



# Bi-2212 Süperiletken Tellerin Üretimi ve Biyomedikal Cihazlardaki Uygulamaları Fabrication of Bi-2212 Superconducting Wire and Application for Biomedical Devices

Kübra Onar<sup>1</sup>, M.Eyyuphan Yakıncı<sup>2</sup>, Tolga Depci<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Fizik Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

[kubra.onar@inonu.edu.tr](mailto:kubra.onar@inonu.edu.tr)

<sup>2</sup>Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

[eyyuphan.yakinci@inonu.edu.tr](mailto:eyyuphan.yakinci@inonu.edu.tr)

<sup>3</sup>Maden Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

[Tolga.depci@inonu.edu.tr](mailto:Tolga.depci@inonu.edu.tr)

**Özetçe**—Bu çalışmada Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler HTS ailesine ait BSCCO-2212 süperiletken tozları katıhal yöntemi ile hazırlanmış ve daha sonra da Powder in Tube (PID) yöntemi kullanılarak ~1 mm kalınlığında süperiletken teller haline getirilmiştir. Daha sonra da elde edilen teller 10 cm çapında bobin haline getirilmiş ve elektirsel, manyetik ve kritik akım yoğunluğu testleri yapılmıştır. Bulunan sonuçların konvansiyel malzemelere göre çok daha kullanışlı ve özellikle biyomedikal uygulamalara uygun olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler** — 2212 BSCCO HTS; süperiletken tel, MRI uygulamaları.

**Abstract**—In this work, a 2212 BSCCO family member of high Temperature Superconductor (HTS) powder was prepared by solid state reaction method. Then approximately 1 mm in diameter superconductor wire was produced and wound with 10 cm in diameter. Electrical, magnetic and critical current values were determined. Results obtained showed that superconductor coil produced in this work is better performance than the conventional coils and can be possible to use in biomedical applications.

**Keywords** — BSCCO HTS; superconducting wires; MRI applications.

## I. GİRİŞ

Süperiletkenlerin Biyomedikal alanında da farklı kullanımları mevcuttur. Özellikle tıbbi teşhis sistemlerinde yaygın olarak kullanılan süperiletkenlerin uygulamalarını iki kategoride inceleyebiliriz [1]. Bunlardan ilki süperiletken magnetlere dayalı sistemler olan Manyetik Rezonans (MR) cihazlarıdır. Bu sistemlerde magnet

cihazın en önemli elemanıdır. Bu durumda süperiletken magnetlerin ürettiği manyetik alan yüksek ve homojen olması bakımından konvansiyonel magnetlere göre avantajlı durumdadır. Süperiletken magnetler, bir soğutma tankı içerisine süperiletken bobinlerin yerleştirilmesi ile oluşturulur ve sıvı He veya azot kullanılarak düşük sıcaklıklarda kalması sağlanır. Yüksek manyetik alan üretmesi için yüksek akımlar dahi verildiğinde direnç sıfır olur. Sonuçta bobinden geçen akım uzun süre kayıp olmadan bobin üzerinden geçerek magnetin ortasında güçlü ve homojen bir manyetik alan oluşturur [2].

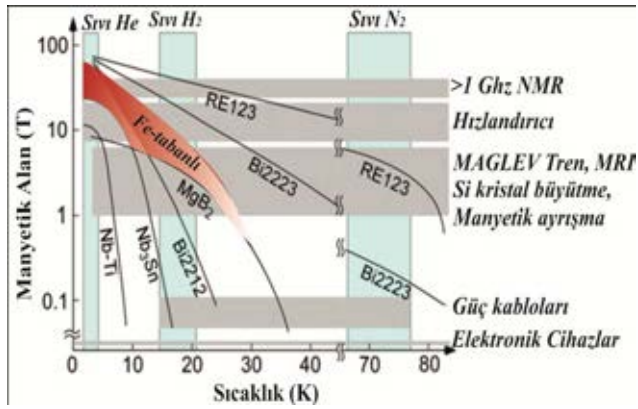
İkincisi ise biyomanyetik teşhise dayalı olan SQUID-tabanlı sistemlerdir. Bunlar, manyetoensefalografi (MEG) ve manyetokardiyografi (MKG) gibi sistemlerdir. Bu medikal sistemlerde süperiletken malzemelerden yapılan “Superconducting Quantum Interference device” (SQUID)’ler tercih edilmektedir. Manyetoensefalografi, beyin aktivitesinin izlenmesini sağlayan bir tekniktir. Elektrik akımında olduğu gibi beyne gönderilen elektrik sinyalleri manyetik alan oluşturur ve bu alan SQUID sensörler tarafından algılanır [1]. SQUID sensörlerde manyetik alandaki çok küçük değişimleri algılamak için süperiletken döngüler kullanılır. Manyetik akı, döngülerden birinden geçerken devreye giren elektrik akımında değişikliğe neden olur. SQUID sensörü, 50.000 gibi az sayıda nörondan gelen elektrik sinyallerinin yarattığı manyetik alanı tespit edebilmektedir. Benzer şekilde, kalbin kasılıp gevşemesi sırasında oluşan çok küçük elektrik akımı ve manyetik alan SQUID sensör içeren magnetokardiyografi ile ölçülmektedir [3,4].

Üstün soğutma teknolojilerine gereksinim duyulmasına karşın temel özellikleri göz önüne

## Nanoteknoloji

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

alındığında sağlık sektöründeki teknolojik uygulamalarda süperiletkenlerin önemli kullanım alanına sahip oldukları görülmektedir. Yaygın olarak kullanılan süperiletken sistemler; HTS sistemler,  $MgB_2$ , Nb-Ti ve  $Nb_3Sn$  ve son zamanlarda Fe-tabanlı sistemlerdir. Magnet olarak kullanılacak malzemenin düşük sıcaklıklarda yüksek alanlar üretmesi aranan temel özelliktir. Aynı zamanda teknolojik uygulamalarda gerekli olan akım yoğunluğu değerinin  $J_c > 10^4 \text{ Acm}^{-2}$  olması ve yüksek alanlar altında yüksek akım taşınması beklenir [5]. Şekil (1)'de süperiletken sistemlerin yüksek alan magnetlerinin çalışma koşulları verilmektedir.

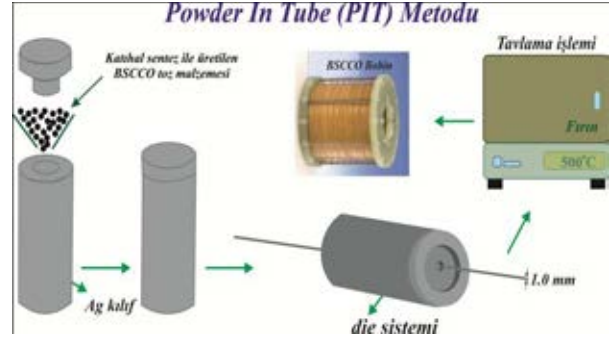


Şekil 1. Süperiletkenlerin  $J_c > 10^4 \text{ Acm}^{-2}$  olan gerekli uygulamalar için çalışma koşulları (çizgiler sıcaklığın fonksiyonu olarak alan sınırlarını göstermektedir) [5].

Bu çalışmada BSCCO sisteminin biyomedikal cihaz teknolojileri için kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için öncelikle Powder In Tube (PIT) yöntemiyle BSCCO tel üretimi yapılmış ve daha sonra bobin haline getirilerek bobin testleri yapılmıştır. BSCCO sistemi  $\sim 90 \text{ K}$ 'de süperiletkenlik geçişine sahip olup yüksek sıcaklık süperiletkenler ailesindedir. Aynı zamanda yüksek sıcaklık süperiletkenler arasında en kararlı yapılardan bir tanesi olduğu bilinmektedir.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Öncelikle BSCCO süperiletken malzemesi katıhal reaksiyon yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan süperiletken malzeme sonra Powder In Tube (PIT) metodu kullanılarak tel formuna getirmek amacıyla gümüş kılıf içerisine çok sıkı bir şekilde doldurulmuştur. Bu aşamada kılıf içerisindeki süperiletken malzemenin doluluk yoğunluğu önemlidir ve bunun için gereken önem gösterilmiştir. Şekil 2.'de PIT metodu şematik olarak gösterilmektedir. Çalışmamızda 1mm çapında süperiletken teller hazırlanmış ve daha sonra da bunların sarımı gerçekleştirilerek bobin formuna dönüştürülmüştür.

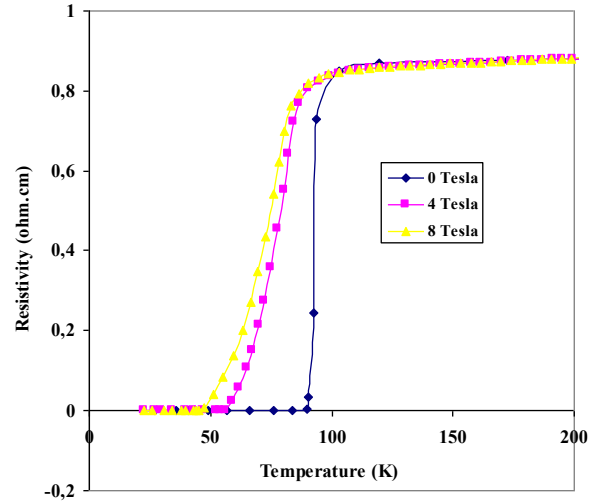


Şekil 2. Powder In Tube Metodu şematik gösterimi.

## III. SONUÇ VE TARTIŞMA

### A. Yapısal Parametreler

Kristalografik özellikleri öncelikle üretilen toz BSCCO malzeme üzerinde gerçekleştirilmiş olup kristalografik olarak örneğin tetragonal Kristal simetrisine sahip olduğu ve birim hücre parametrelerinin de  $a=b=5.41 \text{ \AA}$  ve  $c=31.7 \text{ \AA}$  olduğu hesaplanmıştır. Kristal hacminin de  $96 \text{ \AA}^3$  kadar olduğu hesaplanmıştır. Yapılan analizler sonucunda toz malzemenin tek fazlı BSCCO-2212 fazına sahip olduğu ve herhangi bir safsızlığa da XRD analizleri sonucunda tespit edilmiştir.



Şekil 3. BSCCO tele ait elektriksel direnç ölçümü.

### B. Elektriksel Özellikler

Sarım işlemleri yapılarak test aşamasına geline bobinden alınan parçalar ile süperiletkenliğinin değerlendirilmesine geçilmiştir. Şekil 3 de görüldüğü gibi yüksek manyetik

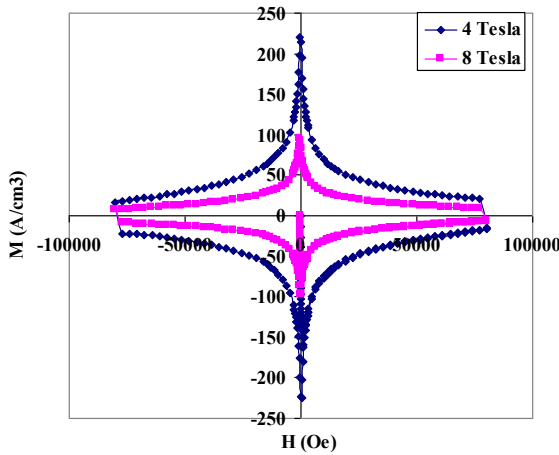
## Nanoteknoloji

2. Gün / 28 Ekim 2016, Cuma

alan altında ve alan uygulanmadan elektriksel testler yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda bobinden alınan kesitlerin yaklaşık olarak 90 K civarında süperiletken geçiş gösterdikleri bulunmuştur (sıfır alan altında). 4 ve 8 tesla manyetik alan altında yapılan ölçümlerde ise beklendiği gibi süperiletkenlik değerinin azaldığı ancak bu denli alanlar altında bile değerini kayıp etmemiştir.

### C. Manyetik Özellikler

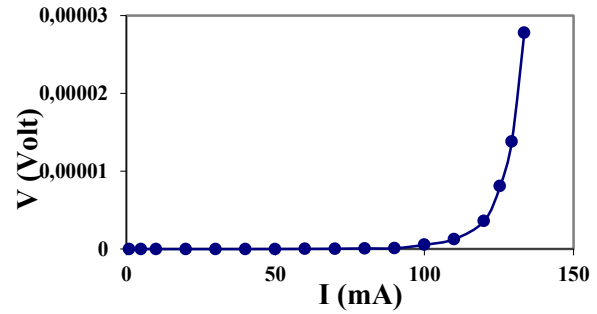
Şekil 4' te ise bobinden alınan kesitlerin manyetizasyon testlerinin 4 ve 8 T' daki sonuçları verilmiştir. Buna göre, yüksek sayılabilecek bu alanlarda malzemenin süperiletkenlik özelliğini kaybetmediği hatta her iki alan değerinde de manyetik doyuma ulaşmadığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre hesaplanan manyetik kritik akım yoğunluğu,  $J_c^{mag}$ , değerinin 4.2 K de yaklaşık olarak  $3 \times 10^6$   $Acm^{-2}$  kadar olduğu bulunmuştur. Bu sonuçların da aslında bu tür malzemeler için bulunan iyi değerlerden birisi olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4. BSCCO tele ait bir kesitten alınan manyetizasyon ölçümlerinin 4 ve 8 Tesladaki değerleri.

### D. Kritik akım yoğunluğu

Elektriksel ve manyetik ölçüm sonuçları alınan kesitler üzerinden transport kritik akım yoğunlukları da ölçülmüştür. Ölçümler için uluslararası 1 mikrovolt kriteri kullanılmıştır. Buna göre yapılan 10 farklı ölçüm sonucunda örneklerin transport kritik akım yoğunluklarınının 123 mA değerinde 1 mikrovolt değerine ulaştığı gözlenmiştir, Şekil 5. Bu veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda örneklerin yaklaşık olarak  $1097$   $Acm^{-2}$  kadarlık DC akımı kesintisiz taşıdığı görülmüştür. Bu değerlerin 15 dakika boyunca uygulanan akıma karşılık değişmediği görülmüştür.



Şekil 4. BSCCO tele ait sıfır alan altında ve 4.2 K de ölçülen transport kritik akım değeri..

## IV. SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ile birlikte yeni ve daha güçlü sistemlere ihtiyaç duyulduğu bir gerçektir. Bununla birlikte her geçen gün yaşamı ve teknik olarak da analizleri kolaylaştıran daha kapsamlı sonuçlar verebilen yeni malzemelerin ve sistemlerin ortaya çıkarıldığı bir gerçektir. Süperiletken malzemelerde son yıllarda yaşanan gelişmelerde bunun en güzel örneği olarak ortaya çıkmaktadır. Öyle ki, HTC süperiletken sistemler günümüzde özellikle hastanelerde MRI sistemlerinde özellikle son 8 yılda yoğun bir şekilde kullanıma başlanmış ve oldukça olumlu sonuçlar alınmaya başlanmıştır. Bu bağlamda ülkemizde de bu konuda önemli çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bunlara en güzel örneklerden biri de laboratuvarlarımızda gerçekleştirilen çalışmadır.

Bu çalışma kapsamında hem hazırlanan saf ve kaliteli HTC süperiletken toz hem de bu tozlar PID metodu kullanılarak hazırlanan süperiletken kablo testleri sonucunda teknolojik uygulamalar için uygun olduğu ve en önemli kullanım yerinin de biyomedikal uygulamalar sınıfında yer alan MRI sistemleri olduğu tespit edilmiştir.

### KAYNAKÇA

- [1] Iqbal, S.M. and Saleem, S. A. (2014). *Perspective on Medical Applications of High Temperature Superconductors*. J. Bioeng Biomed Sci. 4, 1.
- [2] <http://afandifunz.blogspot.com.tr/2016/01/mri-magnetic-resonance-imaging-a.html>
- [3] <http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/neuroimaging/neuroimaging.html>
- [4] Zhang, Y., Wolters, N., Lomparski, D., Zander, W., Banzet, M., Schubert, J., Krause, H.-J., van Leeuwen, P. (2005). Multi-Channel HTS rf SQUID Gradiometer System Recording Fetal and Adult Magnetocardiograms. *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 15, 631-634.
- [5] Pallecchi, I., Eisterer, M., Malagoli, A. and Putti, M. (2015). *Application potential of Fe-based superconductors*. Supercond. Sci. Technol. 28, 114005 (12pp).