



Radar ve Daha Geniş Frekans Uygulamaları için Zeolit: Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği

Ethem İlhan Şahin^{1*}, Mehriban Emek²

^{1*} Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adana, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7859-9066), shnethem@gmail.com

² Adıyaman Üniversitesi, Gölbaşı Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bilgisayar Programcılığı, Gölbaşı, Adıyaman, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7322-9808), emekmehriban@gmail.com

(İlk Geliş Tarihi 5 Temmuz 2022 ve Kabul Tarihi 26 Ekim 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1141007)

ATIF/REFERENCE: Şahin, E.I., Emek, M. (2022). Radar ve Daha Geniş Frekans Uygulamaları için Zeolit: Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Ekranlama Etkinliği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 240-245.

Öz

Bu çalışmada, geleneksel karışık oksit tekniği kullanılarak zeolite: kırpılmış elyaf kompozitler üretilmiştir. Tek fazlı doğal zeolit bileşiği 1050 °C'de 4 saat sinterlendikten sonra üretildi. Yapısal inceleme için, çeşitli miktarlarda zeolit: kırpılmış elyaf kompozit tozları üretildi. Yapısal analiz için X-ışını kırınımı (XRD) yapıldı, bu da zeolitte ikinci fazın oluşmadığını gösterdi. Ek olarak, zeolit: kırpılmış elyaf kompozitler, çeşitli oranlarda zeolit, kırpılmış elyaf bileşimleri ve epoksi kullanılarak sıcak presleme ile imal edildi. Çeşitli ağırlıklarda oluşturulan zeolite: kırpılmış elyaflar bileşiği ve epoksi reçinesi, mikrodalga koruyucu etkili kompozitleri imal etmek için kullanıldı. Ağ analizör (NA) cihazı kullanılarak, 1.5 mm kalınlıktaki zeolit: kırpılmış elyaf kompozitlerin mikrodalga ekranlama etkinliği 6.5-17.5 GHz frekans aralığında ölçüldü ve 17.17 GHz'de minimum -40.52 dB ekranlama etkinlik değeri elde edildi. Zeolit: kırpılmış elyaf kompozitlerinin özellikleri, ekranlama etkinliği için karakterize edildi. Numunelerdeki zeolit ve kırpılmış elyafların içeriği, mikrodalga ekranlama etkisi performansını değiştirmek için daha büyük ve gerekli frekans bantları için modüle edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik ekranlama etkinliği, Matriks kompozitler, Karışık oksit, Zeolit.

Shielding Effectiveness of Zeolite: Chopped Strands Composites for Radar and Wider Frequency Applications

Abstract

In this study, zeolite: chopped strands composites were produced by using traditional mixed oxide technique. The single phase natural zeolite compound was generated after sintering at 1050 °C for 4 h. For the structural investigation, various quantities powders of zeolite: chopped strands composites were generated. X-ray diffraction (XRD) was carried out for the structural analysis, which indicated that second phase did not form in zeolite. Additionally, the zeolite: strands composites were manufactured by hot pressing using the compositions of zeolite, chopped strands in various proportions and epoxy. The zeolite:chopped strands compound formed in various weights, and epoxy resin were used to fabricate microwave shielding effectiveness composites. Utilizing network analyser (NA), the microwave shielding effect of zeolite: chopped strands composites at a thickness of 1.5 mm were measured in the range of 6.5-17.5 GHz and a minimum of -40.52 dB shielding efficacy value was achieved at 17.17 GHz. Features of zeolite: chopped strands composites were characterized for shielding effectiveness. The content of zeolite and chopped strands in the samples may be modulated for the larger and needed frequency bands to change the microwave shielding effect performance.

Keywords: Electromagnetic shielding effectiveness, Matrix composites, Mixed oxide, Zeolite.

* Sorumlu Yazar: shnethem@gmail.com

1. Giriş

Radar, uydu iletişimi ve mobil iletişim sektörlerinde yüksek frekans uygulamalarına olan talebin artması nedeniyle, elektromanyetik radyasyon ve elektromanyetik Interference (EMI) şu anda ciddi bir tehdit olarak görülmektedir (Cao ve ark., 2016). Yüksek frekanslı elektronik endüstrisinin yoğun üretimi nedeniyle, elektromanyetik kirlilik ve EMI günümüz dünyasında önemli bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Elektromanyetik radyasyon sadece elektrik güç sisteminin verimini ve çıkışını engellemekle kalmaz, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde de zararlı bir etkiye sahiptir. EMI koruyucu malzemelerin kullanılması, yukarıda belirtilen sorunları verimli bir şekilde azaltmak için yararlı bir stratejidir. Sadece bu bağlamda, yeni ve daha etkili EMI ekranlama malzemeleri büyük ilgi görmüştür (Shahzad ve ark., 2016; Yousefi ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017; Kargar ve ark., 2019, Jia ve ark., 2019). EMI tarafından üretilen sinyal radyasyonları elektronik uygulamalara büyük ölçüde zarar verebilmektedir. Bu, dijital makinelerin yüksek maruziyette arızalanmasına neden olabilir ve ayrıca insanların sağlığını etkileyebilir (Sahin ve ark., 2020; Pan ve ark., 2017). Elektromanyetik (EM) dalgalarının korunması, radyasyon gücünün yansması veya emilmesi yoluyla EM enerjisini termal enerjiye dönüştürerek parazitlerin azalmasına yol açar (Zhang ve ark., 2016).

Ayrıca, EM radyasyonun, özellikle gelecekte (5G) iletişim sistemlerinden kaynaklanarak insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri hakkındaki düşüncelere giderek artmaktadır (Abbasi ve ark., 2019). EM Paraziti filtreleyen bir kalkan sağlamak, zararlı radyasyonu önlemek, elektronik ekipmanları da korumak için iyi bir seçenektir. Katı ve hafif koruyucu malzemeler büyük ilgi görmektedir (Qasrawi & Hamarsheh, 2022; Yuan ve ark., 2017). Özellikle, iyi ekranlama etkinliğine sahip malzeme, iyi elektriksel iletkenlik, mükemmel termal ve yüksek EMI koruyuculuk özelliğine sahip olmalıdır (Chem ve ark., 2013; Mondal ve ark., 2018; Mondal ve ark., 2017).

EM radyasyon yutulması ve yansması, EM alanları ile koruyucu malzemelerde sırasıyla mobil yük taşıyıcıları ve manyetik, elektrik dipollerinin doğrudan etkileşiminden kaynaklanan EMI korumasının iki ana mekanizmasıdır. Malzemelerin elektriksel iletkenliğinin, EMI ekranlamanın özelliklerini kontrol etmek için bir parametre olduğu bilinmektedir (Abbasi ve ark., 2019; Chung ve ark., 2001; Chen ve ark., 2018). Koruyucu malzemeler, içlerine dielektrik özellik gösteren taneler entegre edilerek daha verimli hale getirilebilir, böylece koruyucu malzemenin kalınlığı azaltılabilir.

Başka bir yöntem de elektromanyetik girişim koruyucu için yayılan bileşenlerin yanına yerleştirilen belirli polimerik veya metalik koruyucu malzemeler tarafından radyasyonun yutulması, yansmasıdır (Zhang ve ark., 2011; Singh ve ark., 2012). Koruyucu etkili malzemeler, alanları bloke ederek uzaydaki elektromanyetik alanı azaltmak için engelleyiciler olarak kullanılır, örneğin, radyo frekansının korunması genellikle radyo dalgalarını ve radyasyonu önleme işlevidir (Tibbets ve ark., 2007). EMI ekranlama için metal pullar, metalik teller, parçacıklar ve karbon fiberler başlıca olmak üzere süresiz iletken dolgu kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılır (Xiangcheng & Chung, 1999). Ek olarak, gigahertz frekans bölgesinde, potansiyel olarak EMI ekranlama malzemeleri kullanılmıştır (Yan ve ark., 2014).

Kabul edilebilir ekranlama verimliliği elde etmek için genellikle yüksek içsel iletkenlik ve/veya malzemede yüksek iletken ağı özelliği olması gerekmektedir (Ai-Saleh, 2015; Zhang ve ark., 2015).

Diğer bir yaklaşım ise örneğin polimer kompozitler üretmek için katmanlı yapıyı kullanarak kaplama tekniğini uygulamaktır. İşlevsel bileşenler ince bir kaplama tabakasıyla sınırlı görüldüğü için, yerel iletken bileşen konsantrasyonu artar. Bu sistemde elektriksel iletkenlik ağları hızla oluşturulur. Bu verimli ve basit strateji ile kompozitlerin ekranlama verimliliği etkin şekilde geliştirilebilir (Yin ve ark., 2019; Avadhanam ve ark., 2018).

Yüksek performanslı kompozit imalat endüstrisinde, cam fiberler (cam elyaf fitil veya kırılmış elyaflar) mükemmel mekanik özelliklere sahip en önemli takviyeler arasındadır (Shayed ve ark., 2010). Cam elyaf, kompozitler için uygun maliyetli ve çok amaçlı bir takviyedir. Korozyona dayanıklı ve hafiftir. Kompozitin nitelikleri, cam elyaflar ve matris reçinesi arasındaki arayüz bağlantısı tarafından belirlenir (Zhao & Takeda, 2000). Diğer kompozitlere kıyasla mükemmel mukavemeti, nem direnci ve elektrik ve yangın yalıtımı nedeniyle kırılmış elyafların matı, e-cam/epoksi kompozitleri de denizcilik uygulamaları için potansiyel bir malzeme olarak ortaya çıkıyor. Kırılmış elyaflar, sürekli cam fiberlerden kıyılır. Kırılmış elyaflar, birleştirmenin zorluklarına direnmek için tasarlanmıştır. Üstün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı daha çok otomotiv tekstilleri, spor tekstilleri, havacılık sektörü, rüzgar türbini kanatları ve tekstil takviye betonu gibi teknik tekstillerin üretiminde kullanılmaktadır (Gupta ve ark., 2007).

Zeolitler, genellikle volkanik kül çöküntülerinden oluşan tuf kayalarında bulunan metalik olmayan minerallerdir. Zeolitler farklı kimyasal ve fiziksel özellikler sergilediğinden teknolojik gelişmeler paralelinde endüstride önemli yer tutan mineraldir. Alternatif bir doğal fitil materyali olarak zeolitler adsorpsiyon-desorpsiyon yetenekleri, ikincil bir ortamı barındırma yetenekleri, iyon değişimi, hidrofilik, yüksek termal ve kimyasal kararlılık, mikro gözeneklilik, toksik olmama ve çevre dostu olma, düşük maliyet gibi çekici özellikleri nedeniyle çeşitli uygulamalarda büyük potansiyel göstermiştir. Zeolitler petekler gibi benzersiz kristal yapılar sergilerler, $(AlO_4)^{-5}$ ve $(SiO_4)^{-4}$ kristal yapılardan oluşurlar. Eşsiz özelliklerinden dolayı petrol arıtma, petrokimya, tarım, su ve atık su arıtma gibi çeşitli alanlarda da kullanılmaktadırlar (Koochsaryan & Anbia, 2016; Snelders ve ark., 2016; Alswat ve ark., 2017).

Zeolitlerin lifler, fiberler veya parçacıklar gibi farklı formlarda ikincil bir seramik faz ile güçlendirilmesi, farklı özelliklerini arttırmaya yönelik en etkili yöntemler olarak kabul edilebilir, nispeten ucuz hammaddeden elde edilen erişilebilir olan bu mineral malzeme dikkate değer mekanik özellikleriyle de yapı malzemesi olarak birçok alanda kullanılabilir (İbrahim ve ark., 2022; İbrahim, Tihtih, Kurovics, Şahin, Gömze, Kocserha, 2022).

Ekranlama etkinliği performans değeri, malzemeye gelen elektromanyetik dalganın malzemenin karşıya ne kadar geçtiğine bağlıdır. Gelen elektromanyetik dalganın -10 dB ekranlama etkisi değeri ile yüzde 90 oranında azaldığı ve yüzde 10'unun karşı tarafa geçtiği bilinmektedir (Ting ve ark., 2011).

Önceki araştırmalarda, 1.5 mm kalınlığındaki Wollastonite/PANI/Colemanite kompozitleri için maksimum elektromanyetik ekranlama performansı 6.26 GHz frekansında – 41.65 dB olarak ölçülmüştür (Şahin & Emek, 2021). Başka bir çalışmada T-ZnO@Ag/Silikon kauçuk kompozitlerinin elektromanyetik ekranlama etkinliği 2 mm kalınlığındaki kauçuk katmanlarda test edilmiştir (Nie ve ark., 2018). Bir diğer çalışma olarak üretilen grafen nanokompozitler X-bandında – 30 dB ekranlama etkisi değeri göstermiştir (Santhosi ve ark., 2020). Bir diğer analizde, örneğin, maksimum elektromanyetik ekranlama etkisi, ağırlıkça % 0.25 MWCNT kompozitleri için 1.6 GHz'de -39 dB olarak hesaplanmıştır (Chung, 2000). Ayrıca elektrik ark ocaklarından çıkan cüruf agregra içeren betonun radyasyon kalkanı etkinliği incelenmiştir (Lim ve ark., 2019).

Bu araştırmada, ilk defa zeolit:kırpılmış elyaf kompoziti optimum parametrelere göre farklı oranlarda hazırlanarak ekranlama etkinliği değerleri için test edildi. Epoksi kullanılarak çeşitli oranlarda yeni zeolit: kırpılmış elyaf kompozitleri üretilmiş ve sıcak presleme ile farklı oranlarda Zeolit:kırpılmış elyaf kompoziti oluşturulmuştur. Kompozit bileşenlerinin fazlarının belirlenmesinde XRD (Bruker / Alpha -T) cihazı kullanılmıştır. 10 MHz – 40 GHz frekans aralığında ölçüm yapabilen ağ analizör (NA) cihazı ile (N 5230 A PNA seri marka-Agilent Teknoloji) zeolit:kırpılmış elyaf kompozitlerin belirli radar frekans bantları dahil olmak üzere özellikle X ile Ku bandı arasındaki (8-12 GHz) radar frekans bandı hedeflenerek geniş frekans bant aralığında (6.5-17.5 GHz) mikrodalga ekranlama etkinliği ölçülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Zeolitin Hazırlanışı

Doğal zeolit (klinoptilolit) tozları ve kırpılmış elyaflar, karışık oksit tekniği kullanılarak bileşik olarak elde edilmiştir. Ticari bir ürün olarak satın alınabilen doğal zeolit tozları Manisa Gördes havzasından birçok firma tarafından üretilmekte ve satışa sunulmaktadır. Ticari bir ürün olarak satın alınabilen doğal zeolit en küçük 36 µm partikül büyüklüğüne ve % 95 saflık oranına sahiptir.

Kırpılmış elyaflar sürekli cam fiberlerden kesilerek 6 mm uzunlukta birleştirmenin zorluklarına dayanacak şekilde tasarlanarak bir çok firma tarafından yığın yoğunluğu 635 kg/ m³ olacak şekilde üretilerek satışa sunulmaktadır.

Doğal zeolit tozları buharlaşma kayıplarını önlemek için tamamen kapalı alümina pota içinde 600 °C'de 4 saat kalsine edildiler, kalsinasyon öncesi ve sonrası numuneler tartılarak kontrol edildi. Kalsine tozlar akik havanda öğütüldükten sonra 2 MPa basınçlı tek eksenli pres kullanılarak sadece 10 mm çapında ve 1-2 mm kalınlığında pelet haline getirildi. Doğal zeolit tozları 600 °C'de kalsine edildi ve mühürlü bir potaya monte edildikten sonra, peletler, uçucu türlerin kaybını azaltmak için 1050 °C'de 4 saat boyunca 300 °C/saat ısıtma ve soğutma hızında sinterlendi. Sinterlenmiş numunelerdeki fazlar, 2θ:10 – 70° aralığında Cu-Kα radyasyonlu ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) ve 1°/ dakika tarama hızında XRD (X-ışını difraktometrisi - D2 Phaser Bruker AXS) ile karakterize edilmiştir. X-ışını toz difraktometrisi kullanılarak ana yapının (zeolit) yapısını bozmadan tanımlanan çözünürlük limiti belirlendi. Zeolit: kırpılmış elyaf kompozitlerin mikrodalga ekranlama etkinliği ölçümleri, agilent teknoloji firmasının PNA Serili NA cihazı ile 6.5-17.5 GHz frekans aralığında yapılmıştır.

2.2. Zeolit/Kırpılmış Elyaf Kompozitlerin Hazırlanışı

Bir akik havanda ezilerek toz haline getirildikten sonra, kırpılmış elyaflar sinterlenmiş doğal zeolit tozları ile stokiyometrik oranlarda karıştırılmıştır. Tozlar, 20 saat boyunca sırasıyla (kırpılmış elyaf-sinterlenmiş zeolit) kompozisyonuna göre ağırlıkça % 80-20 ve % 60-40 olacak şekilde ayarlanarak bir plastik kap içinde zirkonya bileyeler ile etanol içinde dönmeli değirmende karıştırıldı.

Daha sonra bulamaçlar 20 saat boyunca 100 °C'de etüvde bekletilerek kurutulmuştur. Elde edilen bu karışım tozları deiyonize su ve etanol ile yıkanarak ve süzülerek 24 saat boyunca 60 °C'de vakum altında bekletildi. Kırpılmış elyaf: zeolit kompozitler sıcak preslenme öncesi elde edildi, daha sonra çeşitli molar oranlara sahip bu kompozitlerin elektromanyetik ekranlama etkinliğinin özellikleri araştırıldı.

Farklı oranlarda [kırpılmış elyaf-zeolit (ağırlıkça %80-20), kırpılmış elyaf-zeolit (ağırlıkça %60-40)] alınan kırpılmış elyaf: zeolit kompozitleri, elektromanyetik korumanın nasıl sağlandığını görmek ve özellikle kırpılmış elyaf bileşeninin elektromanyetik ekranlama etkinliğini nasıl etki yaptığını belirlemek için de üretildi. Yeni kompozitler, kırpılmış elyaf ve sinterlenmiş zeolit tozu kullanılarak oluşturulmuştur. Çeşitli oranlarda kırpılmış elyaf: zeolit kompoziti oluşturmak için sıcaklıklı hidrolik pres cihazı kullanılmıştır.

2.3. Epoksi-(Kırpılmış Elyaf/Zeolit) Kompozitlerin Hazırlanışı

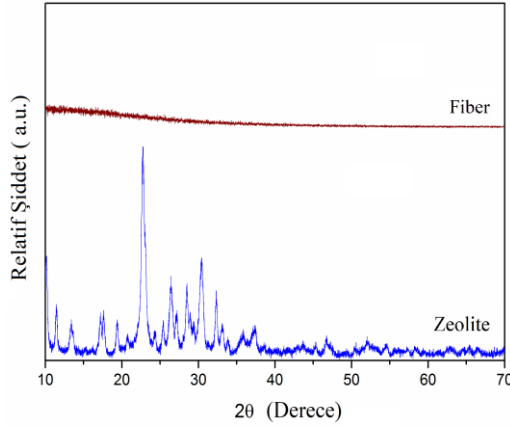
Kırpılmış elyaf: zeolit bileşimi ve epoksi karışımı kalıplanarak ve kürlenerek kompozit malzemeler hazır hale getirilmiştir. Bileşim numune tozunun epoksiye karışım oranı ağırlıkça 5:1 alınmıştır. Kalıplama sıcaklıklı hidrolik preste 5 MPa basınçta ve 150 °C'de 1 saat süre bekletilerek yapılmıştır. Ekranlama etkinliği ölçümleri için 20 mm çapında ve 1.5 mm kalınlığında peletler yapılmıştır. Belirli oranlarda alınan kırpılmış elyaf: zeolit kompozitler, geniş bant frekans aralığında mikrodalga ekranlama etkinliği ölçüm testleri için epoksi tozu kullanılarak üretilmiştir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Zeolit/Kırpılmış Elyaf XRD Analizi

Zeolit:kırpılmış elyafların yapısal analizi için XRD spektroskopisi yapıldı. XRD cihazı kullanılarak 1050 °C'de 4 saat sinterlenen numunedeki fazın tek fazlı zeolit yapısı olduğu karakterize edilmiştir (Şekil 1). Oksitlerin karışımı sentezi ile Zeolit'in tek fazlı oluşumu uygun kalsinasyon sıcaklığında olası ara fazların ortadan kaldırılması ve sinterleme ile sağlandı. XRD paternlerinin tespitinde de görüldüğü gibi ana faz zeolit (Şekil 1.) (PDF Kart No:00-017-0756) olarak belirlenmiştir.

XRD analizi, zeolit yapısında ikincil faz olmadığını göstermiştir. Numunelerin kırınım pikleri zeolit ile uyumlu ve faz yapıları tek fazlı zeolit fazı olarak kaldı. Ayrıca, zeolit sentezi sıcaklığa bağlıdır ve bazen tek fazlı zeolit üretmek için yüksek sıcaklıklar kullanılır.



Şekil 1. Zeolit ve kırılmış elyaf için XRD paterni (4 saat boyunca 1050°C 'de sinterlenmiş tek fazlı zeolit)

(Figure 1. X-ray powder diffraction patterns for zeolite and chopped strands (single phase sintered zeolite for 4 h at 1050 °C))

3.2. Zeolit/Kırılmış Elyaf Kompozitlerin EMI Ekranlama Etkinliği Ölçümleri

Şekil 2, 6.5-17.5 GHz geniş frekans aralığında, epoksi-zeolit:kırılmış elyaf kompozitlerinin ekranlama etkinliğinin frekans bağımlılığını göstermektedir.

Ekranlama etkinliği yani SE (shielding effect) ölçümleri için N 5230A PNA serisi Network analizör cihazı kullanıldı.

Malzemeye gelen elektromanyetik dalganın ne kadarının emildiği veya ne kadarının geri yansıdığı da bu cihaz ile ölçülebilir ancak biz malzemeye gelen elektromanyetik dalganın ne kadarının malzemeden geçtiğine bakmaktayız.

X-band radarların frekans aralığı 8-12 GHz olup, sinyalleri 8-12 GHz aralığında oluşan sinyallerdir. Bu radar sinyallerinin de kompozit malzemeden ne kadarının geçtiği test edilmiştir (Şahin, 2022).

Numune kalınlığı kritik bir boyuttur. SE ölçümlerinin en iyi tekrarlanabilirliği için referans numune alanı ve yük numunesi kalınlık olarak aynıydı, kompozitlerin ölçülen SE değerleri geometri ve oryantasyona bağlıdır. Ekranlama etkisinin performans değeri, gelen elektromanyetik dalganın kompozit malzemeden ne kadar geçtiğine bağlıdır.

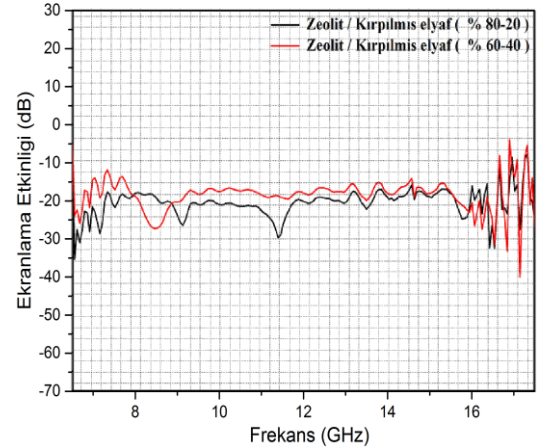
Zeolit: kırılmış elyaf kompozitleri arasında, zeolit/kırılmış elyafın (ağırlıkça %80-20) olanının mikrodalga ekranlama yetenekleri, zeolit/kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40) daha üstündü. Zeolit/kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40'ta) kompoziti en düşük 17.17 GHz frekansında -40.52 dB'ye ulaştı. Bu kompozit malzeme sırasıyla 6.67 GHz, 8.48 GHz, 16.55 GHz, 16.85 GHz, 17.17 GHz, 17.41 GHz frekanslarında -26.18 dB, -27.74 dB, -31.77 dB, -33.35 dB, -40.29 dB, -21.03 dB ekranlama etkinliği değerlerine ulaştı. Ayrıca 6.5 GHz'den 16.65 GHz'e kadar olan geniş frekans aralığında -10 dB'den daha az bir ekranlama etkisi elde etti. Ek olarak, bu kompozit malzeme 6.53 ve 6.74 GHz, 8.06 ve 9.04 GHz, 15.7 ve 16.17 GHz frekans aralıklarında -20 dB'den daha az bir ekranlama etkinliği değeri gösterdi.

Kompozit bileşenlerinden zeolit miktarı arttığında ve kırılmış elyaf miktarı düştüğünde, Zeolit/Kırılmış elyaf (ağırlıkça % 80-20'de) kompozitleri sırasıya 6.54 GHz, 7.14 GHz, 9.11 GHz, 11.39 GHz, 13.51 GHz, 15.78 GHz, 16.43 GHz,

16.56 GHz, 16.86 GHz, 17.15 GHz tek bantlarında -35.37 dB, -28.88 dB, -26.62 dB, -29.99 dB, -22.38 dB, -24.84 dB, -32.45 dB, -23.49 dB, -27.53 dB ekranlama etkisi değerlerine ulaştı. Bu kompozit malzeme 0 ve 16.92 GHz geniş frekans aralığında ayrıca 16.99 ve 17.26 GHz frekans aralığında -10 dB 'den daha az bir ekranlama etkinliği elde etti. Ayrıca 8.52 ve 9.66 GHz, 9.87 ve 11.77 GHz, 15.63 ve 15.98 GHz, 16.41 ve 16.61 GHz frekans aralıklarında -20 dB'den daha düşük ekranlama etkinliği kabiliyetine sahiptir.

EMI ekranlama, malzeme içindeki iç yansımaları temsil eden çoklu yansıma etkisinden etkilenir ve çoğunlukla malzemede çok sayıda ve geniş yüzey alanları veya arayüzey alanları olduğunda ortaya çıkar. Gözenekli yapıya sahip bu kompozit malzemeler, muhtemelen geniş bir özgül yüzey alanına ve çok sayıda iç tane sınırına sahiptir. Bu özellikler dalga perdeleme (ekranlama) etkinliğini artırır.

Mikrodalga ekranlama etkinliği performansı aynı zamanda malzemenin yüzeyindeki ışınlanmanın empedansının eşleşmesine de bağlıdır. Kırılmış elyaflar, kompozitin bileşenleri arasındaki iletimlerde eşleşen empedansı iyileştirir. Empedans uyumunu sağlamak için kırılmış elyaflar kullanılmıştır. Bu arada, tutucu geometrisinin ve yansımanın rezonans etkisi nedeniyle keskin ekranlama etkisi zirveleri ortaya çıkmıştır.



Şekil 2. (Zeolit/kırılmış elyaf)-epoksi kompozitlerin ekranlama etkinliği: zeolit-kırılmış elyaf (ağırlıkça % 80-20) kompozitler, zeolit-kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40) kompozitler

(Figure 2. Shielding effect of the epoxy-(zeolite/chopped strands) composites: zeolite-chopped strands (at 80-20 wt. %) compositions, zeolite-chopped strands (at 60-40 wt. %) compositions)

Kırılmış elyaf temelli zeolit kompozitleri, geniş frekans aralığı bölgesinde belirli radar çalışma frekans aralığı bölgelerinde elektromanyetik dalgalar için güçlü bir ekranlama (kalkanlama) etkinliği oranına sahiptir ve yeni kompozitlerin mikrodalga perdeleme etkisi, bu teknolojiye kırılmış elyaf ve zeolit konsantrasyonu değiştirilerek ayarlanabilir. Kırılmış elyafların konsantrasyonu kompozit yapı üzerinde bir etkiye sahiptir ve malzemenin geçirgenliği, ekranlama verimliliğine katkıda bulunan kıyılmış şeritlerden etkilenmektedir.

Yeni zeolit: kırılmış elyaf bileşimleri kompozit halinde üretildi, bu kompozitlerin mikrodalga elektromanyetik dalgalar için geniş frekans aralığı bölgesinde yüksek perdeleme, ekranlama etki oranına sahip olduğu anlaşılmıştır.

4. Sonuç

Zeolit: kırılmış elyaf tozları (sırasıyla ağırlıkça % 80-20 ve ağırlıkça %60-40'de) oksitlerin karışımı tekniği uygulanarak üretilmiştir. Bu, bildiğimiz zeolit: kırılmış elyaf kompozitlerin geniş frekans aralığındaki ilk ekranlama etkinliği ölçümü çalışmasıdır.

Zeolit ve kırılmış elyaf toz konsantrasyonunun gerekli frekans aralıkları için numuneler üzerindeki etkisinin kontrol edilebilmesi, mikrodalga ekranlama yeteneklerinin kolay ayarlanmasını sağlar.

Basit ve düşük maliyetli düzenleme teknikleri ve geliştirilmiş kalkanlama veya ekranlama etkinliği performansını nedeniyle, zeolit: kırılmış elyaf kompozit malzemeleri, mikrodalga ekranlama etkisi sonuçları ile umut vericidir. Kırılmış elyaflar ve zeolit mikrodalga ekranlama etkinliği verimliliğini artırmak için, kompozit olarak kullanılmıştır.

Ekranlama etkinliği karakteri, 17.17 GHz'de ve 1.5 mm kalınlıkta minimum -40.52 dB SE'ye sahip zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça % 60-40' ta)-epoksi bileşimi ile oluşturulmuştur.

Zeolit: kırılmış elyaf kompozitlerin mikrodalga ekranlama etkinliği özellikleri, kırılmış elyafların miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça % 80-20'de) bileşimi, -20 dB'nin altında 4 farklı yani 8.52 ve 9.66 GHz, 9.87 ve 11.77 GHz, 15.63 ve 15.98 GHz, 16.41 ve 16.61 GHz frekans aralıklarında daha yüksek bir ekranlama etkisi değeri sunar.

İkinci en iyi koruma etkinliği aralığı, 6.53 GHz ve 6.74 GHz, 8.06 GHz ve 9.04 GHz, 15.7 GHz ve 16.17 GHz arasındaki frekanslarda -20 dB'nin altında olan zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça yüzde 60-40'de) bileşimleri tarafından sağlanır. Bu kompozit bileşimi, 6.5 GHz ile 16.65 GHz geniş frekans aralığında -10 dB'den daha az bir ekranlama etkinliği değerine sahiptir.

-10 dB altında en geniş frekans aralığı performansını 6.5 ve 16.92 GHz, 16.99 ve 17.26 GHz aralıklarında zeolit: kırılmış elyaf (ağırlıkça yüzde 80-20'de) bileşimleri ile sağlanmıştır.

Doğrulama deneyleri, kompozitlerin gigahertz frekans seviyesinde sinyallerin geçmesini önleyen koruyucu malzemeler gibi davranma potansiyelini göstermiştir. Öte yandan, frekans spektrumlarını içeren perdeleme etkisi dağılım analizleri, kompozitlerin gigahertz ve mikrodalga uygulamaları için uygun olduğunu göstermiştir.

Zeolit: kırılmış elyaf kompoziti ilk defa bu özellikle ekranlama etkinliği performansını ölçmek için oluşturulmuştur. Zeolit: kırılmış elyaf kompozitlerinin kalkanlama etkinliği yetenekleri, daha geniş bir konsantrasyon aralığı için araştırılabilir.

Zeolit: kırılmış elyaf kompoziti, geniş bir frekans aralığında mikrodalga ekranlama etkinliği için bir aday olabilir. Gelecekteki araştırmalar için, zeolit: kırılmış elyaf kompoziti çok detaylı bir şekilde analiz edilebilir.

Mevcut kırılmış elyafların miktarı, ekranlama koruyucu etkinlik nitelikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İlk defa, bu tür bir kompozit sadece bu uygulama için oluşturuldu.

Gelecekteki araştırmalar için, zeolit: kırılmış elyaf kompozit bileşimi, farklı katkı malzemeleri ve oranlar ile daha

derinlemesine araştırılabilir. Mikrodalga ekranlama etkisini iyileştirmek için, zeolit: kırılmış elyaf kompoziti kullanılmaktadır. Belirli radar frekans bantları ve daha yüksek frekans aralıklarında, bu kompozitin çeşitli katkı malzemeleri ile ekranlama etkinliği ve yansıma kaybı araştırılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma, aramızdan ayrılan yardımcıları sonsuz olan Salim Şahin, Emsal Şahin ve Prof. Dr. Ayhan Mergen anısına ithaftir.

Kaynakça

- Abbasi, H., Antunes, M., Velasco, J.I. (2019). Recent advances in carbon-based polymer nanocomposites for electromagnetic interference shielding. *Progress in Materials Science*, 103, 319-373.
- Al-Saleh, M.H. (2015). Influence of conductive network structure on the EMI shielding and electrical percolation of carbon nanotube/polymer nanocomposites. *Synthetic Metals*, 205, 78-84.
- Alswat, A.A., Ahmad, M.B., Hussein, M.Z., Ibrahim, N.A., Saleh, T.A. (2017). Copper oxide nanoparticles-loaded zeolite and its characteristics and antibacterial activities. *Journal of Materials Science & Technology*, 33(8), 889-896.
- Avadhanam, V., Thanasamy, D., Mathad, J.K., Tumuki, P., (2018). Single walled carbon nano tube-polyaniline core-shell/polyurethane polymer composite for electromagnetic interference shielding. *Polymer Composites*, 39, 4104-4114.
- Cao, D., Pan, L., Li, H., Li, J., Wang, X., Cheng, X., Wang, Z., Wang, J., Liu, Q. A. (2016). Facile strategy for synthesis of spinel ferrite nano-granules and their potential applications. *RSC Advances*, 71, 66795 – 66802.
- 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.
- Chen, Z., Xu, C., Ma, C., Ren, W., Cheng, H-M. (2013). Lightweight and flexible graphene foam composites for high-performance electromagnetic interference shielding. *Advanced Materials*, 25(9), 1296-1300.
- Chung, D.D.L. (2001). Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials. *Carbon*, 39, 279-285.
- Chung, D.D.L. (2000). Materials for electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9, 350-354.
- Gupta, N., Lin, T-C. and Shapiro, M.D. (2007). Clay-epoxy nanocomposites: processing and properties. *Nanocomposite Materials*, 59, 61-65.
- Ibrahim, J.E.F.M., Gömze, L.A., Koncz-Horvath, D., Filep, A., Kocserha, I. (2022). Preparation, characterization, and physicomechanical properties of glass-ceramic foams based on alkali-activation and sintering of zeolite-poor rock and eggshell. *Ceramics International*, 39, 1-13.
- Ibrahim, J. E. F. M., Tihtih, M., Kurovics, E., Şahin, E.I., Gömze, L. A., Kocserha, I. (2022). Glass-ceramic foams produced from zeolite-poor rock (Tokaj). *Pollack Periodica*, 18, 2-21.
- Jia, X., Shen, B., Chen, Z., Zhang, L., Zheng, W. (2019). High-performance carbonized waste corrugated boards reinforced with epoxy coating as lightweight structured

- electromagnetic shields. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7(22), 18718-18725.
- Koohsaryan, E., Anbia, M. (2016). Nanosized and hierarchical zeolites: a short review. *Chinese Journal of Catalysis*, 37, 447-467.
- Kargar, F., Barani, Z., Balinskiy, M., Magana, A.S., Lewis, J.S., Balandin, A.A. (2019). Dual-functional graphene composites for electromagnetic shielding and thermal management. *Advanced Electronic Materials*, 5(1), 1800558.
- Lim, H.S., Lee, H.S. and Kwon, S.J. (2019). Mechanical properties and radiation shielding performance in concrete with electric arc furnace oxidizing slag aggregate. *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(4), 363-371.
- Liu, J., Zhang, H.B., Sun, R., Liu, Y., Liu, Z., Zhou, A., Yu, Z.Z. (2017) Hydrophobic, flexible, and lightweight MXene foams for high-performance electromagnetic-interference shielding. *Advanced Materials*, 29(38), 1702367.
- Mondal, S., Das, P., Ganguly, S., Ravindren, R., Remanan, S., Bhawal, P., Das, T.K., Das, N.C. (2018). Thermal-air ageing treatment on mechanical, electrical, and electromagnetic interference shielding properties of lightweight carbon nanotube based polymer nanocomposites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 107, 447-460.
- Mondal, S., Ganguly, S., Das, P., Khastgir, D., Das, N.C. (2017). Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites. *Composites Part B: Engineering*, 119, 41-56.
- Nie, J., Wang, G., Hou, D., Guo, F., Han, Y. (2018). The preparation and research on the electromagnetic shielding effectiveness of T-ZnO@Ag/Silicone rubber composites. *Materials Science (Medziagotyra)*, 26(2), 205-209.
- Pan, H., Yin, X., Xue, J., Cheng, L. and Zhang, L. (2017). Microstructures and EMI shielding properties of composite ceramics reinforced with carbon nanowires and nanowires-nanotubes hybrid. *Ceramics International*, 43, 12221-12231.
- Qasrawi, A.F., Hamarshah, Areen. A. (2022). Structural, optical and electrical properties of band-aligned CdBr₂/Au/ Ga₂S₃ interfaces and their application as band filters suitable for 5G technologies. *Journal of Electronic Materials*, 51, 3693-3704.
- Sahin, E.I. (2022). Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb₂O₆- chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics*, 62, 127-136.
- Sahin, E. I., Emek, M. (2021). Electromagnetic shielding effectiveness of wollastonite/PANI/colemanite composites. *European Journal of Science and Technology*, 21, 83-89.
- Sahin, E.İ., Emek, M., Ertuğ, B., Kartal, M. (2020). Electromagnetic shielding performances of Colemanite/PANI/SiO₂ composites. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 34-42.
- Santhosi, B.V. S. R. N., Ramji, K., Rao, N.B.R.M.(2020). Design and development of polymeric nanocomposite reinforced with graphene for effective EMI shielding in X-band, *Physica B: Condensed Matter* 586, 1-9.
- Shahzad, F., Alhabeab, M., Hatter, C.B., Anasori, B., Hong, S.M., Koo, C.M., Gogotsi, Y. (2016). Electromagnetic interference shielding with 2D transition metal carbides (MXenes). *Science*, 353(6304), 1137-1140.
- Shayed, M. A., Cherif, Ch., Hund, R. D., Cheng, T. (2010). Carbon and glass fibers modified by polysilazane based thermal resistant coating. *Textile Research Journal*, 80(11), 1118 – 1128.
- Singh, B.P., Choudhary, V., Saini, P., Mathur, R.B. (2012). Designing of epoxy composites reinforced with carbon nanotubes grown carbon fiber fabric for improved electromagnetic interference shielding. *AIP Advances*, 2(022151), 1-7.
- Snelders, D.J.M., Mackenzie, F.O.V., Boersma, A., Peeters, R.H.M. (2016). Zeolites as coating materials for fiber bragg grating chemical sensors for extreme conditions. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 235, 698-706.
- Tibbetts, G. G., Lake, M. L., Strong, K. L. and Rice, B. P. (2007). A review of the fabrication and properties of vapor-grown carbon nanofiber/polymer composites. *Composites Science and Technology*, 67, 1709-1718.
- 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, 364-36.
- 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, 227-231.
- Yan, D.X., Pang, H., Li, B., Vajtai, R., Xu, L., Ren, P.G., Wang, J.H., Li, Z.M. (2014). Structured reduced graphene oxide/polymer composites for ultra-efficient electromagnetic interference shielding. *Advanced Functional Materials*, 25(4), 559-566.
- Yin X., Jin, J., Chen, X., Rosenkranz, A., Luo, J. (2019). Ultra-wear-resistant MXene-based composite coating via in situ formed nanostructured tribofilm. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11(35), 32569-32576.
- Yousefi, N., Sun, X., Lin, X., Shen, X., Jia, J., Zhang, B., Tang, B., Chan, M., Kim, J.K. (2014). Highly aligned graphene/polymer nanocomposites with excellent dielectric properties for high-performance electromagnetic interference shielding. *Advanced Materials*, 26(31), 5480-5487.
- Yuan, Y., Liyang, L., Yang, M., Zhang, T., Xu, F., Lin, Z., Ding, Y., Wang, C., Li, J., Yin, W., Peng, Q., He, X. and Li, Y. (2017). Lightweight, thermally insulating and stiff carbon honeycomb-induced graphene composite foams with a horizontal laminated structure for electromagnetic interference shielding. *Carbon*, 123, 223-232.
- Zhang, H.B., Yan, Q., Zheng, W.G., He, Z., Yu, Z.Z. (2011). Tough graphene polymer microcellular foams for electromagnetic interference shielding. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 3(3), 918-924.
- Zhang, X., Rao, Y., Guo, J., Qin, G. (2016). Multiple-phase carbon-coated FeSn₂/Sn nanocomposites for high-frequency microwave absorption. *Carbon*, 96, 972-979.
- Zhang, Y., Fang, X.X., Wen, B.Y. (2015). Asymmetric Ni/PVC films for high-performance electromagnetic interference shielding. *Chinese Journal of Polymer Science*, 33(6), 899-907.
- Zhao, F. M., Takeda, N. (2000). Effect of interfacial adhesion and statistical fiber strength on tensile strength of unidirectional glass fiber/epoxy composites part I: experiment results. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31, 1203-1214.