

Karbon Fiber Kompozitlerin Düşük Frekans Bölgesindeki Elektriksel Karakterizasyonunun İncelenmesi

Halil İbrahim Keskin, Kayhan Ateş, Şükrü Özen
Akdeniz Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Antalya

eem.halilkeskin@gmail.com, kayhanates@akdeniz.edu.tr, sukruozen@akdeniz.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, popüler kompozitlerden biri olan poliakrilonitril (PAN) esaslı karbon fiberlerin elektriksel karakterizasyonu 1 kHz – 10 kHz frekans aralığında incelenmiştir. İncelemeler sonucunda örgüsüz yapıdaki karbon fiber kompozit malzemelerin eşdeğer RC devre modeli, eşdeğer empedanslarının genlikleri ve fazları elde edilmiştir. Ölçümler incelendiğinde, tek yönlü 0° ile 45° açılı karbon fiber malzemelerin empedansları göreceli olarak birbirine çok yakın gözlenmiştir. Diğer sonuçlarda 0° açılı ile 90° açılı karbon fiberlerin benzer karakteristiğe sahip olduğu değerlendirilmiştir.

Abstract: In this study, the electrical characterization of polyacrylonitrile (PAN) based carbon fibers, one of the popular composites, was investigated in the frequency range of 1 kHz – 10 kHz. As a result of the investigations, the equivalent RC circuit model, the amplitudes of the equivalent impedances and the phases of the non-woven structured carbon fiber composite materials were obtained. Measurement results showed that the impedances of unidirectional 0° and 45° angled carbon fiber materials were observed relatively close to each other. In other results, 0° and 90° angled carbon fibers were evaluated to have similar characteristics.

1. Giriş

Elektronik ürünlerin ekran ve yüzey bileşenlerinde kompozit malzemelere gösterilen ilginin son yıllarda artmıştır. Bu kompozit malzemeler arasında karbon fiber kompozitler sahip olduğu niteliklerden dolayı ayrı bir yer edinmiştir. Yüksek mekanik mukavemet, yüksek korozyon direnci, esneklik ve kütlece hafiflik karbon fiber kompozitleri klasik materyallerden ve diğer kompozit malzemelerden ayıran en önemli farklardır [1]-[2]. Karbon fiber kompozitler temel olarak zift, suni ipek ve poliakrilonitril (PAN) esaslı öncüllerden türetilir. Bu öncüller arasında PAN esaslı karbon fiber kompozitler optimum lif özellikleri sayesinde diğer öncüllere kıyasla daha geniş kullanım alanına sahiptir [3]. PAN esaslı karbon fiberlere ait lif özelliklerinin oluşturduğu avantajlar konusunda pek çok çalışma literatürde mevcuttur. Jones ve arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmada ise (2016), 0.1 kHz – 100 kHz frekans bandında karbon fiber takviyeli polimerlerin empedans modeli önerilmiştir ve deneysel olarak incelenmiştir [4]. Önerilen empedans modeliyle havacılık sektöründeki sistemlerin elektriksel olarak topraklanması ve korunması amaçlanmıştır. Sonuçlar doğrultusunda söz konusu elektriksel modelin havacılık elektroniğindeki uygulamalarda kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, PAN esaslı karbon fiber kompozitlerin elektriksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 1 kHz – 10 kHz frekans aralığında deneysel ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda örgüsüz yapıdaki karbon fiber kompozit malzemelerin eşdeğer RC devre modelleri, empedanslarının genlikleri ve faz açıları elde edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ölçüm sistemi ve malzemelerin yapısıyla ilgili bilgiler bulunmaktadır. Ardından elektriksel ölçüm sonuçları sunulmuştur ve tartışılmıştır.

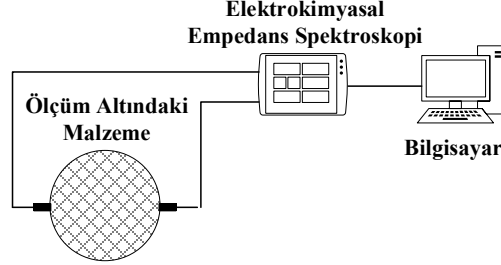
2. Analiz Yöntemi

Karbon fiberi oluşturan PAN öncülleri akrilik asit, itakonik asit ve akrilamid gibi bileşiklerin bir dizi kimyasal reaksiyona uğratılmasıyla elde edilir. Elde edilen PAN yapısına stabilizasyon, karbonizasyon ve grafitizasyon işlemlerinin uygulanmasıyla PAN esaslı karbon fiberler oluşturulur. Çalışmada kullanılan PAN esaslı karbon fiberlere ait fiziksel özellikler Tablo.1 ile gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan karbon fiber kompozit kumaşlar ve özellikleri

Numune kodu	Örgü Türü	Ağırlık (g/m ²)	Laminat kalınlığı (mm)
Tek Yönlü +45°/-45°	Örgüsüz	300	0.48
Tek Yönlü 0°	Örgüsüz	300	0.48
Tek Yönlü 90°	Örgüsüz	300	0.48

Elektriksel özelliklerin ölçümleri, Ivium Vertex One (Eindhoven, Hollanda) model elektrokimyasal empedans spektroskopisi cihazı ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, elektrokimyasal empedans spektroskopide iki elektrotlu sistem temel alınarak yapılmıştır [5]. İki elektrotlu sistemde, yardımcı elektrot ile referans elektrotları kısa devre edilerek çalışma elektrotu ve kısa devre edilmiş elektrotlar kullanılır. Bu çalışma için gerçekleştirilen ölçüm sistemi, yukarıda belirtilen bağlantı düzenine göre Şekil.1’de gösterilmiştir.

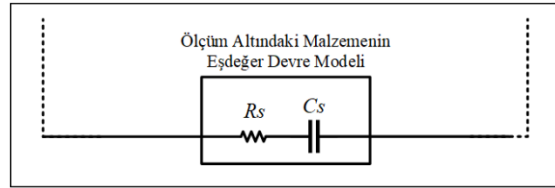


Şekil 1. Elektriksel özelliklerin belirlenmesi için deneysel ölçüm sistemi.

Ölçüm altındaki malzemenin elektriksel eş değer devresindeki devre elemanları sayesinde empedansı hesaplanabilir. Bu sayede, malzemenin elektriksel olarak karakteri ve farklı frekanslardaki cevabı elde edilmiş olur. Empedans ifadesi (Z), Eşitlik.1’de tanımlandığı gibi genlik ve faz şeklinde de gösterilebilir.

$$Z = |Z| \angle \phi \quad (1)$$

Bir malzemenin en uygun devre modelini bulmak için elektriksel özelliklerini temel alan yaklaşımlar yapılmalıdır. Bu sayede o malzemenin frekansa göre davranışı incelenebilir ve bireysel performansına göre farklı uygulamalarda kullanılabilir. İncelenen örneklerin eşdeğer devresi, Şekil.2’de gösterildiği gibi birbirine seri bağlı direnç (R_s) ve kondansatör elemanı (C_s) olarak incelenebilir [6]-[7]. Bu devre sisteminde bağlantı kablolarının ve iletkenlerin iç dirençleri ihmal edilmiştir.



Şekil 2. Eşdeğer devre modeli.

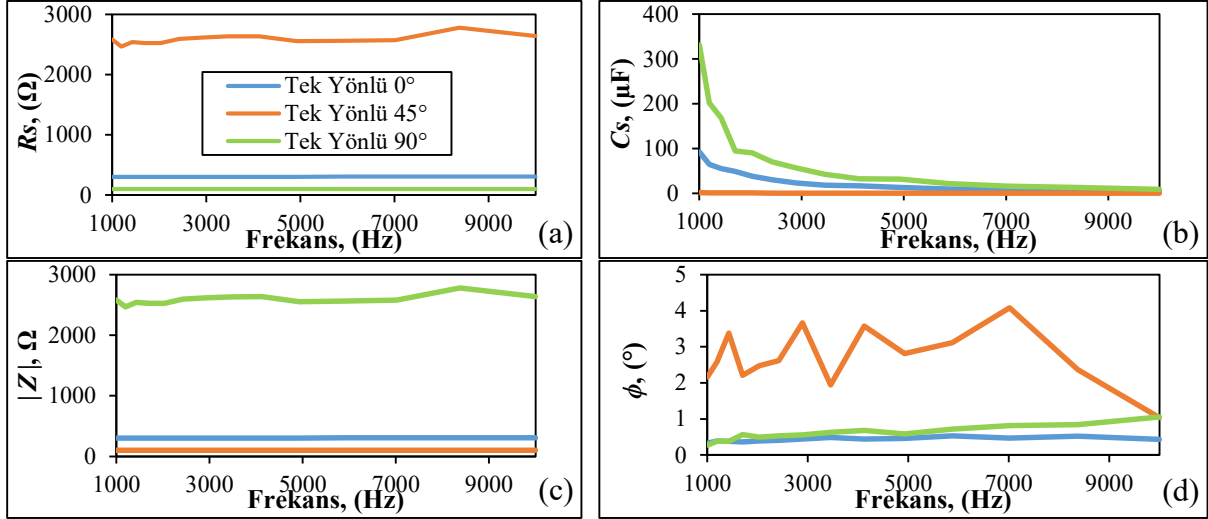
Söz konusu eşdeğer devre elemanları Eşitlik.1’de yerine yazılırsa, Eşitlik.2’deki empedans dağılımı ifadesi elde edilir.

$$Z = R_s + X_s = R_s + \left(\frac{1}{j\omega C_s} \right) \quad (2)$$

Eşitlik.2’de belirtilen Z ifadesi empedansı (Ω), X_s kapasitif reaktansı (Ω) ve ω ise açısal frekansı belirtmektedir ($\omega = 2\pi f$, rad/sn). Yukarıdaki denkleme göre, kapasitif reaktans ifadesi frekansa bağlıdır. Dolayısıyla ölçüm altındaki malzemelerin elektriksel eşdeğer devresi de frekansa bağlıdır.

3. Deneysel Ölçüm Sonuçları

Karbon fiberlerin elektriksel ölçümleri, 1 kHz – 10 kHz frekans aralığında, kaynak sinyali olarak 10 mV genliğinde sinüs işareti kullanılarak yapılmıştır. Şekil.1’e göre, bilgisayara bağlı olan empedans analizörü ile çapı 133 mm olan dairesel şekle sahip PAN esaslı karbon fiber kompozit kumaşların ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, kalibrasyon hataları ve malzemelerin ideal olmayan davranışları göz önüne alınarak oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Örgüsüz yapılara ait sonuçlar Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Örgüsüz yapılar için bulgular; a) eşdeğer direnç modeli; b) eşdeğer kapasite modeli; c) empedansın genliği; d) empedansın faz açısı.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, örgüsüz yapıdaki karbon fiber kompozitlerin düşük frekans bölgesindeki elektriksel özellikleri incelenmiştir. Bu frekans bandının seçilmesinde şebeke frekansının harmoniklerinin bulunması sebeptir [8].

Sonuçlara göre, 45° açılı malzemenin seri direnç değeri, 0° ve 90° açılı malzemelerin direnç değerlerinden çok büyüktür. Bunun yanında 90° açılı karbon fiberin C_s değerinin frekansa bağlı sonuçları 0° ve 45° açılı örneklerin kapasite değerinden daha büyüktür. RC eşdeğer devre modeli incelendiğinde, her malzemenin karakteristik empedansı frekansa göre farklılık göstermektedir. Empedansın genliği ve faz sonuçları ele alındığında, 90° açılı karbon fiberin genliği diğer malzemelerden daha yüksek elde edilmiştir. Faz sonuçlarında ise 45° açılı malzemenin sonuçları 0° ve 90° açılı malzemelerden büyüktür.

Bir malzemenin elektriksel özelliklerini bilmek, o malzeme hakkında yorum yapılmasına ve uygulama alanlarına göre kıyaslanmasına olanak sağlar. Bu çalışma ile karbon fiberlerin düşük frekansta analizleri için elektriksel özelliklerine dayanan bir yöntem önerilmiştir. İlerleyen çalışmalar ise söz konusu malzemeler için yüksek frekansta hem deneysel hem de benzetim temelli ölçüm sistemi tasarımı içerir.

Bilgilendirme

Bu çalışma, Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBA-2018-4115).

Kaynaklar

- [1]. Mehdipour A., Sebak A.-R. ve Trueman C. W., "Green's function of a dielectric slab grounded by carbon fiber composite materials", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, cilt.54, no.1, s.118-125, 2011.
- [2]. Keskin H. I. vd., "Analysis and measurement of the electromagnetic shielding efficiency of the multi-layered carbon fiber composite fabrics," 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS-Spring), Roma, İtalya, s.4354-4360, Haziran 2019.
- [3]. Yaman N., Öktem T. ve Seventekin N., "Karbon liflerinin özellikleri ve kullanım olanakları", Tekstil ve Konfeksiyon, cilt.17, no.2, s.90-95, 2007.
- [4]. Jones C. E. vd., "Electrical model of carbon fibre reinforced polymers for the development of electrical protection systems for more-electric aircraft," 2016 18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'16 ECCE Europe), Karlsruhe, Almanya, s.1-10, Eylül 2016.
- [5]. G. Polat T. vd., "Carbon nanotube, poly (3, 4-ethylenedioxythiophene): poly (styrenesulfonate) and Ag nanoparticle doped gelatin based electro-active hydrogel systems", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, cilt.580, 123751, s.1-11, 2019.
- [6]. Yanardağ T., Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi, Gazi Kitabevi, Ankara, Türkiye, 2019.
- [7]. IviuSoft Help File, Erişim Adresi: <https://www.ivi.com/software/>, Son Erişim Tarihi: 16/03/2020.
- [8]. Ingale R., "Harmonic analysis using FFT and STFT", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, cilt.7, no.4, s.345-362, 2014.