

## Elektriksel Ölçümler ile Malzeme Sağlamlık Testleri

Emrah Kaplan<sup>1</sup>, Dursun Ekmekci<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Elektrik ve Elektronik Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

\*(dursunekmekci@gumushane.edu.tr)

**Özet** – Bu bildiri, malzemelerde mekanik analiz yöntemleri ve elektriksel ölçüm metotları arasındaki önemli bağlantıları ele almaktadır. Özellikle, iletkenlik, direnç ve kapasitans ölçüm metotları, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde nasıl kullanılabilceği üzerine odaklanmaktadır. Bu metotların, malzeme dayanıklılığının ve elastik özelliklerinin değerlendirilmesindeki rolü göz önüne alınmaktadır. Bu bildiri, malzeme sağlamlığı testlerinde elektriksel yaklaşımın önemini vurgulayarak, mevcut literatüre önemli bir katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Elektriksel yaklaşımın, malzeme mekanik özelliklerinin hızlı ve hassas bir şekilde değerlendirilmesinde nasıl kullanılabilceği konusundaki potansiyelini ortaya koymaktadır.

*Anahtar Kelimeler – Elektriksel Ölçümler, Malzeme Test Yöntemleri, Basınç Dayanımı, İletkenlik, Kararlılık Analizi*

### I. GİRİŞ

Malzeme bilimi ve mühendisliği, farklı uygulama alanlarında kullanılan malzemelerin özelliklerini anlama ve geliştirme amacıyla önemli bir bilim dalıdır. Bu bağlamda, malzeme sağlamlığı ve dayanıklılığı, bir malzemenin performansını belirleyen temel özelliklerden biridir. Malzemelerin mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, endüstriyel tasarım, inşaat, otomotiv, havacılık ve savunma gibi birçok sektörde kritik bir öneme sahiptir [1].

Bu bildiri, özellikle elektriksel ölçüm metotları ile malzemelerin mekanik dayanıklılığı arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Elektriksel yöntemlerin, malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirme sürecindeki rolü, avantajları ve sınırlamaları ele alınacak ve endüstriyel uygulamalardaki potansiyel etkileri tartışılacaktır. Elektriksel yaklaşımların, malzeme sağlamlığı ve dayanıklılığına dair daha fazla bilgi sunma kabiliyeti, bu alandaki araştırmaların önemini vurgulamaktadır. Bu bildiri, malzeme bilimi ve mühendisliği alanındaki araştırmacılar ve endüstri profesyonelleri için mekanik testlerin yanı sıra elektriksel ölçüm metotlarının malzeme karakterizasyonunda nasıl kullanılabilceği konusunda bir kılavuz sunmayı

amaçlamaktadır. Elektriksel yaklaşımların mekanik özelliklerin değerlendirilmesindeki potansiyelini anlamak, malzeme geliştirme süreçlerini daha verimli hale getirmeye yardımcı olabilir.

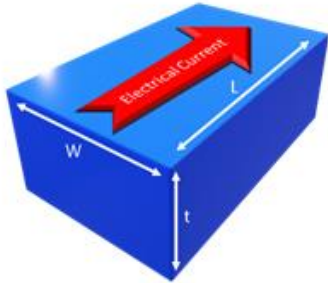
### II. ELEKTRİKSEL ÖLÇÜM METODLARI

Elektriksel yöntemler, malzeme karakterizasyonunda kullanılan etkili bir araçtır ve bu yöntemler, malzeme üzerindeki mekanik etkiler nedeniyle meydana gelen elektriksel değişiklikleri izlemek için kullanılır [2]. Bu sayede, malzemenin plastik deformasyonunu, çatlak oluşumunu ve benzeri mekanik değişikliklerini belirlemek ve analiz etmek mümkün olur. Ayrıca, bu yöntemler darbe öncesinde ve sonrasında test yapabilmeye imkânı sunar, böylece malzemenin dayanıklılığı ve değişen özellikleri hakkında kapsamlı bilgi sağlar. Bu yöntemler, özellikle belirli uygulamalarda, malzemenin mekanik özelliklerinin yanı sıra elektriksel özelliklerinin de kritik olduğu durumlarda oldukça faydalıdır. Ayrıca, bu elektriksel testler, mermi ya da başka bir darbe uygulamadan da analiz yapabilmeye olanağı sunar, bu da malzemenin zırh yapımı gibi potansiyel uygulamalarını değerlendirmek için büyük bir avantajdır. Ancak, direkt mekanik özelliklerin ölçümü gerektiren spesifik mekanik testler de

kullanılmaktadır ve genellikle daha kesin sonuçlar sağlarlar. Bu nedenle, elektriksel yöntemler, malzeme karakterizasyonunda önemli bir rol oynamakla birlikte, tam bir değerlendirme için mekanik testlerle birleştirilmesi genellikle tercih edilen bir yaklaşımdır.

#### A. Elektriksel Direnç Ölçümü

Direnç, bir malzemenin elektriksel direncini ölçen bir fiziksel özelliktir. Öz direnç ( $\rho$ ) ise, bir malzemenin geometriden, boyuttan bağımsız karakteristik bir özelliği olup, malzemenin elektriksel direnç (R) ve hacmine (V) göre ifade edilen önemli bir parametredir. Öz direnç, aşağıda verilen formülü ile hesaplanır ve malzemenin hem elektriksel hem de mekanik karakterizasyonunda temel bir araçtır. Bu bağlamda, W (Genişlik), H (Yükseklik) ve L (Uzunluk) parametrelerinin çarpımı, bir cismin hacmini (V) ifade eder. Bu özellik, malzemenin elektriksel davranışını değerlendirmenin yanı sıra, malzemenin yapısal ve mekanik özelliklerini anlamak için de kritik bir rol oynar. Bir numunenin gerçek direnci, numune üzerinden geçen akım (I) ile voltaj düşüşünün (V) oranıyla hesaplanır. I akımı, voltaj prob aralığı ve numunenin kesit alanı kullanılarak numunenin  $\rho$  değeri (öz direnci) belirlenir (Şekil 1).



$$A = W \times H$$

$$\rho = R * (L / A)$$

Şekil 1. Numunenin öz direncinin belirlenmesi

#### B. Dielektrik Özelliklerin Ölçümü

Dielektrik özellikler, bir malzemenin elektriksel yalıtım performansı, yüksek frekanslı sinyaller üzerindeki etkisi ve dielektrik sabiti gibi parametreleri içerir. Dielektrik ölçümü, malzemelerin mekanik özelliklerinin değil, elektriksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır. Ancak bazı durumlarda, malzemenin dielektrik özelliklerindeki değişimler, dolaylı olarak mekanik özellikler hakkında bilgi sağlayabilir. Örneğin, bir polimer malzemenin dielektrik sabiti, malzemenin mekanik rijitliği veya elastisite modülü hakkında bilgi verebilir. Mekanik ve dielektrik özelliklerin farklı materyaller

üzerinde birlikte araştırıldığı çalışmalar da yayınlanmıştır [3]–[5].

### III. TARTIŞMA

İletkenlik ölçümleri, malzemenin yapısına bağlı olarak değişebilir ve bu ölçümler, mekanik özelliklerin tahmin edilmesi veya uygulama uygunluğunun değerlendirilmesi için kullanılabilir. Değişen mikroyapı veya mekanik deformasyonlar iletkenlik üzerinde etkiler yaratabilir ve bu ölçümler sayesinde bu değişiklikler tespit edilebilir. Bu mantık çerçevesinde alaşımlar [6]–[10], kompozitler [9], [11] ve süper iletkenler [12] gibi malzemeler üzerinde farklı ölçümler yapılmış ve mekanik özellikler ile iletkenlik arasındaki bağlantı incelenmiştir. Grafen nanopartiküllerin kullanıldığı bir çalışmanın sonuçları, grafen nanoplatletlerin saf Fe tozlarına eklenmesinin, malzeme mikroyapısı, sertlik ve elektrik iletkenliği arasındaki ilişkiyi anlamamıza yardımcı olabileceğini göstermektedir [13]. Temas direnci ölçümü, elektrik devrelerinde ve bağlantılarda verimli bir enerji transferi sağlamak için önemlidir. Bu ölçüm, iki nokta arasındaki direnci belirlemek için kullanılır ve temastaki direnç kaynakları (yüzey kirliliği, oksitlenme vb.) hakkında bilgi sağlar. Ayrıca farklı malzemelerin elektromekanik özelliklerini karakterize ederken de kullanılan bir metottür [14], [15], [16]. Bu yöntem, malzeme yüzeyindeki temas direncini değerlendirerek mekanik özellikler hakkında bilgi sağlar. Avantajlarından dolayı, birçok endüstriyel ve araştırma alanında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Elektriksel iletkenlik spektroskopisi, malzemenin elektriksel davranışını frekans aralığına bağlı olarak inceleyen bir tekniktir. Farklı frekanslarda yapılan ölçümler, malzemenin yapısal değişiklikleri, yüzey özellikleri, taşıyıcı yoğunlukları ve taşıyıcı hareketliliği gibi parametreler hakkında bilgi sağlar. Elektriksel iletkenlik spektroskopisi, hem genel bir malzeme karakterizasyon aracı olarak hem de mekanik özelliklerin değerlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yüksek hassasiyet, çözünürlük ve non-destrüktif ölçüm avantajlarıyla birlikte, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir.

### IV. SONUÇLAR

Elektriksel ölçümler, genellikle hızlı bir şekilde yapılabilir. Özellikle otomatik veri toplama sistemleri kullanıldığında, süreçler hızlanabilir ve

daha fazla veri elde edilebilir. Bu cihazlar, gerçek zamanlı izleme için uygundur, bu da malzemenin hızla değişen özelliklerini anlama yeteneğini artırabilir. Elektriksel ölçüm cihazlarının maliyeti genellikle düşüktür. Özellikle basit cihazlar için yatırım maliyeti düşüktür ve bakım gereksinimleri genellikle sınırlıdır. Bu da uzun vadeli maliyetleri azaltabilir.

Sonuç olarak, elektriksel yöntemler genellikle hızlı ölçümler yapma ve düşük maliyetli veri elde etme avantajına sahiptir, ancak özellikle spesifik bir uygulama için maliyeti değerlendirmek ve elektriksel ölçüm ile yapılan ölçümlerin yaygın mekanik ölçümler ile doğrulanması her zaman gereklidir.

## KAYNAKLAR

- [1] L. A. Dobrzański, "Significance of materials science for the future development of societies," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 175, pp. 133–148, Jun. 2006.
- [2] J. F. S. Gomes, "Recent Advances in Experimental Mechanics: Proceedings of the 10th International Conference on Experimental Mechanics," Lisbon, Portugal, AA Balkema, 1994.
- [3] E. Cho, L. L. Y. Chiu, M. Lee, D. Naila, S. Sadanand, S. D. Waldman, and D. Sussman, "Characterization of mechanical and dielectric properties of silicone rubber," *Polymers (Basel)*, vol. 13, p. 1831, Jun. 2021.
- [4] L. Haddour, N. Mesrati, D. Goouriot, and D. Tréheux, "Relationships between microstructure, mechanical and dielectric properties of different alumina materials," *J. Eur. Ceram.*, vol. 29, pp. 2747–2756, Oct. 2009.
- [5] X. Li, X. Yin, L. Zhang, L. Cheng, and Y. Qi, "Mechanical and dielectric properties of porous Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> composite ceramics," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 500, pp. 63–69, Jan. 2009.
- [6] G. E. Totten, Ed., *Hardness and Electrical Conductivity Testing of Aluminum Alloys*, ser. Heat Treating of Nonferrous Alloys. Materials Park, OH: ASM International, 2016, vol. 4E.
- [7] R. Mishnev, I. Shakhova, A. Belyakov, and R. Kaibyshev, "Deformation microstructures, strengthening mechanisms, and electrical conductivity in a Cu-Cr-Zr alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 629, pp. 29–40, Apr. 2015.
- [8] M. A. Salazar-Guapuriche, Y. Y. Zhao, A. Pitman, and A. Greene, "Correlation of strength with hardness and electrical conductivity for aluminium alloy 7010," *Mater. Sci. Forum*, vol. 519–521, pp. 853–858, 2006.
- [9] E. Vandersluis, C. Ravindran, and M. Bamberger, "Mechanisms affecting hardness and electrical conductivity in artificially-aged B319 aluminum alloy," *J. Alloys Compd.*, vol. 867, p. 159121, Jun. 2021.
- [10] P. Zhang, Y. Li, Y. Liu, Y. Zhang, and J. Liu, "Analysis of the microhardness, mechanical properties and electrical conductivity of 7055 aluminum alloy," *Vacuum*, vol. 171, p. 109005, Jan. 2020.
- [11] P. Payakaniti, S. Pinitsoontorn, P. Thongbai, V. Amornkitbamrung, and P. Chindaprasirt, "Electrical conductivity and compressive strength of carbon fiber reinforced fly ash geopolymeric composites," *Constr. Build. Mater.*, vol. 135, pp. 164–176, Mar. 2017.
- [12] L. Kopera, P. Kováč, and T. Melišek, "Electromechanical characterization of selected superconductors," *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 21, p. 115001, Sep. 2008.
- [13] O. Altuntas, M. Ozer, G. Altuntas, and A. Ozer, "Investigation of the microstructure, hardness and electrical conductivity properties of Fe/Graphene compacts," *Mater. Sci. Technol.*, vol. 0, pp. 1–10, May 2023.
- [14] A. Todoroki, K. Suzuki, Y. Mizutani, and R. Matsuzaki, "Electrical resistance change of CFRP under a compression load," *J. Solid Mech. Mater. Eng.*, vol. 4, pp. 864–874, 2010.
- [15] L. Wiczorek, V. R. Howes, and H. J. Goldsmid, "Electrical contact resistance and its relationship to hardness," *J. Mater. Sci.*, vol. 21, pp. 1423–1428, Apr. 1986.
- [16] K. Yamaguchi, J. J. C. Busfield, and A. G. Thomas, "Electrical and mechanical behavior of filled elastomers. I. The effect of strain," *J. Polym. Sci. B Polym. Phys.*, vol. 41, pp. 2079–2089, 2003.