliği ölçümleri, uygun maliyetli olmaları ve hazırlanma tekniği kolaylıkları nedenleriyle, ileri araştırmalar için de oldukça umut verici sonuçlar vermiştir. Epoksi-(kaolinit/PVA) kompozisyonu mikrodalga ekranlama etkinliği verimliliğini artırmak için, kompozit olarak üretilmiştir.

Tablo 1. Epoksi-(kaolinit/PVA) Kompozitlerinin Ekranlama Etkinliği Sonuçları

Örnek	SE (dB)	Frekans (GHz)
Kaolinit/PVA (%80-20)	-41.55	16.56
	-20	6.48-6.92, 9.31-12.29, 13.96-14.51
	-10	6.51-16.92
Kaolinit/PVA (%60-40)	-47.02	6.92
	-20	6.51-7.02, 9.73-11.38, 16.42-16.63
	-10	6.48-7.25, 7.36- 17.26

Kaolinit: PVA (ağırlıkça %60-40) kompoziti geniş frekans aralığı olarak, 7.36'dan 17.26 GHz'e kadar -10 dB'den düşük kalkanlama etkisi değeri göstermiştir. Ayrıca 6.51 ile 7.02 GHz, 9.73 ve 11.38 GHz, 16.42 ve 16.63 GHz frekans bantlarında -20 dB'den daha düşük ekranlama etkinliği değeri vermiştir. Kaolinit/PVA (ağırlıkça %80-20) kompoziti ise geniş frekans aralığı olarak 6.51'den 16.92 GHz'e kadar -10 dB'den daha az kalkanlama etkinliği değeri vermiştir. Ayrıca -20 dB'den daha az ekranlama etkinliği değerlerini ise 6.48 ile 6.92 GHz, 9.31 ile 12.29 GHz, 13.96 ile 14.51 GHz frekans aralığı bölgelerinde göstermiştir (Tablo 1).

Mikrodalga kalkanlama etkinliği kapasiteleri, daha geniş bileşen katkılarıyla incelenebilir. Bu kompozit geniş frekans bant aralığında mikrodalga kalkanlama etkinliği için umut vericidir. Mikrodalga ekranlama etkinliğinin daha iyi sonuçlar vermesi için kaolinit/PVA kompoziti kullanılmıştır. Gelecekte daha düşük frekanslarda ve farklı frekans bantlarında, bu kompozitin çeşitli katkı malzemeleriyle kalkanlama etkisi ve yansıma kaybı değerleri araştırılabilir.

### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

### Teşekkür

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

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.



**Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**KAYNAKÇA**

- Anderson, R. L., Ratcliffe, I., Greenwell, H. C., Williams, P. A., Cliffe, S., Coveney, P. V. (2010). Clay swelling -A challenge in the oilfield. *Earth-Science Reviews*, 98(3-4), 201–216.
- Avloni, J., Ouyang, M., Florio, L., Henn, A. R., Sparavigna, A. (2007). Shielding effectiveness evaluation of metallized and polypyrrole-coated fabrics. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 20(3), 241-254.
- Castell, P., Cano, M., Maser, W. K., Benito, A. M. (2013). Combination of two dispersants as a valuable strategy to prepare improved poly(vinyl alcohol)/carbon nanotube composites. *Composites Science and Technology*, 80, 101-107.
- Chen, J., Min, F. F., Liu, L. Y., Liu, C. F. (2019). Mechanism research on surface hydration of kaolinite, insights from DFT and MD simulations. *Applied Surface Science*, 476, 6–15.
- Chung, D. D. L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9, 34-354.
- Ding, M., Su, H., Yang, K., Li, Y., Li, F., Xue, B. (2021). Preparation and characterization of an aluminosilicate material with layer expansion structure. *Applied Clay Science*, 211, 106179.
- Golezani J. J., Kartal, M., Döken, B., Paker, S. (2022). Tribble-Band frequency selective surface design effective over oblique incidence angles for GSM system. *IETE Journal of Research*, 68(2), 1406-1410.
- Hamouni, M., Heddar, S., Ansri, A., et al. (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.
- He, G., Wang, C., Gao, J., Fan, L., Zhao, S., Chai, Y. (2019). Carboxymethyl chitosankaolinite composite hydrogel for efficient copper ions trapping. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(2), 102953.
- İkiz, Y. (2009). Elektro çekim yöntemi işlem parametrelerinin PVA nanolif morfolojisine etkileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(3), 363-369.
- Kang, X., Xia, Z., Chen, R., Liu, P., Yang, W. (2019). Effects of inorganic cations and organic polymers on the physicochemical properties and microfabrics of kaolinite suspensions. *Applied Clay Science*, 176, 38–48.
- 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. et al. (2016). Electromagnetic response of magnetic graphene hybrid fillers and their evolutionary behaviors. *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, 27, 2760-2772.

- 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  $\text{CoFe}_2\text{O}_4 - x\text{BaTiO}_3$  multiferroic composite ceramics in microwaves. *Journal of Materials Research and Technology*, 24, 1939-1948.
- Mallapragada, S. K., Peppas, N. (1996). Dissolution Mechanism of Semicrystalline Poly (vinyl alcohol) in Water. *Journal of Polymer Science Part B*, 34, 1339–1346.
- Orhan, E., Seven, E. (edt.) (2022). Teoriden Uygulamaya Fizik ve Matematik Alanında Akademik Çalışmalar. *İksad Publishing House*, Ankara.
- Panagopoulos, D. J., Margaritis, L. H. (2010). The effect of exposure duration on the biological activity of mobile telephony radiation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 699(1-2), 17-22.
- Pivovar, B. S., Wang, Y., Cussler, E. L. (1999). Pervaporation membranaes in direct methanol fuel Cells. *Journal of Membrane Science*, 154(2), 155-162.
- Qasrawi, A. F., Hamersheh, A. A. (2022). Structural, optical and electrical properties of band-aligned  $\text{CdBr}_2/\text{Au}/\text{Ga}_2\text{S}_3$  interfaces and their application as band filters suitable for 5G technologies. *Journal of Electronic Materials*, 51, 3693-3704.
- Santhosi, B. V. S. R. N., Ramji, K., Rao, N. B. R. M. (2020). Design and development of polymeric nanocomposite reinforced with grapheme for effective EMI shielding in X-band. *Physica B: Condensed Matter*, 586, 1-9.
- Shaikh, S. M. R., Nasser, M. S., Hussein, I., Benamor, A., Onaizi, S. A., Qiblawey, H. (2017). Influence of polyelectrolytes and other polymer complexes on the flocculation and rheological behaviors of clay minerals: a comprehensive review. *Separation and Purification Technology*, 187, 137–161.
- Shakeel, A., Kirichek, A., Chassagne, C. (2021). Rheology and yielding transitions in mixed kaolinite/bentonite suspensions. *Applied Clay Science*, 211, 106206.
- Shukla, V. (2020). Role of spin disorder in magnetic and EMI shielding properties of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{C}/\text{PPy}$  core/shell composites. *Journal of Material Science*, 55, 2826-2835.
- Şahin, E. İ, Emek, M., Ertug, B., Kartal, M. (2020). Electromagnetic shielding effectiveness of Colemanite/PANI/SiO<sub>2</sub> composites radar and wider frequency ranges. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 34-42.
- Şahin, E. İ. (2023). Electromagnetic shielding effectiveness of  $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ :Chopped strands composites for wide frequency applications. *Journal of Ceramic Processing Research*, 24(1), 190-196.
- Şahin, E. İ., Emek, M., Ibrahim, Jamal Eldin F. M., Yumuşak, G., Kartal, M. (2023). Shielding effectiveness performance of polyaniline- $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ :Cu composites for sub-8 GHz applications. *Optical and Quantum Electronics*, 55, 500.
- Şahin, E. İ. (2019). *Katkılı  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  Polimer Tabanlı Mikrodalga Yutucuların Frekans Seçici Malzeme Tasarımı* [Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, İstanbul.

- Şahin, E.İ. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>-Chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62(3), 161–170.
- Tariq, F., Shifa, M., Hasan, S. K., and 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 and Physics*, 126, 364-368.
- Topcu, İ. (2020). Investigation of wear behavior of particle reinforced AL/B4C composites under different sintering conditions. *Tehnicki Glasnik*, 14(1), 7-14.
- Topcu, İ. (2022). Sol-Jel yöntemi ile üretilen silica tabanlı hidrofobik aerogellerin karakterizasyonu özelliklerinin incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 45, 1-7.
- Topcu, İ., Ceylan, M., Yılmaz, E. B. (2020). Experimental investigation on mechanical properties of multi wall carbon nanotubes (MWCNT) reinforced aluminium metal matrix composites. *Journal of Ceramic Process Research*, 21(5), 596-601.
- Wang, X. C, Liu, Z. (2012). A new computation of shielding effectiveness of electromagnetic radiation shielding fabric. *Progress in Electromagnetics Research Letters*, 33, 177-186.
- Wang, L., Long, F., Chen, Y., Xiong, H., Rehman, S. U., Chang, J., Zhong, Z. (2022). Optimization of the microwave absorption properties of FeSiCr@Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> core-shell nanoparticles by controlling the thickness and crystallinity of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> shell. *Journal of the American Ceramic Society*, 105, 4171-4179.
- Xing, Y. W., Xu, X. H., Gui, X. H., Cao, Y. J., Xu, M. D. (2017). Effect of kaolinite and montmorillonite on fine coal flotation. *Fuel*, 195, 284–289.
- Xu, Y., Liang, X., Xu, Y., Qin, X., Huang, Q., Wang, L., Sun, Y. (2017). Remediation of heavy metal-polluted agricultural soils using clay minerals: A review. *Pedosphere*, 27, 193–204.
- Zhang, W., Zhang, Z., Wang, X. (2009). Investigation on surface molecular conformations and pervaporation performance of the poly(vinyl alcohol) (PVA) membrane. *Journal of Colloid and Interface Science*, 333(1), 346–353.
- Zaroushani, V., Khavanin, A., Mortazavi, S., Jnonidi, A., Moieni, M., Javadzadeh, M. (2015). The role of a new electromagnetic shielding in reducing the microwave radiation for the x-band frequencies, *Iran Occupational Health*, 12(5), 83-99.