

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Başak ATİLLA**

**DEĞİŞİK ORANLARDA GÜMÜŞ (Ag) EKLENMİŞ  
 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  SÜPERİLETKENLERİN  
MAGNETODİRENÇ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**ADANA-2020**

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞİK ORANLARDA GÜMÜŞ (Ag) EKLENMİŞ  
 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  SÜPERİLETKENLERİN MAGNETODİRENÇ  
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Başak ATILLA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez 14/01/2020 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından  
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK  
DANIŞMAN

Prof. Dr. Faruk KARADAĞ  
ÜYE

Prof. Dr. Berdan ÖZKURT  
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Fizik Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

**Prof. Dr. Mustafa GÖK**  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEĞİŞİK ORANLARDA GÜMÜŞ (Ag) EKLENMİŞ  
 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  SÜPERİLETKENLERİN MAGNETODİRENÇ  
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Başak ATILLA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK  
Yıl: 2020, Sayfa: 101  
Jüri : Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK  
: Prof. Dr. Faruk KARADAĞ  
: Prof. Dr. Berdan ÖZKURT

Bu çalışmada sırasıyla sol-gel ve lazer yüzen bölge (LFZ) teknikleri kullanılarak hazırlanan %0, 1, 3 ve 5 konsantrasyonlarında gümüş (Ag) katkı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  süperiletken seramiklerinin yapısal, manyetik ve süperiletkenlik özellikleri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile birlikte enerji dağıtıcı X-ışını (EDS) spektrometresi, manyetodirenç ve manyetik histerezis teknikleri kullanılarak gözlemlendi. XRD sonuçlarına göre tüm örneklerde neredeyse tek bir faz (Bi-2212) gözlemlendi. SEM-EDS analizleri de XRD sonuçlarında gözlemlenen Bi-2212 fazının baskın olduğunu göstermiştir. Manyetodirenç ölçümlerine göre 0 ile 6 T arasında süperiletkenlik geçişinin genişlediği gözlemlendi. Örneklerin akı çivileme enerjilerinin hesaplamalarında TAFF modeli kullanıldı. Akı çivileme enerjileri 4T manyetik alan altında %1 Ag için 0.048 eV ve %3 için 0.057 eV olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bakır Oksit Tabanlı Süperiletkenler, XRD, SEM-EDS, DC manyetik ölçümler, kritik geçiş sıcaklığı, Bi-2212

## ABSTRACT

### MSc THESIS

<b>DETERMINATION OF MAGNETO-RESISTANCE PROPERTIES OF SILVER (Ag) ADDED <math>\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y</math> SUPERCONDUCTORS IN DIFFERENT RATIOS</b>
---

**Başak ATILLA**

**ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF PHYSICS**

Supervisor : Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK  
Year: 2020, Pages: 101  
Jury : Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK  
Prof. Dr. Faruk KARADAĞ  
: Prof. Dr. Berdan ÖZKURT

In this study  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y + x$  wt% Ag addition with  $x = 0, 1, 3, 5$  superconducting ceramics have been prepared by sol-gel method, followed by laser floating zone (LFZ) technique for acquiring directional growth. The obtained samples have been characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) together with energy dispersive X-Ray (EDS) spectrometer, magneto-resistance, magnetization and magnetic hysteresis techniques. From XRD, all samples are composed by nearly single Bi-2212 phase. SEM-EDS analysis yields the Bi-2212 phase as a major one confirming XRD. From magneto-resistance measurement, broadening of superconduction transition has been observed under magnetic field between 0 and 6 T. Thermally Activated Flux Flow (TAFF) model is used to investigate flux pinning energy of the samples. Flux pinning energies are calculated as 0.048 eV for 1 wt% Ag and 0.057 eV for 3 wt% Ag containing sample under 4T magnetic field.

**Keywords:** Copper-Oxide Based Superconductors, XRD, SEM-EDS, DC Magnetic Measurements, Critical Transition Temperature, Bi-2212

## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bazı malzemelerde görülen kritik geçiş sıcaklığı dediğimiz belirli sıcaklık altında dirençleri ölçülemeyecek kadar küçük değerler alması durumuna süperiletkenlik denir. İlk defa 1911 yılında Onnes tarafından metalik civada keşfedilen süperiletkenlik olgusu üzerinden yüz yılı aşkın bir süre geçmesine rağmen araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmektedir. Bu ilginin nedeni süperiletken malzemelere özgü sıfır direnç ve Meissner etkisinin varlığıdır. Süperiletken araştırmacılarının nihai hedefi oda sıcaklığında süperiletken bir malzeme bulmaktır. Günümüze kadar keşfedilmiş olan süperiletken malzemeleri genel olarak elementel süperiletkenler, metal alaşımlar, bakır oksit tabanlı süperiletkenler ve demir tabanlı süperiletkenler olarak sınıflandırabiliriz. Bu sınıflandırmada bakır oksit tabanlı süperiletkenler çok geniş bir yer kaplar. İlk bakır oksit tabanlı süperiletken 1986 yılında Bednorz ve Müller tarafından keşfedilen LSCO yapısıdır. Bu yapıyı YBCO ve BSCCO yapıları izlemiştir. BSCCO yapısı yüksek kritik geçiş sıcaklığı ve kritik akım yoğunluğu gibi süperiletken özelliklere sahip olduğu için sıkça çalışılmaktadır. Bu çalışmamızda Bi-2212 fazındaki Ca yerine 0.075 oranında Na katkılıandıktan sonra sisteme %1, 3 ve 5 oranlarında Ag eklenmiştir. Örnekler öncelikle sol-gel yöntemi ile hazırlanmış, daha sonra preslenerek silindirik hale getirilerek LFZ tekniği uygulanmıştır. XRD analizinden tüm Ag konsantrasyonlarında gözlemlenen pikler Bi-2212 fazına ait olduğu ve  $38.2^\circ$  açı değerinde gözlemlenen metalik Ag pik şiddetinin de Ag konsantrasyonunun artmasıyla artış gösterdiği gözlemlenmiştir. SEM-EDS analizinden de Bi-2212 fazının yapı içerisinde baskın olduğu ve eklenen Ag'nin tanecikler arası bölgelere yerleştiği gözlenmiştir.  $M-T$  ölçümlerinde örneklerin  $T_{c,onset}$  sıcaklık değerleri %0 Ag konsantrasyonu için 85.1 K, %1 için 87.8 K, %3 için 89.8 K ve %5 için 88.8 K olarak gözlenmiştir. Tüm örneklerin 10, 20, 30, 40 ve 50 K sıcaklıklardaki  $M-H$  grafikleri incelendiğinde %3 konsantrasyona sahip örneğin diğer örneklere kıyasla tüm sıcaklıklarda daha büyük

$M_r$  ve  $H_{c1}$  değerlerine sahip olduğu gözlemlendi. Bean modeli ile hesaplanan kritik akım yoğunlukları 10 K'de %0 Ag için 114.3, %1 Ag için 114.5, %3 Ag için 292.7 ve %5 Ag için  $191.5 \times 10^3$  A/cm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir.



## TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca sevgi ve ilgi duyduğum Fizik alanında yüksek lisans yapmaya beni teşvik eden ve cesaretlendiren, yüksek lisansın her aşamasında desteğini esirgemeyen ve motivasyonumu her daim yüksek tutmama yardımcı olan değerli danışmanım Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşarak her zaman destek gösteren Arş. Gör. Dr. Mehmet GÜRSUL'a teşekkür ederim.

Gerek ders, gerekse tez aşamasında üniversitedeki en iyi arkadaşım ve örneklerin manyetizasyon ölçümlerinde büyük desteği olan İbrahim ERGİN'e teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında gösterdiği ilgi ve manevi desteği için Arş. Gör. Gizem ÇETİN'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımında malzeme hazırlama ve ölçümler konusunda desteklerinden dolayı Prof. Dr. A. SOTELO'ya ve Prof. Dr. M. A. Madre'ye teşekkür ederim.

Öğretmenlik ve yüksek lisans arasında koştururken maddi ve manevi desteğini her zaman hissettiğim anneme, babama ve bu süreçte beni sabırla ve özlemlerle bekleyen minik oğlum Barış'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

ÖZ .....	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER .....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVIII
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Süperiletkenliğin Temel Özellikleri.....	1
1.1.1. Sıfır Direnç.....	2
1.1.2. Meissner Etkisi (Mükemmel Diyamanyetizma).....	2
1.1.3. Manyetik Akı Kuantumu.....	3
1.1.4. Josephson Etkileri .....	3
1.1.5. Enerji Aralığı.....	4
1.2. I. ve II. Tip Süperiletkenler.....	5
1.3. BSCCO Süperiletken Ailesi.....	6
1.4. Bean Modeli.....	7
1.5. TAFF Modeli .....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	15
3. MATERYAL VE METOD .....	37
3.1. Giriş .....	37
3.2. Katıhal Tepkime Yöntemi .....	37
3.3. Çözelti – Jel (Sol – Gel) Yöntemi.....	38
3.4. Laser Floating Zone (LFZ) Tekniği.....	39
3.5. Ag ve Na Katkılı Bi-2212 Fiber Örneklerin Hazırlanması .....	41
3.6. XRD (X-ray Diffractometer) ölçümleri .....	42



3.7. SEM (Scanning Electron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive X-Ray) Ölçümleri.....	43
3.8. Manyetizasyon Ölçümleri.....	44
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	47
4.1. Giriş .....	47
4.2. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin XRD Analizi .....	47
4.3. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin SEM-EDS Analizleri..	48
4.4. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin $\rho - T$ Analizleri .....	53
4.5. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin DC-Manyetik Ölçüm Analizleri .....	75
4.5.1. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin Sıcaklığa Bağlı Manyetizasyon ( $M - T$ ) Ölçümleri.....	75
4.5.2. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin Manyetizasyon – Manyetik Alan ( $M - H$ ) Ölçümleri .....	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	93
KAYNAKLAR .....	95
ÖZGEÇMİŞ .....	101

**ÇİZELGELER DİZİNİ****SAYFA**

Çizelge 4.1.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $T_c$ ve $\Delta T$ değerleri.....	53
Çizelge 4.2.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $T_c$ ve $\Delta T$ değerleri.....	57
Çizelge 4.3.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $T_c$ ve $\Delta T$ değerleri.....	60
Çizelge 4.4.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $T_c$ ve $\Delta T$ değerleri.....	64
Çizelge 4.5.	%Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin $T_{\text{onset}}$ ve $T_{\text{offset}}$ Değerleri.....	71
Çizelge 4.6.	%Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $T_{c,\text{onset}}$ , $T_{c,\text{offset}}$ , $\Delta T$ ve saturasyon değerleri.....	76
Çizelge 4.7.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	78
Çizelge 4.8.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	79
Çizelge 4.9.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	80
Çizelge 4.10.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	81
Çizelge 4.11.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 10K'de $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	81
Çizelge 4.12.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 20K'de $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	82
Çizelge 4.13.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 30K'de $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri.....	83

Çizelge 4.14. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 40K'de $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri .....	84
Çizelge 4.15. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 50K'de $M_r$ ve $H_{c1}$ değerleri .....	85
Çizelge 4.16. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 10, 20, 30, 40 ve 50 K'de 0 Oe'te kritik akım yoğunlukları ( $J_c$ ( $\times 10^3$ A/cm <sup>2</sup> )).....	92



## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

Şekil 1.1.	Süperiletkenlerde kritik sıcaklık ( $T_c$ ) grafiği. Bu sıcaklığın altında bulunan süperiletkenler sıfır direnç özelliği gösterir .....	2
Şekil 1.2.	Süperiletkenlerde manyetik alan altında mükemmel diyamanyetizma etkisi .....	3
Şekil 1.3.	Fermi seviyesinde bir süperiletken ile normal metalin yoğunluk durumları .....	5
Şekil 1.4.	Tip-I süperiletkenlere ait manyetizasyonun manyetik alana göre ve manyetik alanın sıcaklığa göre değişim grafikleri .....	6
Şekil 1.5.	Tip-II süperiletkenlere ait manyetizasyonun manyetik alana göre ve manyetik alanın sıcaklığa göre değişim grafikleri .....	6
Şekil 1.6.	Bi-2201, Bi-2212 ve Bi-2223 fazlarının kristal yapıları .....	7
Şekil 1.7.	Bean modeli .....	8
Şekil 1.8.	Akı çivilemesi ve akı çizgilerinin Lorentz kuvveti ve termal enerji ile çivileme noktaları arasında zıplaması .....	11
Şekil 1.9.	Cooper çiftlerinin şematik gösterimi .....	13
Şekil 2.1.	Farklı tavlama zamanlarına ( $A = 60$ , $B = 72$ , $C = 96$ ve $D = 120$ sa) sahip Bi-2212 örneklerinin $10$ K'de kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) manyetik alanın büyüklüğüne ( $H$ ) göre değişim grafiği .....	15
Şekil 2.2.	Ag (% $a = 0$ , $b = 1$ , $c = 3$ , $d = 5$ ) katkılı $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2CaCu_2O_{8+y}$ örneklerinin elektriksel dirençlerinin sıcaklığa bağlı değişim grafiği .....	16
Şekil 2.3.	Ag katkılı Bi-2212/3'ün $77$ K'de kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) büyüme hızına göre değişim grafiği .....	17
Şekil 2.4.	$15$ , $30$ ve $60$ mm/sa çaprazlama hızlarında lazer çizgi ile taranan %2,9 Ag katkılı Bi-2212 örneklerinin dirençlerinin sıcaklığa göre değişim grafiği .....	18

Şekil 2.5.	Ce katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$ ( $x = 0, 0.01, 0.05, 0.1$ and $0.25$ ) örneklerinin 10 K sıcaklıktan $M - H$ grafiği ( $A = \%0, B = \%1, C = \%5, D = 10\%, E = \%25$ ).....	19
Şekil 2.6.	10 K de $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_y$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.10$ ve $0.25$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinin uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği.....	21
Şekil 2.7.	10 K'de Cr katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$ ve $0.25$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinin uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği .....	22
Şekil 2.8.	$H_{c2}$ ve $\zeta$ değerlerinin K konsantrasyonuna göre değişimleri .....	23
Şekil 2.9.	10 K'de K katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{K}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinin uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği .....	24
Şekil 2.10.	Na katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15$ ve $0.2$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının uygulanan manyetik alana göre değişim grafiği .....	25
Şekil 2.11.	$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15$ ve $0.20$ ) örneklerinin akım sabitleme enerjilerinin uygulanan manyetik Alana göre değişim grafiği .....	26
Şekil 2.12.	Na katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$ ve $0.20$ ) örneklerinin manyetik momentlerinin sıcaklığa bağlı değişim ( $M - T$ ) grafiği .....	28
Şekil 2.13.	Na katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$ ve $0.20$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği.....	29
Şekil 2.14.	V (Vanadium) katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{V}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$ ve $0.25$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği.....	30

Şekil 2.15. Y katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$ ve $0.20$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği.....	31
Şekil 2.16. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Yb}_x\text{O}_y$ örneklerinin 10 K'deki $M - H$ grafiği .....	32
Şekil 2.17. $H_{c2}$ ve $\zeta$ değerlerinin Yb konsantrasyonuna göre değişimleri .....	33
Şekil 2.18. 10 K'de farklı konsantrasyonlarda Yb katkılı Bi-2212 örneklerinin kritik akım yoğunluklarının uygulanan manyetik alana göre değişim grafiği .....	34
Şekil 2.19. MgO (100) üzerine $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ ince filmlerinin 10 K'de kritik akım yoğunluğunun manyetik alana göre değişim ( $J_c - H$ ) grafiği .....	36
Şekil 3.1. LFZ (Lazer Floating Zone Melting) Uygulaması.....	41
Şekil 3.2. Bragg kırınım yasası.....	43
Şekil 3.3. Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) elektronların malzeme ile etkileşimi.....	44
Şekil 4.1. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin XRD desenleri .....	48
Şekil 4.2. %0 Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneğinin SEM-EDS analizleri.....	49
Şekil 4.3. %1 Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneğinin SEM-EDS analizleri.....	50
Şekil 4.4. %3 Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneğinin SEM-EDS analizleri.....	51
Şekil 4.5. %5 Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneğinin SEM-EDS analizleri.....	52
Şekil 4.6. %0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 0 T'da $\rho - T$ grafiği .....	54
Şekil 4.7. %0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 1 T'da $\rho - T$ grafiği.....	54

Şekil 4.8.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 2 T'da $\rho - T$ grafiği.....	55
Şekil 4.9.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 4 T'da $\rho - T$ grafiği.....	55
Şekil 4.10.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 6 T'da $\rho - T$ grafiği.....	56
Şekil 4.11.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin farklı manyetik alanlar altında $\rho - T$ grafiği .....	56
Şekil 4.12.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 0 T'da $\rho - T$ grafiği.....	57
Şekil 4.13.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 1 T'da $\rho - T$ grafiği.....	58
Şekil 4.14.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 2 T'da $\rho - T$ grafiği.....	58
Şekil 4.15.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 4 T'da $\rho - T$ grafiği.....	59
Şekil 4.16.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 6 T'da $\rho - T$ grafiği.....	59
Şekil 4.17.	%1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin farklı manyetik alanlar altında $\rho - T$ grafiği .....	60
Şekil 4.18.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 0 T'da $\rho - T$ grafiği.....	61
Şekil 4.19.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 1 T'da $\rho - T$ grafiği.....	61
Şekil 4.20.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 2 T'da $\rho - T$ grafiği.....	62
Şekil 4.21.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 4 T'da $\rho - T$ grafiği.....	62

Şekil 4.22.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 6 T'da $\rho - T$ grafiği.....	63
Şekil 4.23.	%3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin farklı manyetik alanlar altında $\rho - T$ grafiği .....	63
Şekil 4.24.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 0 T'da $\rho - T$ grafiği.....	64
Şekil 4.25.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 1 T'da $\rho - T$ grafiği.....	65
Şekil 4.26.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 2 T'da $\rho - T$ grafiği.....	65
Şekil 4.27.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 4 T'da $\rho - T$ grafiği.....	66
Şekil 4.28.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 6 T'da $\rho - T$ grafiği.....	66
Şekil 4.29.	%5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin farklı manyetik alanlar altında $\rho - T$ grafiği .....	67
Şekil 4.30.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 0 T'da $\rho - T$ grafiği .....	68
Şekil 4.31.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 1 T'da $\rho - T$ grafiği .....	68
Şekil 4.32.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 2 T'da $\rho - T$ grafiği .....	69
Şekil 4.33.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 4 T'da $\rho - T$ grafiği .....	70
Şekil 4.34.	%Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 6 T'da $\rho - T$ grafiği .....	70
Şekil 4.35.	%0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $\ln \rho - 1/T$ grafiği .....	72



Şekil 4.36. %1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $\ln \rho - 1/T$ grafiği .....	72
Şekil 4.37. %3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $\ln \rho - 1/T$ grafiği .....	73
Şekil 4.38. %5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $\ln \rho - 1/T$ grafiği .....	73
Şekil 4.39. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin çivileme aktivasyon enerjileri .....	74
Şekil 4.40. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin sıcaklığa bağlı manyetizasyon grafiği .....	76
Şekil 4.41. %0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M - H$ eğrileri .....	77
Şekil 4.42. %1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M - H$ eğrileri .....	78
Şekil 4.43. %3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M - H$ eğrileri .....	79
Şekil 4.44. %5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin $M - H$ eğrileri .....	80
Şekil 4.45. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 10K'de $M - H$ eğrileri .....	81
Şekil 4.46. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 20K'de $M - H$ eğrileri .....	82
Şekil 4.47. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 30K'de $M - H$ eğrileri .....	83
Şekil 4.48. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 40K'de $M - H$ eğrileri .....	84
Şekil 4.49. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 50K'de $M - H$ eğrileri .....	85

Şekil 4.50. %0 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği .....	86
Şekil 4.51. %1 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği .....	87
Şekil 4.52. %3 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği .....	87
Şekil 4.53. %5 Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği .....	88
Şekil 4.54. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 10K'de kritik akım yoğunluğu grafiği.....	89
Şekil 4.55. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 20K'de kritik akım yoğunluğu grafiği.....	89
Şekil 4.56. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 30K'de kritik akım yoğunluğu grafiği.....	90
Şekil 4.57. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 40K'de kritik akım yoğunluğu grafiği.....	90
Şekil 4.58. %Ag katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ örneklerinin 50K'de kritik akım yoğunluğu grafiği.....	91



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bi-2212	: Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> CaCu <sub>2</sub> O <sub>y</sub> Yapısı
BSCCO	: BiSrCaCuO Bileşiği
EDS	: Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektrometresi
H <sub>c</sub>	: Kritik Manyetik Alan
H <sub>c1</sub>	: Alt Kritik Alan
H <sub>c2</sub>	: Üst Kritik Alan
J <sub>c</sub>	: Kritik Akım Yoğunluğu
K	: Sıcaklık Birimi, Kelvin
LFZ	: Lazer Yüzen Bölge
M	: Manyetizasyon, Mıknatıslanma
Oe	: Manyetik Alan Birimi, Oersted
PPMS	: Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
T	: Manyetik Alan Birimi, Tesla
TAFF	: Termal Aktiviteli Akı Akışı
T <sub>c</sub>	: Kritik Sıcaklık
XRD	: X-Işını Kırınımı
VSM	: Titreşimli Örnek Manyetometresi
ρ(T)	: Sıcaklığa Bağlı Özdirenç
ΔM	: Belli Bir Manyetik Alanda Manyetizasyon Değişimi



## 1. GİRİŞ

Bir malzemenin elektriksel iletkenliği, içerisinde bulundurduğu serbest elektronların taşınmasına izin verme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Elektriksel direnç de iletkenliğin tersi olup malzeme içerisindeki elektronların hareketine karşı koyan mekanizmalardır. Bu mekanizmalar genel olarak malzeme içerisindeki safsızlıklar ve termal enerji sonucu ortaya çıkan örgü titreşimleridir. Elektrik enerjisinin bir kısmı direnç nedeni ile ısı olarak kaybedilir. Bazı malzemelerde kritik sıcaklık denilen geçiş sıcaklıklarının altında elektriksel dirençlerinin ölçülemeyecek kadar küçük değerlere düşmesi durumuna süperiletkenlik denir. Bir süperiletken malzemede dirençten dolayı ısı kaybı oluşmaz, bu sayede enerji kaybı engellenmiş olur.

Süperiletkenlik ilk kez 1911 yılında Kamerling Onnes tarafından keşfedilmiş olup, o tarihten günümüze kadar bu alanda çalışmalar yapan bilim insanlarının en büyük hayallerinden biri oda sıcaklığında süperiletkenlik özelliğine sahip olan bir malzeme üretebilmektir. 1986'da Bednorz ve Müller'in kritik sıcaklığı yaklaşık 35K olan bakır oksit tabanlı bir süperiletken keşfetmeleri, bu konuda yapılan çalışmalara ivme kazandırdı. Bu keşif sonrası dünyanın pek çok yerindeki laboratuvarlarda yüksek sıcaklık süperiletkenleri, yani kritik sıcaklığı 30K'in üzerinde olan süperiletken üretme çabası başladı. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin mikroskobik mekanizmaları hakkında elde ettiğimiz bilgilerin artması, oda sıcaklığındaki süperiletkenlerin üretilmesine bizi bir adım daha yaklaştıracaktır.

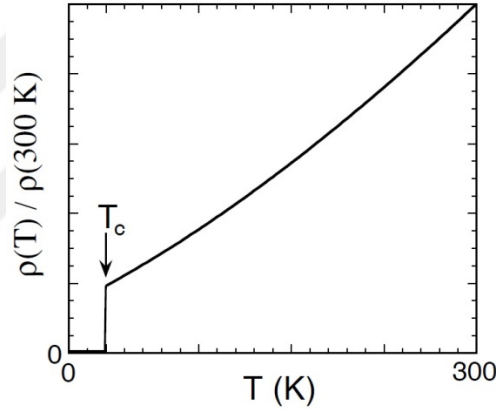
### 1.1. Süperiletkenliğin Temel Özellikleri

Madde diğer hallerinde olduğu gibi, süperiletkenlik fazına geçtiğinde de, süperiletkenlik mekanizmaları ve maddenin özelliklerinden bağımsız olarak bazı temel özelliklere sahip olur. Süperiletkenlik fazının bazı temel özellikleri sıfır

direnç, Meissner etkisi, manyetik akı kuantumu, Josephson etkisi ve enerji aralığıdır.

### 1.1.1. Sıfır Direnç

Kritik sıcaklığın altında bulunan her süperiletkenin elektriksel direnci sıfırdır (Şekil 1.1.). Süperiletkenlerin bu özelliği, süperiletken fazındaki kapalı bir devreye verilen küçük bir akımdaki kaybın iki buçuk yıl sonunda ölçülemeyecek kadar küçük olduğunun görülmesi ile anlaşılmıştır. Bu özellik, süperiletkenlik fazının muhtemelen en büyüleyici olanıdır ve mikroçiplerden güç kablolarına kadar birçok farklı kullanım alanı vardır (Marouchkine, 2004).

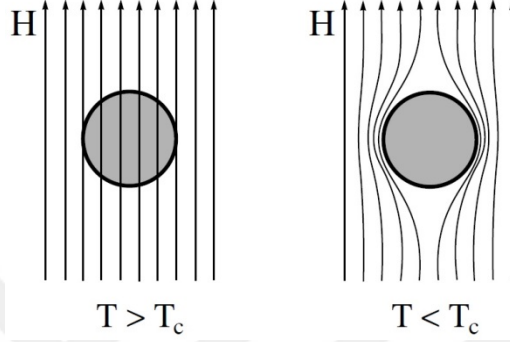


Şekil 1.1. Süperiletkenlerde kritik sıcaklık ( $T_c$ ) grafiği. Bu sıcaklığın altında bulunan süperiletkenler sıfır direnç özelliği gösterir (Marouchkine, 2004)

### 1.1.2. Meissner Etkisi (Mükemmel Diyamanyetizma)

İlk kez 1933 yılında, W. Meissner ve R. Ochsenfeld tarafından bir manyetik alan içerisinde bulunan süperiletkenin  $T_c$ , yani kritik geçiş sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa getirildiğinde manyetik alan çizgilerini dışarıya doğru ittiği gözlemlenmiştir (Şekil 1.2.). Süperiletkenin manyetik alanı dışarlama durumu Meissner etkisi denmektedir. Süperiletken yüzeyinde manyetik alana eşit

büyükte ve zıt yönde oluşan akım sonucunda Meissner etkisi oluşur. Bu sayede  $T_c$  değerinden düşük sıcaklıklarda bulunan süperiletkenlerde  $B=0$  olur ve mükemmel bir diyamanyetizma özelliği gösterirler.



Şekil 1.2. Süperiletkenlerde manyetik alan altında mükemmel diyamanyetizma etkisi (Marouchkine, 2004)

### 1.1.3. Manyetik Akı Kuantumu

Süperiletkenlik durumu kuantumsal bir durumdur. Bir süperiletken içerisine açılmış bir delik düşünelim. Sıcaklığın  $T_c$  değerinden küçük olduğu durumlarda delik içerisinden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısı  $\Phi = n \cdot \Phi_0$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) ile verilir. Yani delik içerisinden geçen manyetik akının değeri  $\Phi_0$ 'ın tam katıdır. Burada  $\Phi_0$  manyetik akı kuantumu olup, değeri  $2,07 \times 10^{-15} \text{ T x m}^2$ 'dir.

### 1.1.4. Josephson Etkileri

Normal iletkenlerde akımın oluşması için potansiyel farkı olmalıdır. Ancak iki süperiletken arasına 10 ile 20 Angstrom aralığında bir kalınlığa sahip ince yalıtkan bir oksit tabaka yerleştirildiğinde elektronlar bu tabakadan dirençsiz olarak geçebilmektedir. Elektronların hareketlerinin dalgasal özelliği sayesinde yalıtkan tabakadan tünel etkisi ile geçen elektron çiftinin (Copper Çifti) oluşturduğu bu dirençsiz akıma DC Josephson Etkisi denir. DC Josephson Etkisi'nin bir uygulaması olarak Josephson eklemlerinde herhangi bir voltaj uygulamaksızın

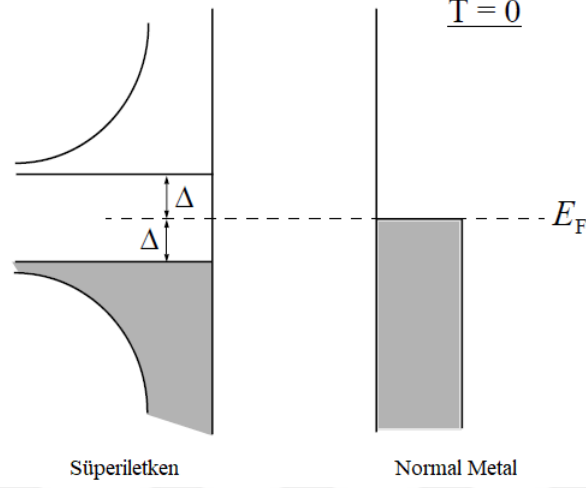


sürekli bir akım oluşur. Daha hızlı ve daha az enerji tüketen bilgisayar üretimlerinde Josephson eklemleri uygulanmaktadır.

### 1.1.5. Enerji Aralığı

Sıcaklık sıfıra eşit olduğunda süperiletkenlerin temel uyarılma spektrumlarında bir aralık oluşur. Konvensiyonel süperiletkenlerde bazı özel durumlarda aralıksız süperiletkenlik oluşabilir. Süperiletkenlerde enerji aralığı Fermi yüzeyi ile taşınır ve Fermi seviyesinde oluşur. Bir süperiletkenin uyarılmış hali ile normal hali farklılık gösterir. Normal haldeki bir süperiletkendeki elektronu uyarılmış hale getirebilmek için  $|E_k - E_F|$  kadar bir enerjiye ihtiyaç vardır. Süperiletken halinde ise gerekli olan enerji  $\sqrt{(E_k - E_F)^2 + \Delta^2}$  kadardır. Yani normal halde gerekli olan minimum enerji sıfır olduğu durumda süperiletken halinde gerekli olan minimum enerji  $\Delta$  kadardır. Sonuç olarak, süperiletken halindeki bir elektronik sistemin absorbe edeceği enerji miktarı çok küçük olur. Sıcaklık sıfır olduğunda süperiletkenin elektronları enerji aralığının altında bir hale yerleşirler ve bu enerji aralığını geçebilmeleri için en az  $2\Delta$  kadar enerji verilmelidir (Şekil 1.3.).

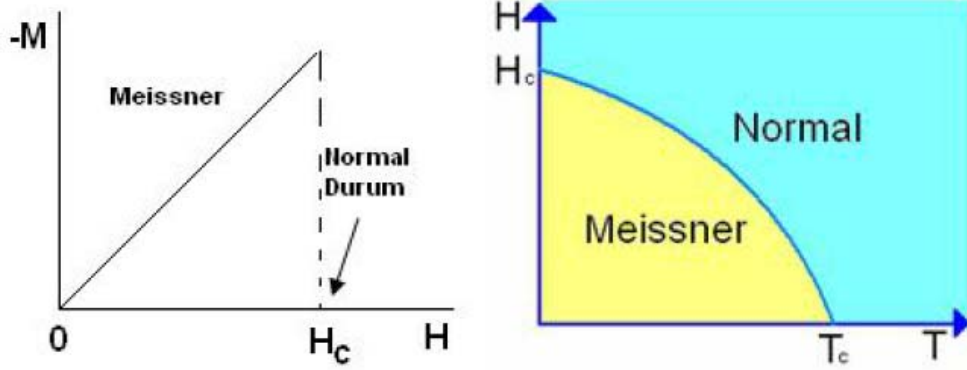
Süperiletkenlerin temel uyarılma spektrumundaki enerji aralığının oluşmasında bir çok etken vardır. Bunlardan bazıları tünelleme, kızılötesi, mikrodalga, akustik, özısı gibi ölçümlerdir. Konvensiyonel süperiletkenlerde manyetik momentin manyetik safsızlıklar oluşturarak cooper çifti elektronları ayırması, çok kuvvetli manyetik alan veya akım verilmesi gibi dışarıdan bir kuvvet uygulanması gibi durumlarda aralıksız süperiletkenlik oluşabilir. Ancak bu aralıksız süperiletkenlik yalnızca bölgeseldir ve mikroskobik düzeydedir. Makroskopik düzeyde aralıksız süperiletkenlik mümkün değildir.



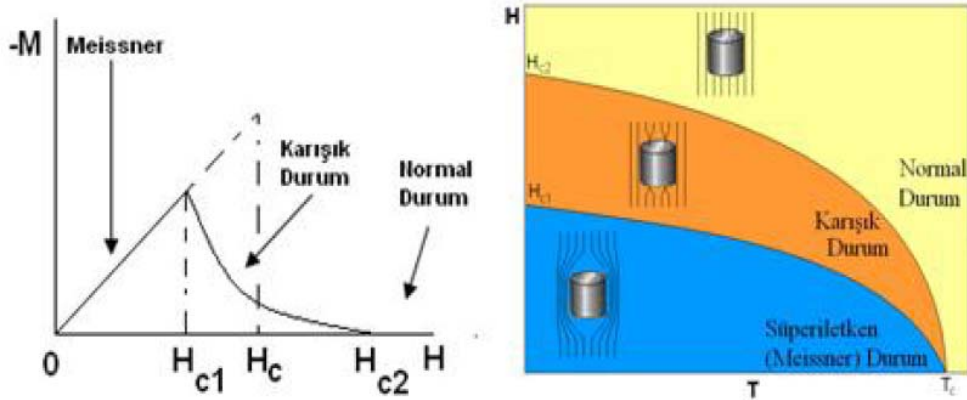
Şekil 1.3. Fermi seviyesinde bir süperiletken ile normal metalin yoğunluk durumları. Süperiletkendende enerji aralığının  $T = 0$ 'da  $2\Delta$  olduğu görülmektedir. Enerji aralığının altında kalan tüm durumlar dolu, üzerinde bulunan durumlar ise boştur (Marouchkine, 2004)

### 1.2. I. ve II. Tip Süperiletkenler

Uygulanan manyetik alan altında süperiletkenler iki farklı davranış sergilerler. Tip-I süperiletkenlerde dış manyetik alan belirli bir kritik değere ( $H_c$ ) ulaşıncaya dek Meissner etkisi gözlemlenir ve manyetik alan kritik değere ulaştıktan sonra süperiletkenlikten normal duruma ani bir geçiş olur (Şekil 1.4). Ancak Tip-II süperiletkenlerde  $H_{c1}$  ve  $H_{c2}$  olarak adlandırılan iki kritik manyetik alan değeri mevcuttur. Dış manyetik alanın  $H_{c1}$ 'den küçük olduğu durumlarda, Tip-I süperiletkenlerde olduğu gibi Meissner etkisi, manyetik alanın  $H_{c2}$ 'den büyük olduğu durumlarda ise normal duruma geçiş gözlemlenir. Ancak manyetik alanın bu iki kritik değer arasında olduğu durumlarda Tip-2 süperiletkenleri içerisine manyetik akı kuantize olmuş akılar şeklinde girer (Şekil 1.5.). Bu durumun sebebi, süperiletkenlerin uyum uzunlukları ile Copper-çifti boyutlarının birbirine oranlarının farklı değerler almasıdır. Bir süperiletken malzemenin normal durumdan süperiletkenlik durumuna geçerkenki yüzey enerjisi pozitif değer alıyor ise Tip-I, negatif değer alıyor ise Tip-II süperiletken olarak adlandırılır.



Şekil 1.4. Tip-I süperiletkenlere ait manyetizasyonun manyetik alana göre ve manyetik alanın sıcaklığa göre değişim grafikleri (<http://libratez.cu.edu.tr/tezler/9772.pdf>)



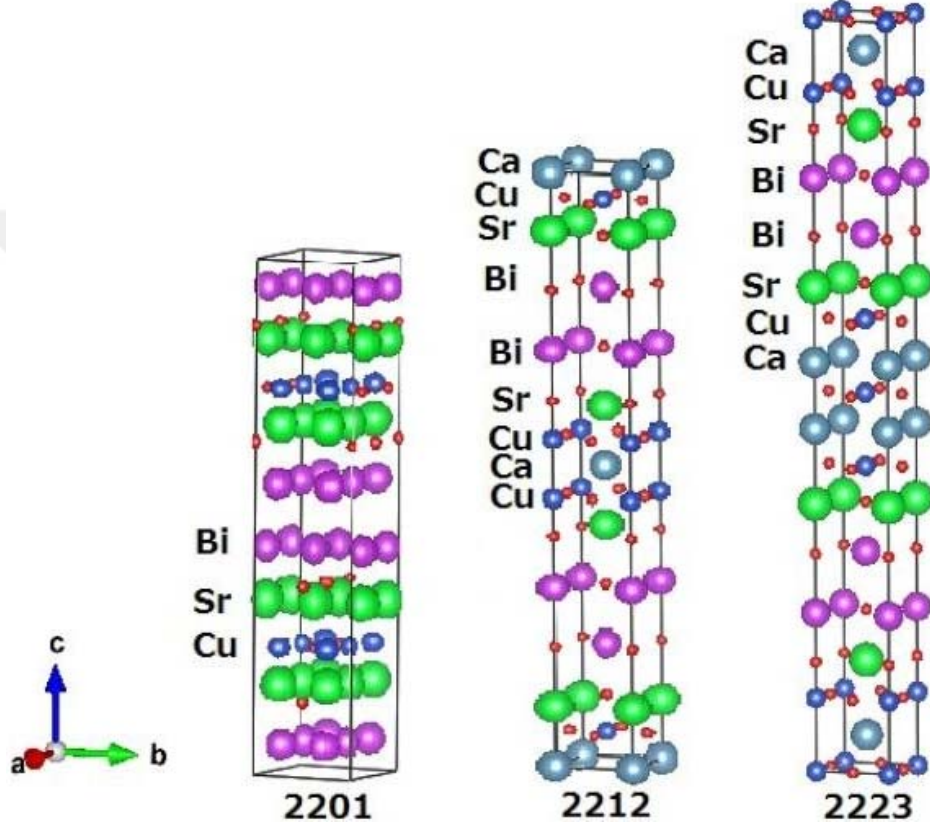
Şekil 1.5. Tip-II süperiletkenlere ait manyetizasyonun manyetik alana göre ve manyetik alanın sıcaklığa göre değişim grafikleri (<http://libratez.cu.edu.tr/tezler/9772.pdf>)

### 1.3. BSCCO Süperiletken Ailesi

Mitchell ve arkadaşları tarafından 1987'de 22 K geçiş sıcaklığına sahip Bi-Sr-Cu-O sistemi keşfedildi ancak bu sistemin kritik geçiş sıcaklığının, hemen öncesinde keşfedilmiş olan 93 K kritik geçiş sıcaklığına sahip YBCO sistemine göre çok düşük olması, bu sisteme ilgi gösterilmemesine sebep oldu. Maeda ve arkadaşları tarafından 1988'de Bi-Sr-Cu-O sistemine Ca eklenmesi ile keşfedilen

Bi-Sr-Ca-Cu-O sisteminin ise kritik geçiş sıcaklığının 105 K olduğu gözlemlendi ve bu keşif sayesinde BSCCO sistemine olan ilgi arttı.

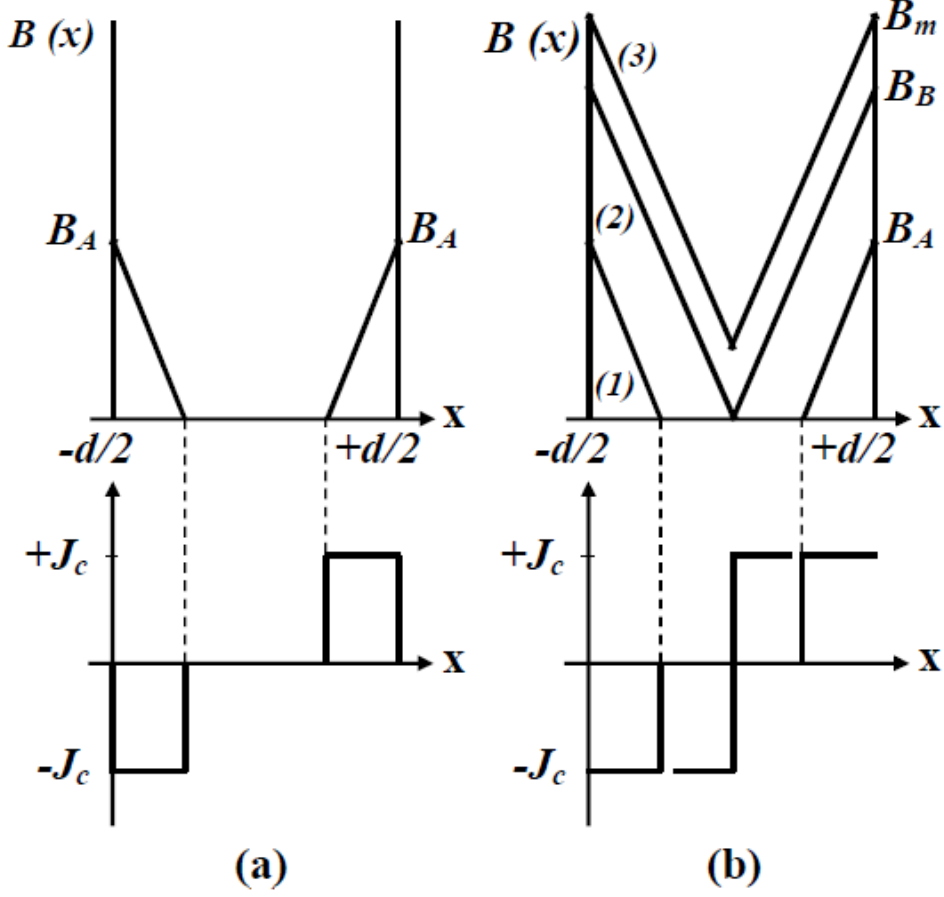
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$  sisteminin  $n = 1, 2, 3$  olmak üzere Bi-2201, Bi-2212 ve Bi-2223 fazları vardır (Şekil 1.5.).



Şekil 1.6. Bi-2201, Bi-2212 ve Bi-2223 fazlarının kristal yapıları (<http://www.researchgate.net>)

#### 1.4. Bean Modeli

1962 yılında Bean tarafından kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerinin hesaplanması için geliştirilen Bean modeline göre, dış manyetik alan, manyetik alanın süperiletken malzemenin içine girme derinliği, manyetik alanın yönü ve malzemenin boyutları, kritik akım yoğunluğunu etkileyen faktörlerdir.



Şekil 1.7. Bean modeli; (a) ve (b) durumlarında uygulanan manyetik alan şiddetleri artarken örnekteki manyetik akım dağılımının malzemenin merkez noktasına kadar etki eder ancak her noktasında sabit bir mutlak değer alır (Fossheim, 2004)

Uygulanan manyetik alanın değişmesi sonucu malzemenin manyetik akım yoğunluklarının hesaplanmasında Bean modeli özellikle Tip-II süperiletkenler için iyi sonuçlar vermektedir, ancak uygulanan manyetik alan şiddeti çok yüksek olduğunda Bean modeli ile hesaplanan değerlerin deney sonucu elde edilen değerlerden farklı olduğu gözlemlenmiştir. Tip-I süperiletkenlerde elde edilen sonuçların farklı çıkmasının sebebi, Tip-I süperiletkenlerde uygulanan manyetik alanın büyüklüğü kritik akım yoğunluğunu değiştiren faktörlerden biri olmasıdır.

Bean modelinin geliştirilmesinden iki yıl sonra, 1964'te Anderson ve Kim tarafından Bean modeli, kritik akım yoğunluğunun uygulanan manyetik alana bağlı olarak değişeceği şekilde geliştirildi.

$$J_c(T, B) = \frac{J_0(T)}{1+B/B_0} \quad (1.1)$$

Bu formülde,  $J_0(T)$  uygulanan manyetik alanın sıfır olması durumunda malzemenin kritik akım yoğunluğu,  $B$  uygulanan manyetik alan yoğunluğu,  $B_0$  ise deneyler sonucunda elde edilen manyetik alan değişkenidir.

Bi-2212 fazında ise Bean modeli yapılan deneysel sonuçlara göre geliştirilerek şu hale getirilmiştir:

$$J_c = 30 \left( \frac{\Delta M}{d} \right) \quad (1.2)$$

Silindirik yapıdaki örnekler için  $d$  çap uzunluğu olmak üzere Denklem (1.2) kullanılabilir.

### 1.5. TAFF Modeli

Tip-II süperiletkenlerde manyetik alanın  $H_{c1}$  değerinin üzerinde olduğu durumlarda malzeme içerisinde manyetik akı çizgileri mevcuttur. Malzeme bu durumda iken bir akım verildiğinde Lorentz kuvvetinden dolayı malzeme içerisindeki akı çizgileri hareket edip enerji harcarlar. Lorentz kuvveti aşağıdaki ifade ile verilir.

$$\mathbf{F} = \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (1.3)$$

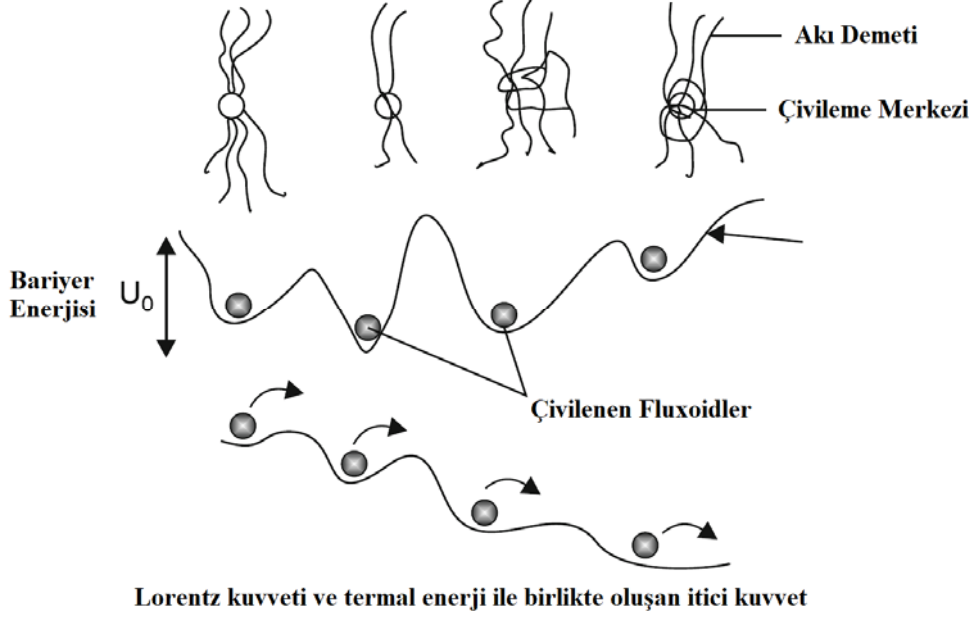
Malzeme içerisinde akı çizgileri  $V$  hızıyla hareket ederse  $J$ 'ye paralel bir elektrik alan oluşur.

$$\mathbf{E} = \mathbf{B} \times \mathbf{V} \quad (1.4)$$

Oluşan elektrik alandan dolayı malzeme içerisinde süperiletken durumda bile bir direnç ortaya çıkacak ve enerji harcanacaktır. Malzeme içerisindeki Lorentz kuvvetini engellemeye çalışan mekanizmalara çivileme kuvvetleri denir. Çivileme kuvvetleri malzeme içerisindeki safsızlıklardan, tanecik sınırlarından ve çeşitli boşluklardan meydana gelir. Çivileme merkezleri tarafından oluşan kuvvetler ne kadar güçlü ise malzeme içerisindeki akı çizgilerinin hareketi o kadar az olacaktır ve buna paralel olarak akı çizgilerinin hareketinden kaynaklı kaybedilen enerji miktarı da azalmış olacaktır. Ancak akı çizgileri termal olarak uyarıldıkları için çivileme durumu ne kadar iyi olursa olsun direnç sıfır olmayacaktır. Akı çizgileri belirli bir akım altında çivileme noktaları arasında birinden diğerine zıplama gösterebilir (Şekil 1.8). Bu durum Anderson-Kim akı sürüklenmesi modeli ile açıklanır ve aşağıda verilen denklem ile gösterilir.

$$R = v_0 e^{-U/kT} \quad (1.5)$$

Bu formülde R zıplama oranını,  $v_0$  akı çizgilerinin titreşim frekansını, U aktivasyon (bariyer) enerjisini ve k Boltzman sabitini temsil etmektedir.



Şekil 1.8. Akı çivilemesi ve akı çizgilerinin Lorentz kuvveti ve termal enerji ile çivileme noktaları arasında zıplaması (Saxena, 2010).

Akı hareketi sebebi ile oluşan elektrik alanı Anderson-Kim akı sürüklenmesi modeli ile ifade edilir.

$$E(J) = 2\rho_c J_c \exp(-U / k_B T) \sinh(J U / J_c k_B T) \quad (1.6)$$

Bu formülde  $J_c$  kritik akım yoğunluğunu,  $\rho_c$   $J = J_c$ 'deki özdirenci,  $U$  ise akı zıplamasının aktivasyon enerjisini temsil etmektedir. Malzeme içerisindeki akım yoğunluğuna göre 3 farklı bölge oluşur. Eğer akım yoğunluğunun değeri kritik akım yoğunluğundan büyük olduğu durumlarda akı akışı, akım yoğunluğunun kritik akım yoğunluğundan küçük olduğu durumlarda termal aktiviteli akı akışı (TAFF) ve akım yoğunluğu ile kritik akım yoğunluğu değerlerinin birbirine yakın olduğu durumlarda akı sürüklenmesi bölgeleri meydana gelir. Bu bölgelerdeki direnç davranışları  $J_1 = J_c k_B T / U$  olmak üzere;



$$\begin{aligned}
\rho &= (2\rho_c U / k_B T) \exp(-U / k_B T) = \rho_{\text{TAFF}} & J \ll J_1 \text{ için TAFF} \\
\rho &= \rho_c \exp[(J / J_c - 1) U / k_B T] \propto \exp(J / J_1) & J \approx J_c \text{ için akı sürüklenmesi} \\
\rho &= \rho_{\text{FF}} (1 - J_c^2 / J^2)^{1/2} & J > J_c \text{ için akı akışı}
\end{aligned} \tag{1.7}$$

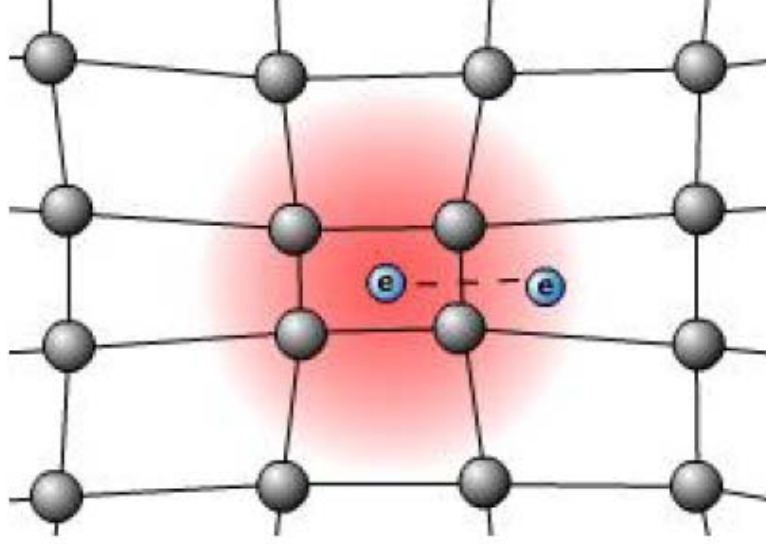
kullanılarak hesaplanır. Termal aktiviteli akı akışı (TAFF) sebebi ile yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde akımın düşük olduğu durumlarda bile direnç oluşmaktadır.  $J \ll J_c$  olduğu durumlarda direnç ifadesi;

$$\rho = \rho_0 \exp(-U / k_B T) \tag{1.8}$$

olarak verilir. Bu denklemden  $U$  çivileme (aktivasyon) enerjisi,  $\rho_0$  eksponansiyel faktör ve  $k_B$  Boltzman sabitini ifade etmektedir. Malzemelerin çivileme enerjisi  $\ln \rho - 1/T$  grafiğinin eğim değerinin Boltzman sabiti ile çarpılması ile hesaplanır.

### 1.6. BCS Teorisi

J. Bardeen, L.N. Cooper ve J.R. Scribeffer tarafından 1957'de ortaya atılan BCS teorisi ile süperiletkenlik mikroskobik ölçekte ilk kez açıklanmıştır. Kristal örgü içerisinde bir elektron hareket ederken Coulomb kuvvetinden dolayı pozitif iyonları kendine doğru çekerek etrafında pozitif bir yük yoğunluğu oluşturur. Örgüde oluşan bu değişiminden dolayı ikinci bir elektron da bu pozitif yük yoğunluğuna doğru çekilir. Eğer bu çekilme kuvveti iki elektron arasındaki itici Coulomb kuvvetinden büyükse elektronlar bir araya gelerek Cooper çifti oluşturur. Bu durumda sistemin enerjisi düşerek süperiletkenlik durumu ortaya çıkar. Cooper çiftini bir arada tutmak için gerekli olan enerji  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  eV gibi küçük bir değer olduğundan süperiletkenlik düşük sıcaklıklarda ortaya çıkan bir kavramdır. Yüksek sıcaklıklarda termal enerjiyle birlikte Cooper çiftleri bozularak süperiletkenlik durumu ortadan kalkmaktadır. Cooper çiftlerinin şematik gösterimi Şekil 1.9'da verilmiştir.

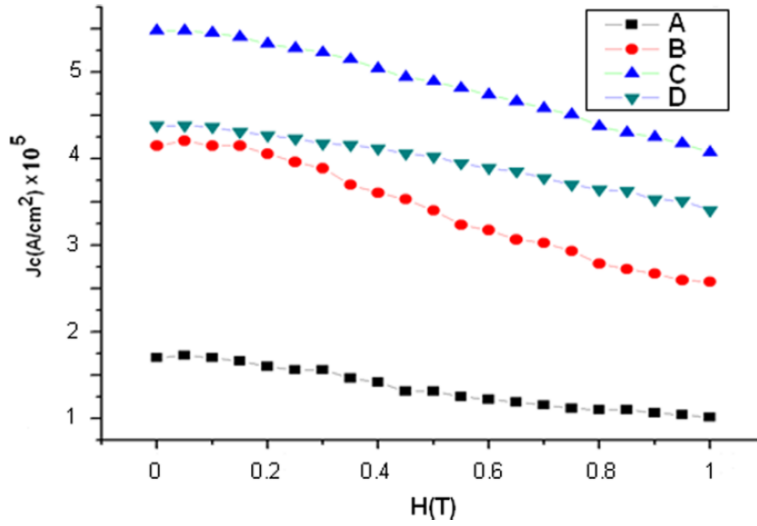


Şekil 1.9. Cooper çiftlerinin şematik gösterimi (<http://www.chm.bris.ac.uk>)



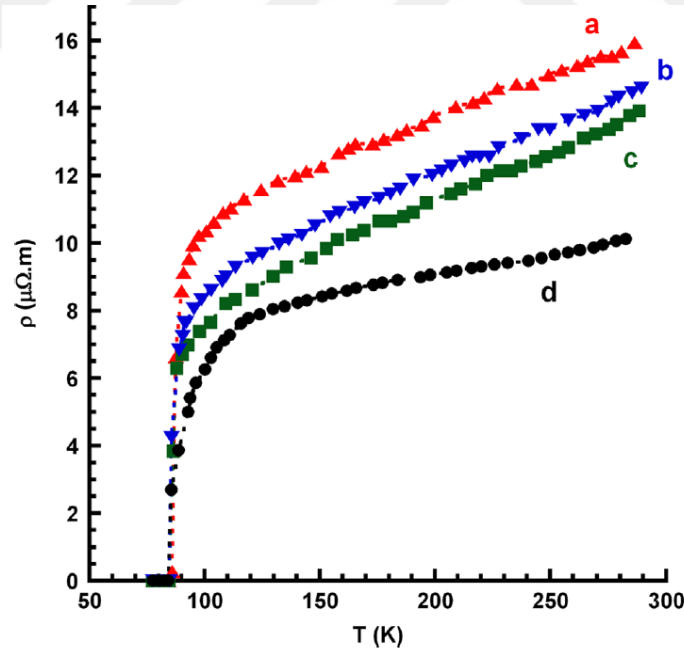
## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

B. ÖZÇELİK ve arkadaşları (2012), Bi-2212 yönlendirilmiş kompozitlerinin tavlama zamanı ile manyetik özellikleri arasındaki ilişki üzerine yaptıkları çalışmada lazer yüzen bölge tekniği (LFZ) kullanılarak üretilen  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  yönlendirilmiş kompozitlerini farklı sürelerde (60, 72, 96 ve 120 sa) tavlama yapmışlardır. 96 ve 120 saat boyunca tavlama yapılan örnekler için SEM görüntülerinin çubuk ekseninde boyuna çok iyi bir uyumla yönlendiğini gözlemlediler. X-ışını kırınım desenlerine göre tüm durumlarda Bi-2212 fazının baskın olduğunu gözlemlediler. Manyetizasyon ölçümleri, manyetik alanın bir fonksiyonu olarak 9kOe'ye kadar yapılmıştır. Numunelerin  $J_c$  değerlerini Bean modeli kullanılarak hesapladılar. Sonuç olarak tavlama süresinin  $T_c$  değeri üzerinde önemli bir etkisi olmadığını ancak 96 saatlik tavlama süresine sahip numunelerin kritik akım değeri olan  $J_c$  değerinde önemli bir değişime sebep olduğunu gözlemlediler. Ayrıca  $J_c$ 'nin maksimum kritik yoğunluğunun 96 saat boyunca 10K sıcaklıkta tavlama yapılan numunelerde  $5.5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$  olduğunu belirlediler.



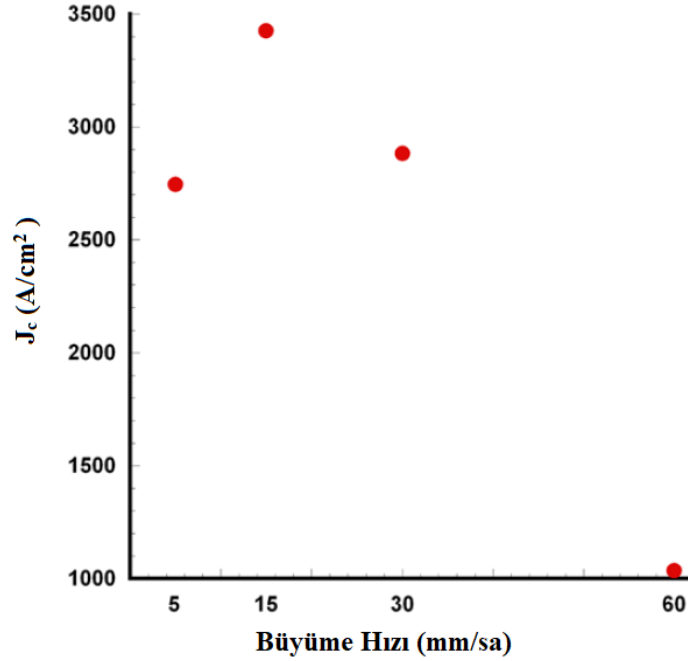
Şekil 2.1. Farklı tavlama zamanlarına (A = 60, B = 72, C = 96 ve D = 120 sa) sahip Bi-2212 örneklerinin 10 K'de kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) manyetik alanın büyüklüğüne (H) göre değişim grafiği (Özçelik, 2012)

A. Sotelo ve arkadaşları (2015), çökeltme methodu ile Ag (% 0, 1, 3, 5) katkılı  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$  nano boyutlardaki başlangıç tozları üretmişlerdir. Mikroyapı, başlangıç tozlarının sonradan uygulanan ısı işlem ile büyüyen nanometrik parçacıklardan oluştuğunu göstermiştir. FTIR sayesinde çökeltiden nihai oksitlerin ayrışma yolunu takip etmişler ve DTA-TGA da bulunan ayrışma aralıkları ile bağlantısını kurmuşlardır. Sıcak presleme ve tavlama sonrası bu nano başlangıç tozları daha büyük parçacıklı, iyi yönelimli, çok az gözenekli ve düşük sayıda ikincil faza sahip malzemeler oluşturmuştur. Elektrik iletim özelliklerine göre, kritik sıcaklık değerlerinin Ag konsantrasyonundan bağımsız olarak korunduğu ve değişmediği, oda sıcaklığındaki direncin ise Ag katkısının artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Diğer yandan Ag katkısının kritik akım yoğunlukları üzerinde çok büyük etkisi olduğu, katkısız örneklere kıyasla 3% Ag katkılı örneklerin  $J_c$  değerlerinde %185 civarında bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir.



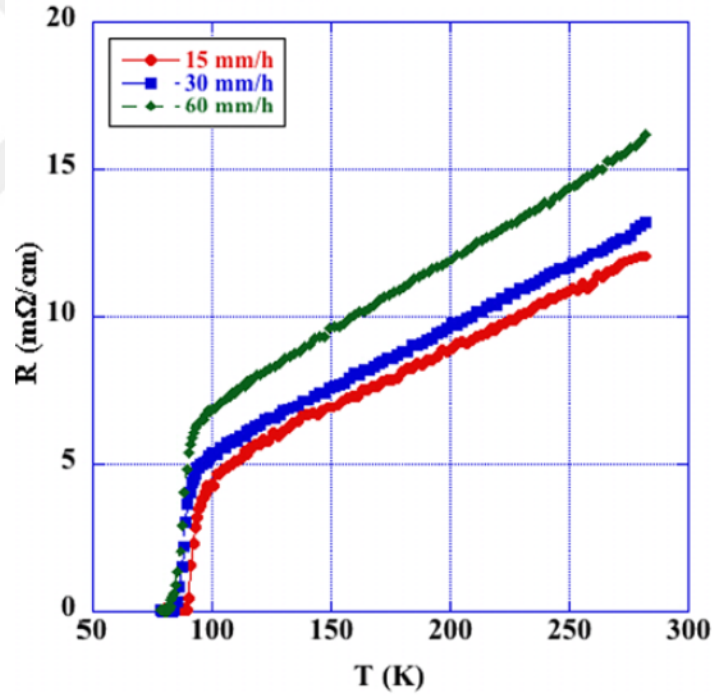
Şekil 2.2. Ag (% a = 0, b = 1, c = 3, d = 5) katkılı  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$  örneklerinin elektriksel dirençlerinin sıcaklığa bağlı değişim grafiği (A. Sotelo, 2015)

B. Özkurt ve arkadaşları (2011), Ag katkılı Bi-2212/3 yapısının büyüme hızı, mikro yapısı, mekanik ve elektriksel özellikleri arasında ilişkiler üzerine yaptıkları çalışmada tanecik yönlendirme metodu ile BSCCO süperiletkenlerinin iletim özelliklerinin iyileştirildiği, metalik gümüş katkıları ile mekanik özelliğinin değişebileceğini ve bu iki metodun LFZ metodu ile aynı anda uygulanabileceğini göstermişlerdir. Tavlamadan sonraki tüm durumlarda Bi-2212 yapısının baskın olduğu gözlemlenildi. Değişik büyüme hızlarında (5, 15, 30, and 60 mm/sa) LFZ eritme tekniğini kullanarak gümüş katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x/3}$  yönlenmiş kompozit malzemelerini hazırladılar. Sonuç olarak büyüme hızının,  $T_c$  değerlerinde bir değişikliğe sebep olmadığını ancak  $J_c$  değerlerinde büyük bir değişime sebep olduğunu gözlemlenildi. Mekanik ve iletkenlik özellikleri açısından en iyi sonucu 15mm/sa büyüme hızında ürettikleri malzemelerde elde etmişlerdir.



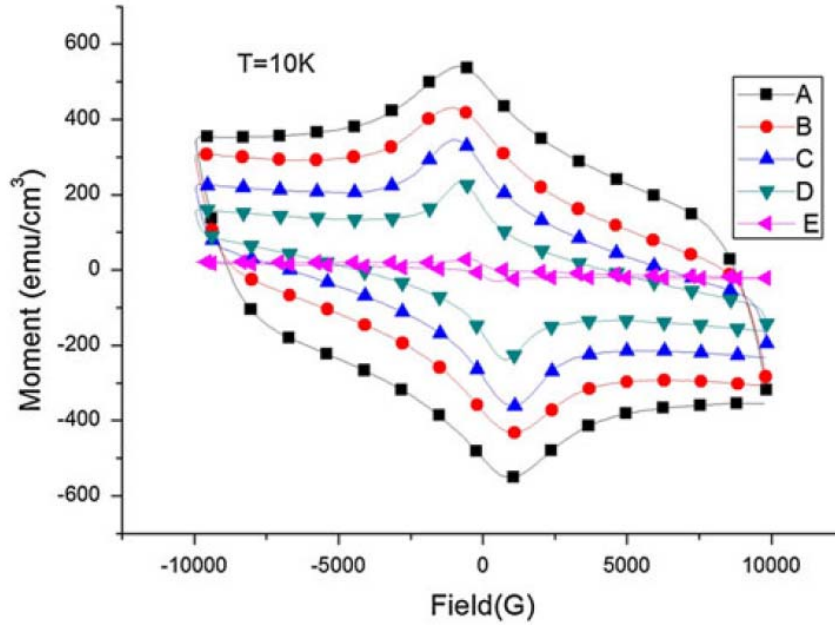
Şekil 2.3. Ag katkılı Bi-2212/3'ün 77K'de kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) büyüme hızına göre değişim grafiği (B. Özkurt, 2011)

V. Lennikov ve arkadaşları (2012), %2.9 Ag katkılı Bi-2212 örneklerinin dikdörtgenel arakesitleri üzerinde CO<sub>2</sub> lazeri ile yeni bir lazer çizgi taraması metodu kullandılar. Bir önceki çalışmada metal oksit süperiletkenlerinin eritilme işleminde nIR lazerlerinin ( $\approx 0.8\text{--}1.1 \mu\text{m}$ ) kullanılması önerilmiş olmasına karşın, yapılan bu çalışmada CO<sub>2</sub> lazerinin orta-IR radyasyonunun daha büyük alanlı yüzeylerde de kullanılabilir olması sebebi ile benzer amaçlarda kullanılmasının uygun olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada 15 ile 60 mm/sa arasında değişen çaprazlama hızlarının uygulanmış olduğu örneklerin karmaşık dokulu mikroyapılar oluşturduğu ve en yüksek  $I_c$  olan 71 A değerini 77 K sıcaklıkta verdiği sonuçlarına ulaşmışlardır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. 15, 30 ve 60 mm/sa çaprazlama hızlarında lazer çizgi ile taranan %2,9 Ag katkılı Bi-2212 örneklerinin dirençlerinin sıcaklığa göre değişim grafiği (V. Lennikov, 2012)

C. Kaya ve arkadaşları (2012), katı hal yöntemi ile hazırladıkları  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$  ( $x = 0, 0.01, 0.05, 0.1$  and  $0.25$ ) örneklerine LFZ tekniği uyguladılar. Toz haline getirilen örneklerin dc-elektriksel direnç, manyetizasyon ve manyetik histerezis döngüleri gibi fiziksel özelliklerinin ölçümleri X-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapıldı. Yüksek Ce katkılı örneklerin en düşük  $T_c$ 'ye sahip olduğunu ve diğer örneklerin kritik geçiş sıcaklıklarında önemli bir değişimin olmadığını gözlemlediler. Manyetik histerezis ölçümleri, histerezis döngüsünün katkılı örneklerde daha büyük olduğunu göstermiştir. Ayrıca Bean kritik faz modeli kullanılarak hesaplanan kritik akım yoğunluğu değerlerinin Ce katkılanması ile azaldığını göstermiştir (Şekil 2.5). Elde edilen sonuçlara göre Ca yerine Ce katkılanmasının katkılanmamış haline göre malzemenin süperiletkenlik özellikleri üzerinde olumsuz etkileri olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.5. Ce katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$  ( $x = 0, 0.01, 0.05, 0.1$  and  $0.25$ ) örneklerinin 10 K sıcaklıktan  $M - H$  grafiği (A = %0, B = %1, C = %5, D = 10%, E = %25) (C. Kaya, 2012)

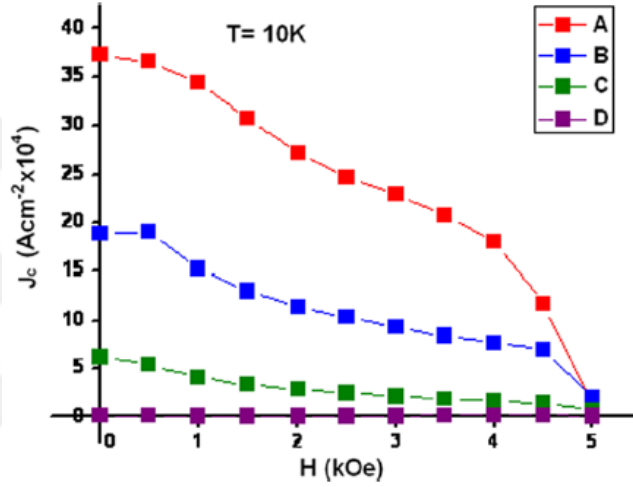


B. Özçelik ve arkadaşları (2013), Ce katkılanan  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.10$  ve  $0.25$ ) seramik süperiletkenlerini incelemişlerdir. Örneklerin başlangıç tozları öncelikle katı hal tepkime yöntemi üretilmiş daha sonra LFZ tekniği ile yönlendirilmiştir. Uygulanan farklı manyetik alanlar altında manyetodirenç ölçümleri alınmıştır. 5 T'ye kadar DC manyetik alan altında hesaplanan  $\rho - T$  (direnç - sıcaklık) eğrilerine göre aktivasyon enerjisi, tersinmezlik alanları ( $H_{irr}$ ), üst kritik alanlar ( $H_{c2}$ ) ve 0 K sıcaklığındaki uyum uzunluklarını hesapladılar. Akı çivileme enerjilerinin hesaplamaları için termal aktiviteli akı akışı (TAFF) modeli kullanıldı. Elde edilen verilere göre 0 T'de  $H_{c2}(0)$  ın 416.19 ile 115 T arasında, akı çivileme enerjilerinin ise 1.46 ile 0.042 eV arasında değerler aldığı sonuçlarına ulaşılar.

B. Özkurt ve arkadaşları (2012), LFZ ile farklı büyüme hızlarında (5, 15, 30 ve 60 mm/sa) hazırlanmış gümüş katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{x/3}$  yönlenmiş kompozit malzemenin manyetik özelliklerinin ölçümlerini yaptılar. X-ışını kırınım desenlerine göre tüm durumlarda Bi-2212 fazının baskın olduğunu gözlemladiler. Manyetizasyon ölçümleri manyetik alanın bir fonksiyonu olarak 10 kOe'ye kadar yapılmıştır. Büyüme hızının, Bean modeline göre hesaplanan  $J_c$  değerleri üzerinde büyük etkisi olduğunu gözlemladiler. Ayrıca maksimum kritik akım yoğunluğunu 15 mm/sa büyüme hızında ve 10 K sıcaklıkta  $4.42 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$  olarak belirlediler.

A. Özaslan ve arkadaşları (2013), LFZ tekniğini kullanarak  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2-x\text{Co}_x\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.10$  ve  $0.25$ ) yönlendirilmiş süperiletken malzeme hazırlamışlardır. Toz X-ışını kırınım desenlerine göre tüm durumlarda Bi-2212 fazının baskın olduğunu gözlemladiler. LFZ metodu ile hazırlanan diğer süperiletkenlerde de olduğu gibi hazırlanmış oldukları malzeme iyi yönelimli bir yapıya sahiptir. Bütün örneklerde iki farklı sıcaklıkta yapılan manyetizasyon ölçümleri, manyetizasyon histerezis eğrilerinin artan sıcaklıkla ve katkılama oranları ile birlikte daraldığını göstermiştir. Ayrıca Co katkılanan  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 'nin histerezis eğrisinden Bean modeli kullanılarak kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerleri hesaplanmıştır.  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  yapısına katkılanan Co

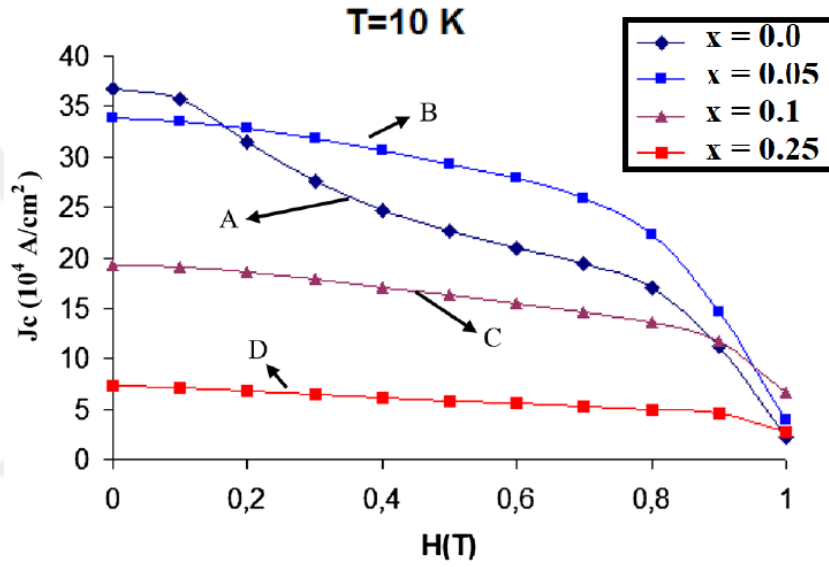
miktarının artması ile kritik akım yoğunluğunda önemli bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 2.6). Bu da Co miktarı arttıkça parçacıkların birbirine bağlanmasının kötüleştiğini göstermektedir. Sonuç olarak  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  yapısına Cu yerine Co katkılanmasının süperiletken malzemenin yapısal ve süperiletkenlik özelliklerini kötü etkilediği ve bozduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 2.6. 10 K de  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Co}_x\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.10$  ve  $0.25$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinin uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği (A. Özasan, 2013)

E. Gün ve arkadaşları (2017), Cr katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) seramiklerin yapısal ve manyetik özelliklerini XRD, SEM, DC özdirenç ve  $M - H$  ölçümleri ile incelediler. X-ışını kırınımı çalışmalarına göre tüm örnekler genel olarak Bi-2212 fazından oluşmaktadır ve bu Cr'nin sistemin kristal yapısıyla bütünleşebileceğini göstermektedir. Yüksek konsantrasyonlarda Cr katkılanmış olan örnekler bazı saf olmayan fazların ortaya çıktığını ve bunların parçacıklar arasındaki iletkenliği azalttığını göstermiştir. Katkılanmamış örneğe göre 0.05 Cr katkılanmış örnekte  $T_c$  (onset) ve  $T_c$  (offset) değerlerinde iyileşme görülmüş, ancak 0.25 Cr katkılı örneğin süperiletkenlik özellikleri taşımadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak deşik (hole) konsantrasyonundaki değişim

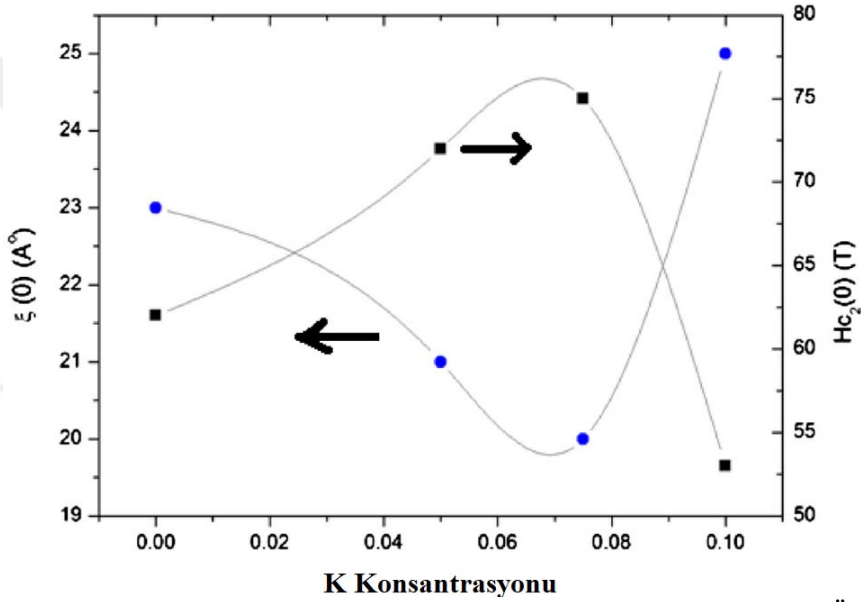
ve/veya Cr'nin manyetik doğası gösterilebilir. Manyetik özellikler düşük Cr konsantrasyonunun histerezis genişliğini iyileştirdiğini göstermiştir. Bean'in kritik hal modeli kullanılarak hesaplanan kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinde 0.05 Cr konsantrasyonlu örnekte 0.2 ile 0.9 T arasında uygulanan manyetik alanlarda önemli iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. 10 K'de Cr katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinin uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği (E. Gün, 2017)

B. Özçelik ve arkadaşları (2014),  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{K}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075$  ve  $0.1$ ) polikristal süperiletkeninin akı çivileme mekanizması ve manyetodirenç performansı üzerine çalışmışlardır. Örnekleri polimer çözelti tekniği kullanılarak hazırlayan grup Ca yerine K katkılanmasının malzemenin tersinmezlik alanı, üst kritik manyetik alan, uyum uzunluğu ve aktivasyon enerjisi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla örneklerin 0 ile 9 T arasında değişen manyetik alanlar altındaki manyetodirençlerinin ölçümlerini yapmışlardır. Manyetik alan altında süperiletkenlik geçiş sıcaklıklarının düşmesini termal aktiviteli akı akışı (TAFF)

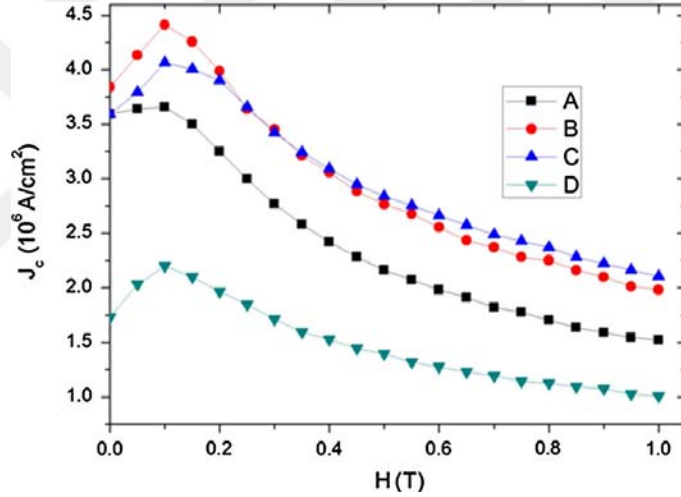
modeline göre açıklamışlardır. Özdirenç verileri kullanılarak üst kritik manyetik alan  $H_{c2}(0)$  ve  $H_{c2}(0)$  kullanılarak uyum uzunluğu ( $\zeta(0)$ ) hesaplanmış olup Şekil 2.8’de verilmiştir.  $x = 0.0, 0.05, 0.075$  ve  $0.10$  K katkıları için  $H_{c2}(0)$  değerleri sırasıyla 62, 72, 75 ve 53 T,  $\zeta(0)$  değerleri sırasıyla 23, 21, 20 ve 25 Å olarak hesaplanmışlardır. Akı çivileme enerjilerinin hesaplanmasında TAFF modeli kullanılmıştır. Buna göre  $x = 0.075$  K katkıları için  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{K}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  için akım sabitleme enerjileri 9 T’de 0.0147 eV ve 0 T’de 0.29 eV olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.8.  $H_{c2}$  ve  $\zeta$  değerlerinin K konsantrasyonuna göre değişimleri (B. Özçelik, 2014)

B. Özçelik ve arkadaşları (2014), K katkıları  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{K}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$ ) süperiletkeni üzerine çalışmalar yaptılar. Örnekler polietilenin (PEI) kullanılarak polimer çözelti yöntemi ile hazırlandı. K katkısının etkileri elektriksel direnç ( $\rho - T$ ), taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD), enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi ve PPMS ile gözlemlendi. SEM ve XRD sonuçlarına göre K konsantrasyonundan bağımsız olarak Bi-2212 fazının baskın olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca K konsantrasyonunun örneklerin

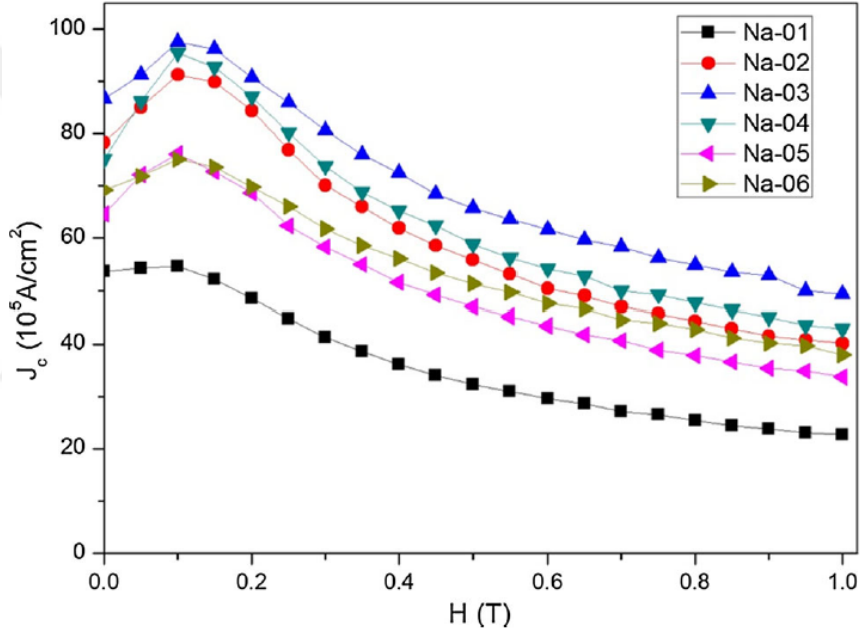
mikroyapılarını  $x = 0.075$  olana dek iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Elektriksel direnç ölçümlerine göre K konsantrasyonunun en çok 0.075 olduğu örneklerde kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) değerlerinin 91 K'den biraz fazla olduğu, ancak daha yüksek K konsantrasyonuna sahip örneklerde bu sıcaklığın 0.5 K'ye kadar daha düşük bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçları alınan manyetik ölçümlerin histerezis eğrilerinde de 0.075 K konsantrasyonuna kadar artış göstermesi ile desteklenmektedir. Bean modeli kullanılarak maksimum  $J_c$  değerlerini 0.05 K katkılı örnek için 10 K sıcaklıkta 1000 Oe'de yaklaşık olarak  $4.5 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup> hesaplamışlardır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. 10 K'de K katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{K}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerlerinin uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği (B. Özçelik, 2014)

B. Özçelik ve arkadaşları (2014), Na katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15$  ve  $0.2$ ) süperiletkeninde Na katkısının malzemenin yapısal, elektriksel ve manyetik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Ca yerine kısmi olarak Na katkılanmasının etkileri elektriksel direnç ( $\rho - T$ ), taramalı elektron mikroskopu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve PPMS ile incelenmiştir. XRD sonuçları Na konsantrasyonundan bağımsız olarak Bi-2212 fazının baskın

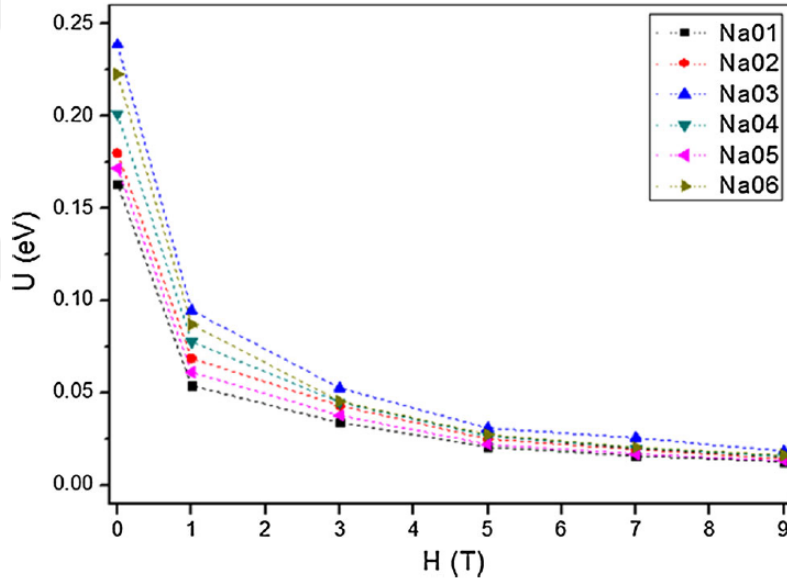
olduğunu göstermiştir. SEM sonuçlarına göre örneklerin mikroyapıları Na miktarının artması ile gelişme göstermektedir. Elektriksel direnç ölçümlerine göre Na konsantrasyonu 0.2'ye kadar olan örneklerin kritik geçiş sıcaklıkları ( $T_c$ ) 92 K'nin çok az üzerindedir. Ayrıca histerezis döngülerinin artan Na konsantrasyonları ile artması manyetik ölçümlerde de korunmaktadır. Bean modeli kullanılarak maksimum  $J_c$  değerleri 1000 Oe'de 0.075 Na konsantrasyonu için 10 K'de yaklaşık  $10 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Na katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15$  ve  $0.2$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının uygulanan manyetik alana göre değişim grafiği (B. Özçelik, 2014)

B. Özçelik ve arkadaşları (2015), akı çivileme mekanizmalarındaki değişiminin  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15$  ve  $0.20$ ) polikristal süperiletkenlerinin manyetodirenç özelliklerine olan etkisi üzerine çalışmalar yaptılar. Örnekler polietilemin kullanılarak polimer çözelti tekniği ile hazırlanmıştır. Ca yerine Na katkısının örneklerin aktivasyon enerjileri,

tersinmezlik alanları, üst kritik manyetik alanları ve uyum uzunlukları ölçümlerine olan etkileri incelenmiştir. Örneklerin manyetodirenç ölçümleri 0 ile 9 T arasındaki manyetik alanlarda yapılmış olup  $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15$  ve  $0.20$  Na katkılı örnekler için  $H_{c2}(0)$  değerleri sırasıyla 186.4, 195.5, 321.0, 296.0, 292.5, 280.9 T ve  $\zeta(0)$  değerleri ise sırasıyla 13.29, 12.98, 10.13, 10.55, 10.61, 10.69 Å olarak hesaplanmıştır. Akı çivileme enerjilerinin hesaplanmasında TAFF modeli kullanılmıştır. Akı çivileme enerjileri  $x = 0.075$  olmak üzere Na katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  süperiletkeninde 9 T manyetik alanda 0.019 eV ve 0 T manyetik alan altında 0.239 eV olarak hesaplanmış olup Şekil 2.11’de verilmektedir.



Şekil 2.11.  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15$  ve  $0.20$ ) örneklerinin akım sabitleme enerjilerinin uygulanan manyetik Alana göre değişim grafiği (B. Özçelik, 2015)

M. Gürsul ve arkadaşları (2015), polimer çözelti yöntemi ile hazırladıkları Na katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.9}\text{Na}_{0.1}\text{Cu}_2\text{O}$  süperiletkenleri üzerine çalışmalar yaptılar. Na katkısının malzemenin süperiletkenlik özellikleri üzerine etkilerinin araştırılması için malzemeye 850, 860 ve 870 °C sıcaklıklarda sinterleme işlemi uygulanmıştır.

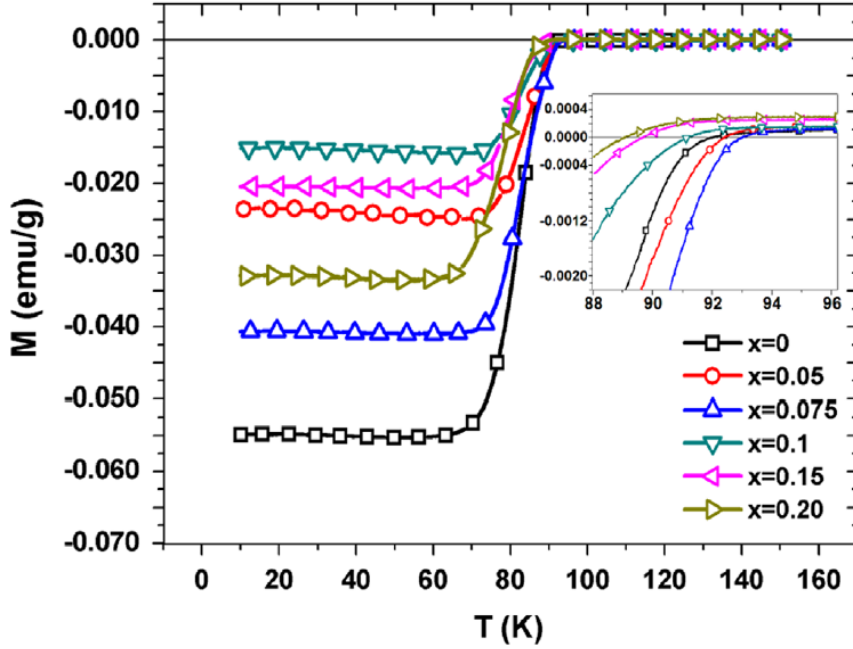
Örneklerin özelliklerinin gözlemlenmesi amacı ile X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskopu (SEM), DC elektriksel direnç ve DC manyetik ölçümleri yapılmıştır. TAFF modeli kullanılarak açıklanan manyetodirenç ölçümlerine göre manyetik alan altında süperiletkenlik geçişinin genişlediği görülmüştür. Örneklerin hesaplanan akı çivileme enerjileri 0'dan 9 T'ye artan manyetik alan altında 0.17 ile 0.02 eV arasında değişim göstermiştir. Özdirenç verileri kullanılarak 850, 860 ve 870 °C'ta  $H_{c2}(0)$  değerleri sırasıyla 194, 144 ve 139 T,  $\zeta(0)$  değerleri sırasıyla 15.5, 15.2 ve 13 Å olarak hesaplanmıştır. Ayrıca TAFF modeline göre süperiletkeninin akı çivileme enerjilerinin 0 T'de 850, 860 ve 870 °C'ta tavlanan  $Bi_2Sr_2Ca_{0.9}Na_{0.1}Cu_2O_{8+y}$  örnekler için sırasıyla 0.165, 0.153 ve 0.149 eV oldukları gözlemlenmiştir.

B. Özçelik ve arkadaşları (2015), polietilenin (PEI) kullanılarak polimer çözelti tekniği ile hazırlanan  $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Na_xCu_2O_{8+y}$  ve  $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}K_xCu_2O_{8+y}$  polikristal süperiletkenlerinin oda sıcaklığı ile 20 K arasındaki termal iletkenlikleri ( $\kappa - T$ ), termoelektrik güçleri ( $S - T$ ) ve verim faktörü ölçümleri üzerine çalışmalar yaptılar. Örneklerin termoelektrik güçlerinin ( $S(T)$ ) yüksek sıcaklıklarda negative, düşük sıcaklıklarda ise pozitif değer aldıklarını, sıcaklığın düşmesi ile birlikte bu değerlerin arttığını, sıcaklık kritik geçiş sıcaklığına ( $T_c$ ) yaklaştığında en yüksek değerleri aldığını ve sıcaklığın  $T_c$ 'nin altına düşmesiyle birlikte hızlı bir şekilde değerlerin sıfıra düştüğünü gözlemladiler. Aynı zamanda Na ve K katkılanmasının termal iletkenlik üzerinde önemli etkileri olduğu gözlemlendi. Na konsantrasyonunun artması ile birlikte termal iletkenliğin ( $\kappa$ ) azaldığı ancak  $x = 0.75$  K konsantrasyonunda  $\kappa$ 'nın önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

O. Nane ve arkadaşları (2016), LFZ tekniğiyle hazırladıkları  $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}Na_xCu_2O_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$  ve  $0.20$ ) yönlenmiş süperiletken fiber çubuklarının süperiletkenlik özellikleri üzerine çalışmalar yaptılar.  $Ca^{2+}$  yerine  $Na^{1+}$  katkılanmasının etkileri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDS), dc manyetizasyon ve manyetik



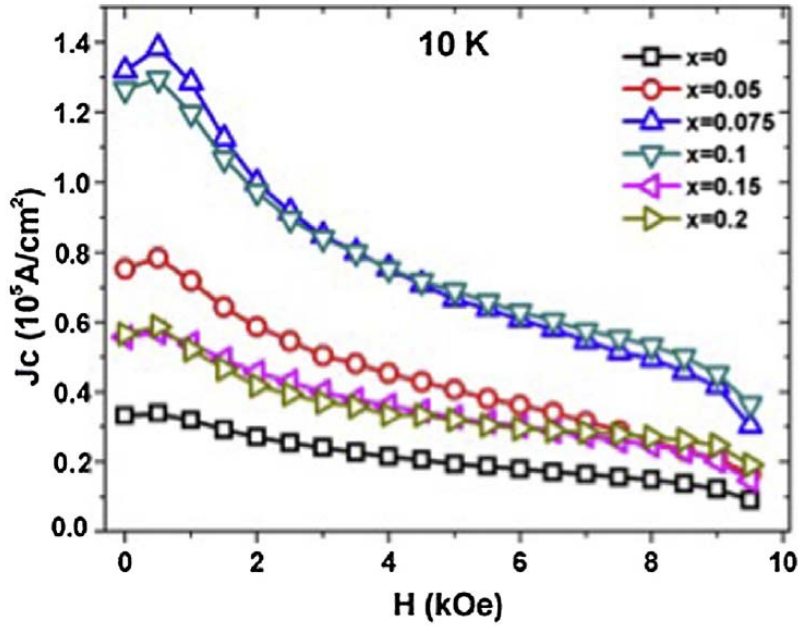
histerezis ölçümleriyle incelendi. Toz XRD desenlerine göre Bi-2212 fazının Na katkısından bağımsız olarak baskın olduğu gözlemlendi. En iyi kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) 0.075 Na katkılı örneğe ait M – T verilerine göre 93.3 K olarak hesaplandı. Maksimum kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değeri 0.10 Na katkılı örnekte 10 K sıcaklıkta  $1.35 \times 10^5$  A/cm<sup>2</sup> olarak hesaplandı. Maksimum kritik akım yoğunluğu 0.05 Na katkılı örnekte 77 K sıcaklıkta direkt olarak  $1.3 \times 10^3$  A/cm<sup>2</sup> olarak hesaplandı.



Şekil 2.12. Na katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$  ve  $0.20$ ) örneklerinin manyetik momentlerinin sıcaklığa bağlı değişim (M – T) grafiği (O.Nane, 2016)

O. Nane ve arkadaşları (2016), polimer çözelti metodunun ardından sinterleme-dövme uygulaması ile hazırladıkları bulk dokulu  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$  ve  $0.20$ ) seramikleri ile ilgili çalışmalar yaptılar. Na katkılanmasının yönlenmiş örneklerin mikroyapısı ve süperiletkenlik özelliklerine etkisi olduğunu gözlemladiler. XRD sonuçlarından tüm örneklerde Bi-2212 fazının

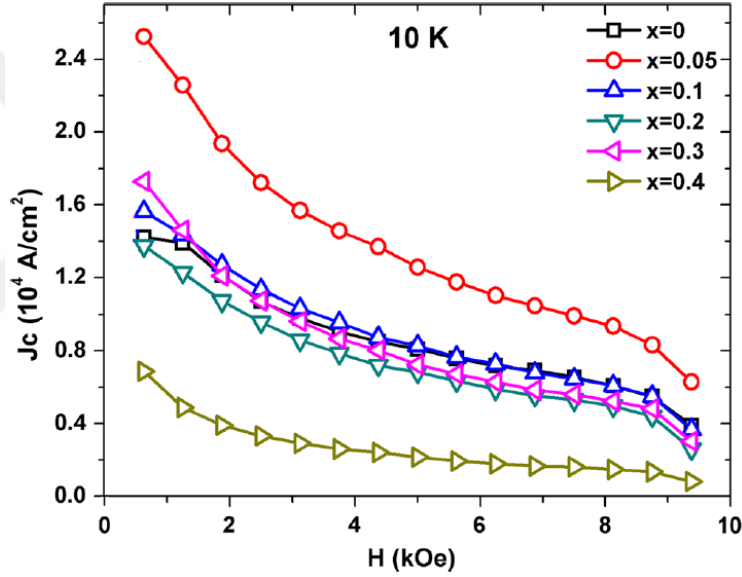
baskın olduğunu gözlemlədiler. SEM mikrografikleri, örneklerin iyi istiflenmiş ve yönlendirilmiş parçacıklara sahip olduğunu gösterdi. En iyi kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) 0.075 Na katkılı örnekte 85.6 K olarak ölçüldü. Kritik akım yoğunluğunun ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alanın büyüklüğünün artması ile gitgide azaldığı gözlemlendi. Katkılanmamış örneğin  $J_c$  değeri  $0.34 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$  iken 0.075 Na katkılanmış örneğin 10 K'de  $J_c$  değeri  $1.38 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$  olarak hesaplandı.



Şekil 2.13. Na katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$  ve  $0.20$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği (Nane, 2016)

O. Nane ve arkadaşları (2016), konvensiyonel katı hal reaksiyon tekniği ile hazırlanan V (Vanadium) katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{V}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) süperiletkenleri üzerine çalışmalar yaptılar. Vanadium katkılanmasının etkileri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDS) ve manyetik karakterizasyon ölçümleri yapılarak gözlemlendi. XRD desenlerine göre katkılanmamış örnekte Bi-2212 fazının baskın

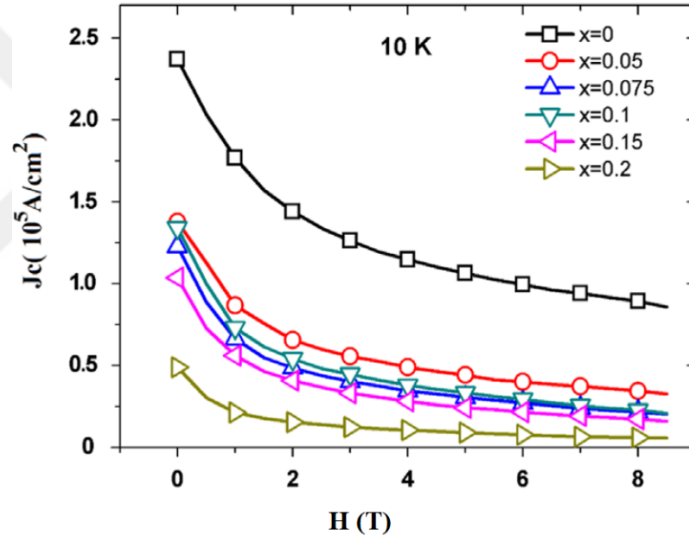
olduğu, V katkısının artması ile hacimdeki Bi-2212 oranının azaldığı ve daha düşük kritik geçiş sıcaklığına sahip Bi-2201 fazına dönüştüğü gözlemlendi. 0.05 V katkısının süperiletkenliğe geçiş sıcaklığında kayda değer bir artış gösterdiği ve katkılanmamış örnekten 2.3 K daha yüksek bir değer olarak 86.2 K olarak ölçüldüğü gözlemlendi. Ayrıca 0.05 V katkısının tanecik içi  $J_c$  değerlerini katkısız örneğe kıyasla 78% iyileştirdiği ve 10 K'de  $2.53 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup> değerini aldığı gözlemlendi (Şekil 2.14). Ayrıca 0.4 V konsantrasyonunda ana matris içerisinde 0.25 mm uzunluğundaki whisker yapıları SEM fotoğraflarında gözlemlenmiştir.



Şekil 2.14. V (Vanadium) katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{V}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği (Nane, 2016)

B. Özçelik ve arkadaşları (2015), LFZ tekniğiyle hazırlanan  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$  ve  $0.20$ ) dokulu süperiletken çubukları üzerine çalışmalar yaptılar.  $\text{Ca}^{2+}$  yerine  $\text{Y}^{3+}$  katkılanmasının etkileri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskopu (SEM), enerji dağılımı X-ışını spektroskopisi (EDS), dc manyetizasyonu, manyetik histerezis ve Bean modeli

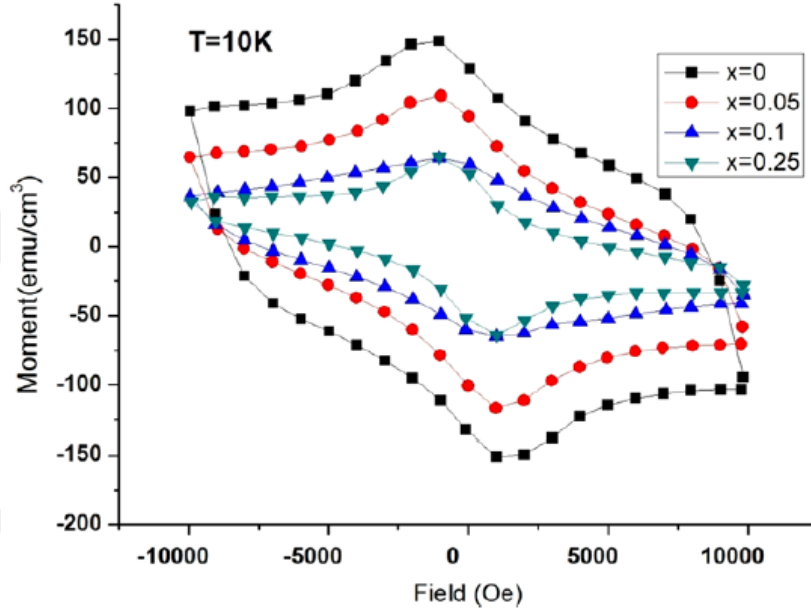
kullanılarak incelendi. Toz XRD desenlerine göre Bi-2212 fazının baskın olduğu gözlemlendi. Toz örnekler haricinde yönlenmiş çubukların yüzeyleri de XRD ile incelendi. LFZ tekniği ile hazırlanan malzemelerde görülmesi beklendiği gibi parçacıkların çubuk eksenine boyunca iyi yönlendiği gözlemlenmiştir. En iyi kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) 0.15 Y katkılı örnekte 50 Oe DC manyetik alan altında ZFC modunda 92.9 K olarak ölçülmüştür. Y katkılanma oranının artması ile birlikte kritik akım yoğunluğunun azaldığı da gözlemlenmiştir. Bu verileri kullanarak hesaplanan  $J_c$  değerlerine göre maksimum kritik akım yoğunluğu katkılanmamış örnekte  $2.37 \times 10^5$  A/cm<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Y katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.075, 0.1$  ve  $0.20$ ) örneklerinin kritik akım yoğunluklarının ( $J_c$ ) uygulanan manyetik alana ( $H$ ) göre değişim grafiği (B. Özçelik, 2015)

H. Gündoğmuş ve arkadaşları (2012), nominal kompozisyona sahip  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Yb}_x\text{O}_y$  ( $x = 0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) örneklerini LFZ tekniği ile yönlenmiş kompozitler haline getirdiler. Örneklerdeki farklı Yb katkılarının etkileri elektriksel direnç, taramalı elektron mikroskobu, XRD, mekanik ve dc-manyetizasyon ölçümleri yapıldı. Cu yerine  $\text{Yb}^{3+}$  katkılanmasının malzemenin

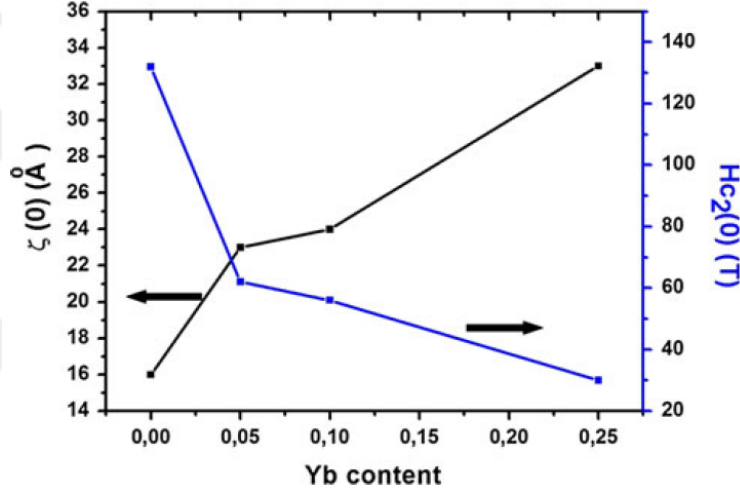
fiziksel ve süperiletkenlik özelliklikleri üzerinde kademeli olarak azalmaya sebep olduğunu gözlemler (Şekil 2.16). Bean modeli kullanılarak hesaplanan  $J_c$  değerlerinin dikkate değer bir oranda değiştiği, ancak  $T_c$  değerlerinin bütün örnekler için neredeyse aynı kaldığı sonucuna ulaşılar.



Şekil 2.16.  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Yb}_x\text{O}_y$  örneklerinin 10 K'deki M – H grafiği (H. Gündoğmuş, 2012)

H. Gündoğmuş ve arkadaşları (2012), polimer tekniği kullanılarak ürettikleri  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Yb}_x\text{O}_y$  ( $x = 0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) süperiletkenlerini LFZ tekniğinde besleme olarak kullanmışlardır. Bu örnekler üzerinde X-ışını kırınımı, DC manyetizasyonu ve manyetodirenç ölçümleri yapılmıştır. Bütün örneklerin temel olarak Bi-2212 içerikli olması, gerçekleştirilen işlemin yeterli olduğunu göstermiştir. Ancak  $\text{CaCuO}_2$  gibi saf olmayan bazı fazlar da belirlenmiştir. Presland formülü ile deşik sayıları ve XRD desen sonuçları ile parçacık büyüklüğü ( $L_{hkl}$ ) hesaplanmıştır. M-T sonuçlarına göre örneklerin süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları ( $T_c$ ) sırasıyla 93, 90, 87 ve 85 K olarak belirlemişlerdir. 5 T'ye kadar

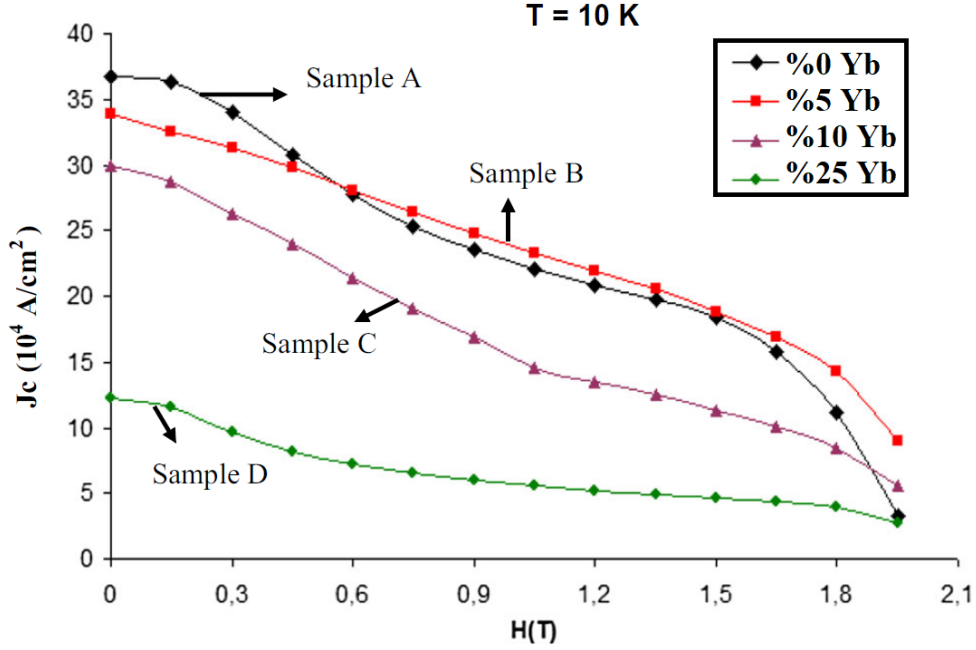
DC manyetik alan altındaki örneklerin öz dirençlerinin ısıya göre değişim grafikleri eğrileri ile aktivasyon enerjisi, tersinmezlik alanları ( $H_{irr}$ ), üst kritik alanlar ( $H_{c2}$ ) ve 0 K sıcaklığındaki uyum uzunluklarını hesapladılar (Şekil 2.17). Akı çivileme enerjilerini hesaplamak için TAFF modelini kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre Yb katkılanması ile 0 T'de  $H_{c2}(0)$  değerlerinin 132 ile 30 T arasında, akı çivileme enerjilerinin ise 650 ile 400 meV arasında değişkenlik gösteren değerler aldığını gözlemlerler.



Şekil 2.17.  $H_{c2}$  ve  $\zeta$  değerlerinin Yb konsantrasyonuna göre değişimleri (H. Gündoğmuş, 2012)

B. Özkurt ve arkadaşları (2015), Bi-2212 fazındaki yönlenmiş seramik süperiletkende Bi yerine Yb katkılayarak örneklerin yapısal, elektriksel ve manyetik özelliklerini incelemişlerdir. X-ışını kırınımı çalışmaları ile baskın tepe noktalarının Bi-2212 fazına karşılık geldiği gözlemlenmiştir. Tüm örnekler benzer parçacık morfolojisi gösterirken SEM görüntüleri Yb katkısının artmasıyla birlikte ikincil faz sayısında açıkça bir artış olduğunu göstermiştir. Tüm örneklerin manyetik analizleri manyetik histerezis ölçümleri ile yapılmış, Yb katkısının düşük olduğu durumlarda M-H eğrilerinin olumlu yönde bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Örneklerin kritik akım yoğunluklarını M-H eğrileri üzerinden

Bean'ın kritik durum modeli kullanılarak hesaplanmış ve 0.05 Yb katkılı örneğin en yüksek  $J_c$  değerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. 10 K'de farklı konsantrasyonlarda Yb katkılı Bi-2212 örneklerinin kritik akım yoğunluklarının uygulanan manyetik alana göre değişim grafiği (B. Özkurt, 2015)

H. Gündoğmuş ve arkadaşları (2016),  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Yb}_x\text{O}_{8+y}$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.25$ ) süperiletken malzemeyi LFZ ile yönlendirmişlerdir. LFZ tekniğiyle büyütülen malzemenin tavlama işleminden sonra termal iletkenlik ( $\kappa - T$ ), termoelektrik güç ( $S - T$ ) ve elektriksel direnç ( $R - T$ ) özellikleri ölçümleri oda sıcaklığı ile 20 K sıcaklık arasında yapıldı. Örneklerin termoelektrik güçlerinin her durumda pozitif değer aldıklarını, sıcaklığın düşmesi ile birlikte bu değerlerin arttığını, sıcaklık kritik geçiş sıcaklığına ( $T_c$ ) yaklaştığında en yüksek değerleri aldığını ve sıcaklığın  $T_c$ 'nin altına düşmesiyle birlikte hızlı bir şekilde değerlerin sifra düştüğünü gözlemladiler. Elektriksel direnç ölçümlerine göre Yb katkısının

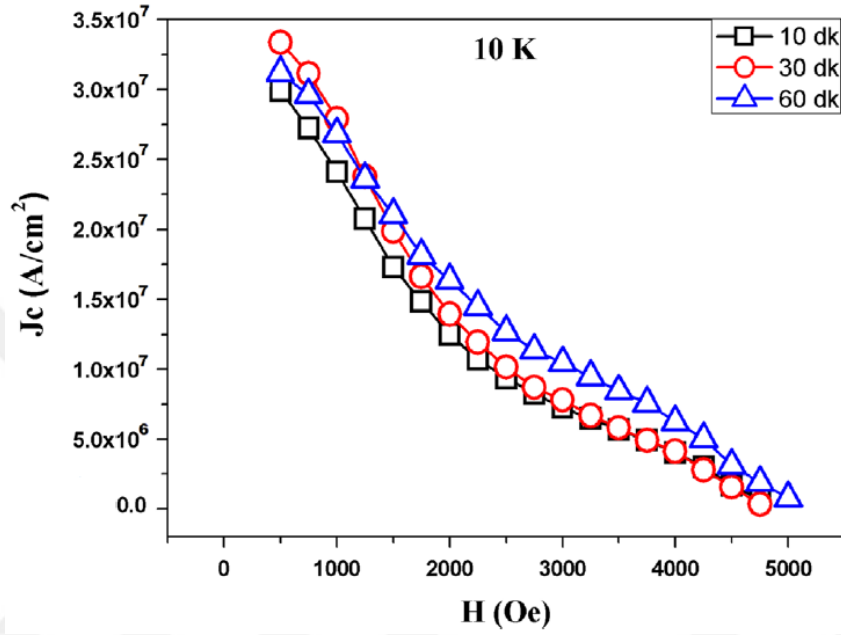
artması ile birlikte  $T_c$  değerinin düştüğü gözlemlendi. Yb katkısının  $T_c$  üzerindeki olumsuz etkisine rağmen tüm durumlarda  $T_c$  değerleri 90 K'in üzerinde değerler aldı. Ayrıca Yb katkısının katkılanmamış örneğe kıyasla termal iletkenliği düşürdüğü gözlemlenmiştir.

O. Nane ve arkadaşları (2013), MgO (100) altlıkları üzerine yerleştirilmiş  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ince filmlerinin ilk tavlama sıcaklıklarını PLD yöntemi ile incelediler. X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), sıcaklığa bağlı direnç (R-T) ve DC manyetizasyon ölçümleri ile filmin yapısal ve süperiletkenlik özelliklerini gözlemladiler.  $600^\circ\text{C}$ 'de yerleştirilen filmler %93 oranında Ar ve 7% oranında  $\text{O}_2$  bulunan ve sıcaklığı 800 ile  $880^\circ\text{C}$  arasında değişim gösteren atmosferik ortamda ilk tavlama işlemine tabi tutuldular. Bu işlem sonunda yalnızca 2212 fazına ve yüksek kristallik ( $\text{FWHM} \approx 0.16^\circ$ ) özelliklerine sahip, altlığa dik c ekseninde dik büyüme gösteren filmler oluşturulmuştur. İlk tavlama ısıl işlemi için hesaplanan en uygun sıcaklık değeri  $860^\circ\text{C}$ 'dir.  $860^\circ\text{C}$ 'ta tavlama işlemi uygulanan filmin kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) 82K ve kritik akım yoğunluğu ( $J_c$ )  $107\text{ A/cm}^2$  olarak hesaplanmıştır.

O. Nane ve arkadaşları (2015), MgO (100) üzerine  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ince filmlerini darbeli lazer yığma sistemi (PLD) ile yerleştirdiler. İlk tavlama zamanının faz oluşumuna olan etkileri, süperiletken filmlerin yapısal ve süperiletkenlik özellikleri ölçümleri X-ışını kırınımı tekniği (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM), ısıya bağlı direnç (R – T), atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve DC manyetizasyonu kullanılarak yapıldı.  $600^\circ\text{C}$ 'de yerleştirilen filmler %93 oranında Ar ve 7% oranında  $\text{O}_2$  bulunan ve sıcaklığı  $860^\circ\text{C}$  olan atmosferik ortamda 10, 30 ve 60 dakika boyunca ilk tavlama işlemine tabi tutuldular. Bu işlem sonunda yalnızca 2212 fazına ve yüksek kristallik ( $\text{FWHM} \approx 0.159^\circ$ ) özelliklerine sahip, MgO altlığına dik c ekseninde dik büyüme gösteren filmler oluşturulmuştur. 10, 30 ve 60 dakika tavlama işlemine tabi tutulan ince filmlerin kritik geçiş sıcaklıkları ( $T_c$ ) sırasıyla 77, 78 ve 78 K olarak gözlemlendi. En yüksek kritik akım



yoğunluğu ( $J_c$ ),  $860^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika boyunca tavlanan örnekte 10 K'de  $3.34 \times 10^7$  A/cm<sup>2</sup> olarak hesaplandı (Şekil 2.19).



Şekil 2.19. MgO (100) üzerine  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  ince filmlerinin 10 K'de kritik akım yoğunluğunun manyetik alana göre değişim ( $J_c - H$ ) grafiği

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Giriş

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde farklı malzeme hazırlama metodları vardır. Kullanılan bu metodlar üretilen örneklerin manyetik ve fiziksel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle süperiletken üretiminde farklı yöntemler denenerek daha yüksek kritik sıcaklığa sahip süperiletkenler üretmek amaçlanmıştır. Katı-hal tepkime yöntemi, eritme-dökme yöntemi, çözelti-jel yöntemi, ince film, kalın film, polimer metodu ve lazer yüzdürme alanı tekniği (LFZ) yöntemi bu yöntemler arasındadır. Her yöntemin avantaj ve dezavantajları vardır ancak hepsinin ortak amacı, istenilen kompozisyona uygun yüksek özellikteki homojen malzemeleri hazırlamaktır. Süperiletken malzeme hazırlama yöntemlerinden bazılarında bu bölümde değinilecek ve kullanılan malzemenin üretim tekniği hakkında bilgi verilecektir. Aynı zamanda ölçümler için kullanılmış olan teknikler ve sistemler anlatılacaktır.

#### 3.2. Katıhal Tepkime Yöntemi

Katıhal tepkime yöntemi, kolay ve maliyetinin az olması sebebi ile süperiletkenler üzerine çalışmalar yapan araştırmacıların en çok tercih ettiği yöntemlerin başında gelir. Oksitler, karbonatlar ve nitratlar bu yöntemde başlangıç malzemeleri olarak kullanılırlar. Bu çalışmada kullanılan BSCCO sisteminde başlangıç bileşikleri olarak Bi, Sr, Ca ve Cu gibi elementlerin oksit bileşikleri kullanılmaktadır. Başlangıçta kullanılan bileşiklerin saflığı, istenilen özellikte malzeme üretebilmek için önem taşımaktadır. Başlangıç bileşikleri ile stokiometrik oranlarda homojen bir karışım elde etmek ve malzemenin parçacık boyutlarını küçültmek amacı ile öğütme, harmanlama ve karıştırma işinde kullanılan bilyalı değirmen yöntemi (ball milling) ile malzeme öğütülerek karıştırılır. Homojen ve küçük parçacıklar haline getirilen malzemeye kalsinasyon uygulanır. Kalsinasyon işleminin amacı malzeme içerisine öğütme ve karıştırma

sırasında girmiş olması olası nem, oksit veya karbondioksit gibi maddeleri ve başlangıç malzemesi olarak kullanılan karbonat içeriklerini malzemedan uzaklaştırmaktır. Bu yöntemde malzeme, erime sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar ısıtılır. İstenilen özellikte ve homojenlikte bir malzeme elde edinceye dek malzeme üzerinde öğütme ve kalsinasyon işlemleri tekrar uygulanabilir. Kalsinasyon işlemini uygulamadan önce, işlem yapılacak olan kabın uygun olup olmadığı araştırılması gerekmektedir. Isıtma işlemlerinin yüksek sıcaklıklarda yapılması sebebi ile kabın yapısında bulunan bileşikler difüzyon ile içerisinde bulunan malzemeye karışabilir. BSCCO sistemlerinde ısıtılma işlemi 750°C ile 800°C arasında bir sıcaklığa ulaşabilir ancak bu sıcaklıklar diğer süperiletken yapılarda farklılık gösterebilir. Malzeme homojen bir yapıya ulaştıktan ve yabancı maddeler malzemedan uzaklaştırıldıktan sonra, malzemenin parçacıkları arasındaki mesafeleri azaltmak ve bu sayede atomlar arasındaki difüzyonu kolaylaştırabilmek amacı ile toz parçacıkları presleme işlemine tabi tutulur. Bu çalışmada kullanılan BSCCO sistemi için genellikle 300 N/mm<sup>2</sup> ile 500 N/mm<sup>2</sup> arası bir basınç uygulanır. Pelet haline getirilen malzeme sinterleme aşamasına tabi tutulur. Sinterleme işleminde malzemenin sıcaklığı erime sıcaklığının hemen altında bir değere kadar belirli bir hızla yükseltilir ve bu sıcaklıkta bekletilir. Sinterlemenin amacı süperiletkenlerde kritik sıcaklığı yükseltmek, atomların aralarında oluşturduğu kovalent bağları daha kuvvetli hale getirmek, polikristalleri oluşturmak ve yapıyı oluşturan örgü sistemindeki kusurların ortadan kalkmasını sağlamaktır. Sinterleme işleminden sonra en dikkat edilmesi gereken noktalardan biri ise malzemenin tekrar soğutulma aşamasıdır. Soğutulma işleminin kontrollü ve belirli bir hızla yavaşça yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde malzeme içerisinde deformasyonlar ve dislokasyonlar oluşabilir.

### 3.3. Çözelti – Jel (Sol – Gel) Yöntemi

Katıhal metodu kadar sık kullanılmasa da katıhal ve eritme dökme yöntemlerine bir alternatif oluşturmaktadır. Öncelikle hazırlanacak malzemeye

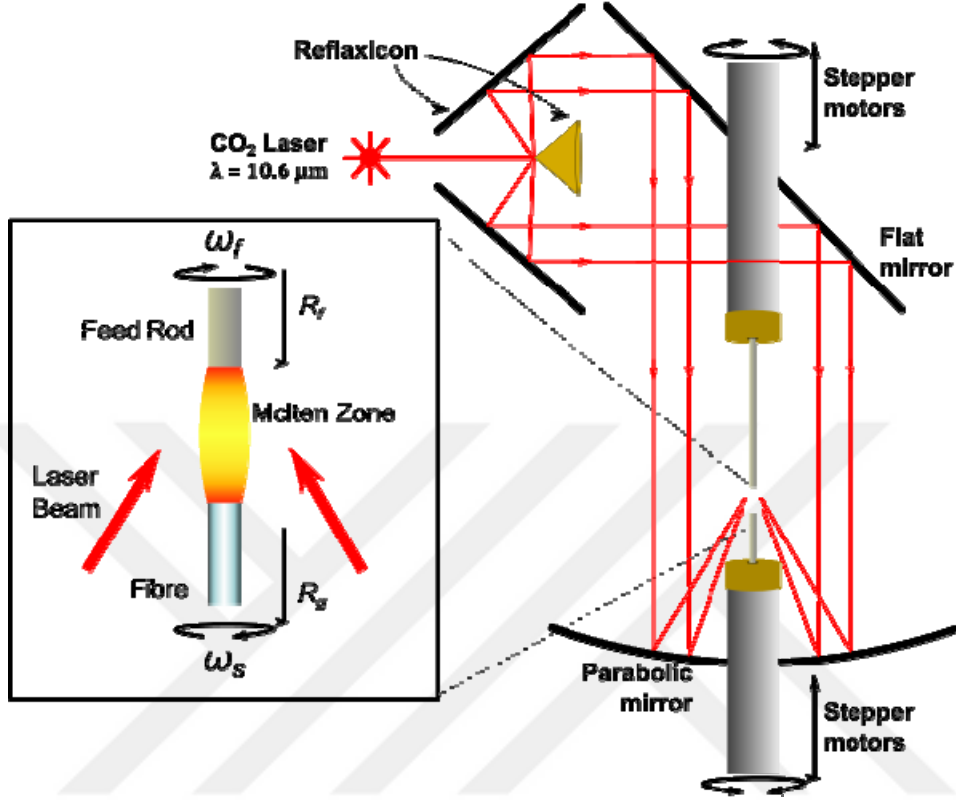
uygun miktarda amonyum nitrat ve su bir beherde manyetik karıştırıcı kullanılarak sıvı hale getirilinceye ve rengi mürekkep mavisi olana dek karıştırılır. Daha sonra bu karışıma sitrik asit ve etilen glikol eklenerek 180 ile 200 °C aralığında bir sıcaklıkta bekletilir. Bu ısıtma işlemi esnasında hem zehirli gaz çıkışları (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O vb.) gözlenir, hem de artık suyun, nitratin ve amonyumun malzemeden uzaklaştırılması ile bir çökeltinin (jel) oluşması hedeflenir. Elde edilen çökeltinin kurutulup toz haline getirilmesi için 500 °C civarında bir ısı işlemi tabi tutularak kurutulur. Toz haline getirilen çökelti öğütüldükten sonra öncelikle 24 ile 48 saat arası kalsinasyon işlemine, daha sonra ise sinterleme işlemine tabi tutularak süperiletken yapıda malzeme elde edilir. Katıhal ve eritme döküm yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha homojen ve ince taneli yapılar oluşturulması, uygulanan ısı işlem sürelerinin daha kısa olması ve kullanılan bileşiklerin oksitlenerek tam reaksiyon sağlayabilmeleri için sisteme fazladan oksijen girmesine olanak vermesi gibi avantajları vardır.

#### 3.4. Laser Floating Zone (LFZ) Tekniği

Süperiletken malzeme üretme yöntemlerinden bir diğeri ise Lazer Yüzer Bölge (LFZ) tekniğidir. Özellikle de Bi-2212 süperiletken çubuklarının üretiminde LFZ tekniği sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikte lazer atımları ile malzemeye verilen ısı, malzemenin erimesini ve düşey doğrultuda akmasını sağlar. Isı alan malzeme buharlaşma da görülmektedir, bu sebeple LFZ methodu ile hazırlanan YBCO gibi yapılarda CuO'nun bir kısmının buharlaşması sebebi ile istenilen hedeflere tam olarak ulaşamamıştır. Bu nedenle bu tekniğin her süperiletken ailesi için uygun olduğunu söylemek mümkün değildir. Buna karşın Bi-2212 yapısı LFZ methodu uygulanarak yapıtaşlarından üretilebilmektedir. Sıvı haldeki malzemenin büyüme eğilimi c eksenine dik doğrultudadır, bu da malzemenin yapısının tabakalı bir hal almasını sağlar.

Bi-2212 kompozisyonu LFZ tekniğinin en iyi uygulanabildiği fazdır. Başlangıç tozlarının basınç ile sıkıştırılarak çubuk şekline getirildiği malzemenin 1

cm'lik kısmı kırılarak tohum (seed) olarak kullanılır. Bu tohum büyütme yapılacak olan bölmenin alt kısmındaki tutucuya sabitlenir. Çubuğun kalan ve daha uzun olan parçası ise besleme (feed) olarak adlandırılır ve bölmenin üst kısmındaki tutucuya sabitlenir. Tohum ile besleme parçalarının arasında 1 ile 2 mm arasında bir mesafe kalıncaya dek bu iki çubuk birbirine yakınlaştırılır. Lazer ışını besleme çubuğunun en alt noktasına yönlendirilerek bu bölgenin erimeye başlaması sağlanır. Besleme çubuğunun erimeye başlayan kısmı bir süre sonra altında bulunan tohum kısmına temas etmeye başlar. İlk temasın gerçekleşmesi ile birlikte erimiş halde bulunan malzemenin işlenmesine başlanabilir. Eriyiğin daha homojen hale gelebilmesi ve ara bölgeden aşağıya akmaması için tohum ve besleme birbirlerine zıt yönlerde döndürülürler. Besleme ve tohum çubuklarının hem zıt yönde dönme, hem de dikey doğrultuda hareket etmelerini sağlama işlemlerini gerçekleştiren motorlar birbirlerinden bağımsız olarak çalışıyor olmalarına rağmen hareketleri eş zamanlı olarak gerçekleştirirler. Motorlar tarafından gerçekleştirilen dönme hareketlerinin frekanslarının ve dikey hareketlerin, üretilecek olan fiber malzemenin taneciklerinin yönlendirilmesinde ve kalınlığında büyük etkisi vardır. Aynı zamanda her malzeme için lazer gücünün ideal bir değeri vardır ve bu değer sağlanmadığı takdirde malzemenin çok hızlı bir şekilde veya tamamen sıvılaşmasına veya erimemesine sebep olabilir. Bi-2212 için en ideal büyüme hızı 5 mm/sa iken sıcaklık 1020 °C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. LFZ (Lazer Floating Zone Melting) Uygulaması  
(<http://www.wikiwand.com>)

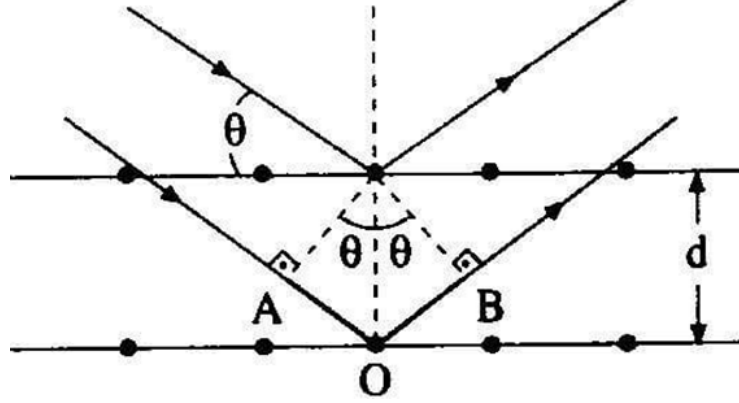
### 3.5. Ag ve Na Katkılı Bi-2212 Fiber Örneklerin Hazırlanması

%0, 1, 3 ve 5 konsantrasyonlarda Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  polikristal başlangıç tozları  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  ( $\geq$  %99.9, Aldrich),  $\text{SrCO}_3$  (%98, Panreac),  $\text{CaCO}_3$  ( $\geq$  %99, Aldrich),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $\geq$  %99.99, Aldrich),  $\text{CuO}$  (%98, Panreac) ve Ag ( $\geq$  %99, Aldrich) ticari tozları ile sol-gel yöntemi kullanılarak üretildi. Bu tozlar uygun oranlarda tartıldı ve  $\text{HNO}_3$  (Fluka, PA) ve damıtılmış su karışımının içerisinde çözüldü. Berrak mavi renkteki çözeltiye yeteri miktarda sitrik asit (%99.5, Panreac) ve etilen glikol (%99, Panreac) damlatıldı.  $110^\circ\text{C}$ 'de soluk mavi ve kuru bir jel elde edilene kadar yavaş gerçekleşen bir buharlaşma gözlemlendi. Isıl işlem sıcaklığının  $350^\circ\text{C}$ 'ye çıkarılması ile organik malzeme kendi kendini yakma yoluyla ayrıştırıldı. Toprak – alkali karbonatlarını ayrıştırmak için ise  $750^\circ\text{C}$

ve 800 °C sıcaklıklarda iki kalsinasyon işlemi daha uygulanarak kahverengimsi ince bir toz elde edildi. Isıl işlem görmüş olan tozlar 200 MPa basınç altında presslenme işlemine tabi tutularak silindirik bir hale getirildiler. Bu seramikler LFZ yönteminde yönlü katılaştırma işleminde besleme olarak kullanıldılar. Yönlenmiş çubuklar LFZ yönteminde besleme (feed) ile tohum (seed) çubuklarının 18 rpm bağıl dönüş hızı ve 30 mm/h büyüme hızında sürekli güçte Nd:YAG lazer ( $\lambda = 1064$  nm) kullanılarak elde edildi. Eritme – büyütme uygulamasından sonra yaklaşık 2 mm çapında ve 120 mm uzunluğunda çok homojen ve geometrik çubuklar elde edildi. Öte yandan, bilindiği gibi Bi-2212 seramiği uyumsuz erime gösterir ve katılaştırma işleminden sonra Bi-2201, CaCuO<sub>2</sub> veya (Sr,Ca)CuO<sub>2</sub> gibi ikincil fazlar üretebilir. Bunun sonucu olarak LFZ ile yönlenme işleminden sonra ikincil fazlardan Bi-2212 fazını oluşturabilmek için ısıl işleme tabi tutulması gerekir. Bu tavlama işlemi atmosfer ortamında iki aşamada yapıldı. İlk aşamada 60 saat boyunca 860 °C’de, ikinci aşamada ise 12 saat süreyle 800 °C’de ısıl işlem uygulandı. Isıl işlem sonrası fırın sıcaklığı soğutularak oda sıcaklığına getirildi.

### 3.6. XRD (X-ray Diffractometer) ölçümleri

Bir X-ışını difraktometresinde yüksek voltaj altında hızlandırılan elektronlar bir hedefe çarptırılarak X-ışını üretilir. Üretilen X-ışınları çeşitli filtreler kullanılarak örnek yüzeyine yönlendirilir ve kırınımına uğrattılır. Gözlenen XRD desenlerinden örneğin kristal yapısı, örgü parametreleri ve kristalleşmenin ölçüsü gibi birçok veriye ulaşılır. X-ışını analizinin temelinde Bragg kırınım yasası vardır (Şekil 3.3.)



Şekil 3.2. Bragg kırınım yasası

(<https://www.muhandisbeyinler.net/kristalografi-nedir>)

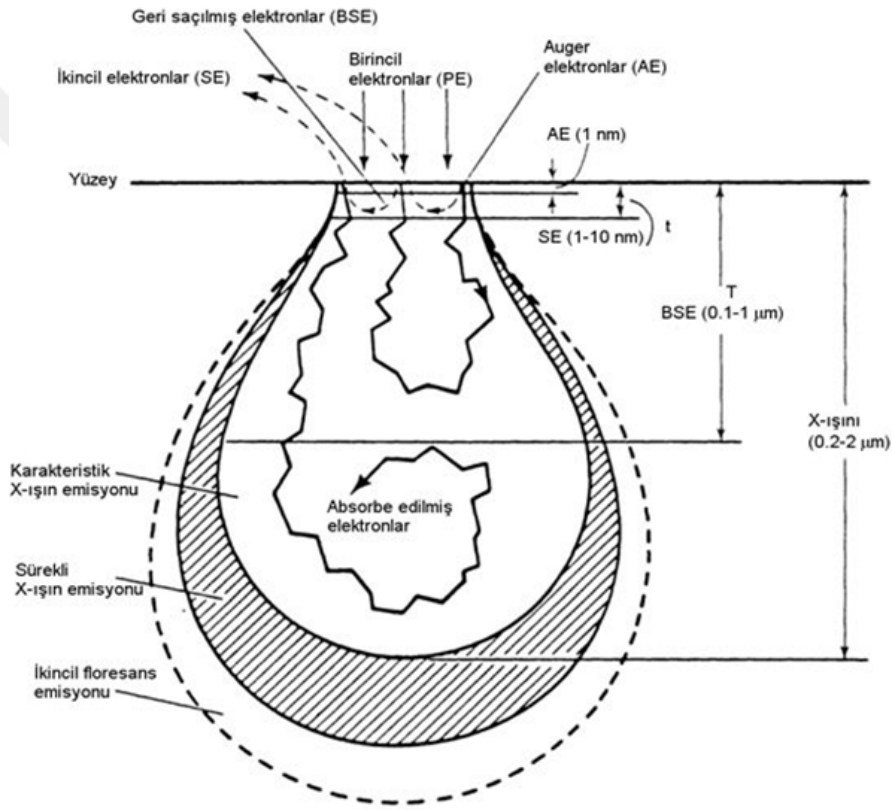
### 3.7. SEM (Scanning Electron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive X-Ray) Ölçümleri

Malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili bilgi sahibi olmak amacı ile taramalı elektron mikroskobu (SEM) tekniği kullanılır. Bu tekniğin çalışma prensibi, belirli bir voltaj uygulanması sonucunda hızlandırılmış olan yüksek enerjili elektronlar malzemenin yüzeyine çarptırılır ve bu çarpışma sonucunda ürettikleri sinyaller malzemenin fiziksel görünüşü, kimyasal yapısı, parçacık boyutu, kristal yapısı gibi özellikler hakkında bilgiler verir (Şekil 3.3). Uygulanan voltaj değerinin değiştirilmesi, farklı enerjilerde elektronlar ortaya çıkmasına sebep olur. Enerjisi yüksek olan elektronlar malzemenin iç bölgelerine ulaşırken, enerjisi görece daha düşük olan elektronlar malzemenin yüzeyinden çok içeri kısımlara giremez ve geri yansır. Geri yansıyan bu daha düşük enerjiye sahip elektronlar sayesinde malzemenin fiziksel görünümü ile ilgili bilgiler elde edilebilir. İç kısma girerek kırınımına uğrayan ve yansıyarak geri dönen daha yüksek enerjiye sahip elektronlar ise malzemenin kristal yapısı ve yönelimleri ile ilgili bilgiler elde etmemizi sağlar.

Uygulanan voltaj değeri belirli bir değerin üzerine çıkarıldığında malzemeye çarpan elektronlar malzemenin elektronlarını yörüngelerinden



koparırlar ve uyarılmaları sağlamış olur. Uyarılmış olan elektronlar koştukları yörüngelerine geri yerleştiklerinde ise, her elementin birbirinden farklı dalga boylarında olmak üzere, X-ışınları yayarlar. Yayılan X-ışını fotonlarının dedektörler ile algılanması sayesinde ise EDS ölçümleri yapılmaktadır. EDS ölçümleri sayesinde malzeme yapısı içerisindeki kristal ve kimyasal yapı ile ilgili bilgiler elde edilebilir.



Şekil 3.3. Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) elektronların malzeme ile etkileşimi (<https://www.metalurjik.net>)

### 3.8. Manyetizasyon Ölçümleri

Hazırlanan örneklerin süperiletkenlik özelliklerini belirlemek için manyetizasyonun sıcaklık ve uygulanan manyetik alana göre manyetizasyon

değişimleri gözlemlenmiştir. Bu gözlemler Çukurova Üniversitesi Fizik Ana Bilim Dalı süperiletkenlik laboratuvarımızda bulunan LakeShore marka 7304 model Vibration Sample Magnetometer (VSM) cihazı ile yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan farklı konsantrasyonlardaki örneklerin önce 10, 20, 30, 40 ve 50 K sıcaklıklarda ve sabit manyetik alan altında (100 Oe) manyetizasyon ölçümleri yapılarak malzemenin manyetizasyonunun sıcaklık ile değişimleri gözlemlenmiştir. Daha sonra üretilen malzemenin farklı manyetik alanlar altındaki manyetizasyon ölçümleri yine VSM cihazı ile  $\pm 10000$  Oe manyetik alan aralığında ve 10, 20, 30, 40 ve 50 K sıcaklıklarda yapılmıştır. Elde edilen verilerden faydalanılarak farklı manyetik alan ve sıcaklıklardaki kritik akım yoğunlukları Bean modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Hazırlanan örneklerin magneto-direnç ölçümleri ise dört nokta kontak yöntemiyle İnönü Üniversitesi Merkezi Laboratuvar bünyesindeki Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi (PPMS) kullanılarak 0, 1, 2, 4 ve 5 T alan altında gerçekleştirilmiştir.



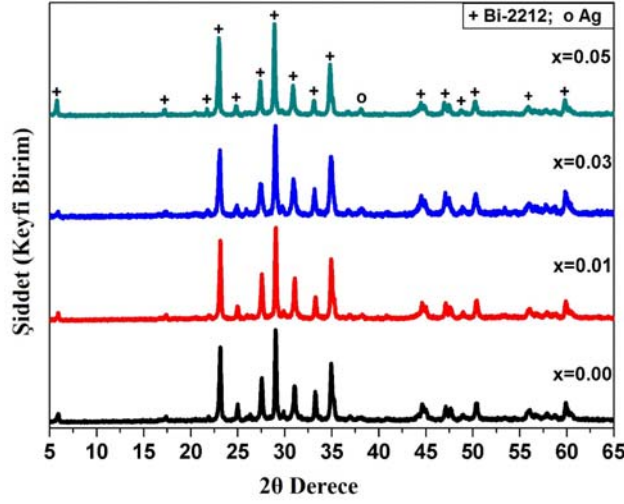
## 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

### 4.1. Giriş

Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerin karakterizasyonu ve süperiletken özelliklerinin araştırılması için XRD, SEM-EDS, VSM ve PPMS kullanılmıştır.

### 4.2. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin XRD Analizi

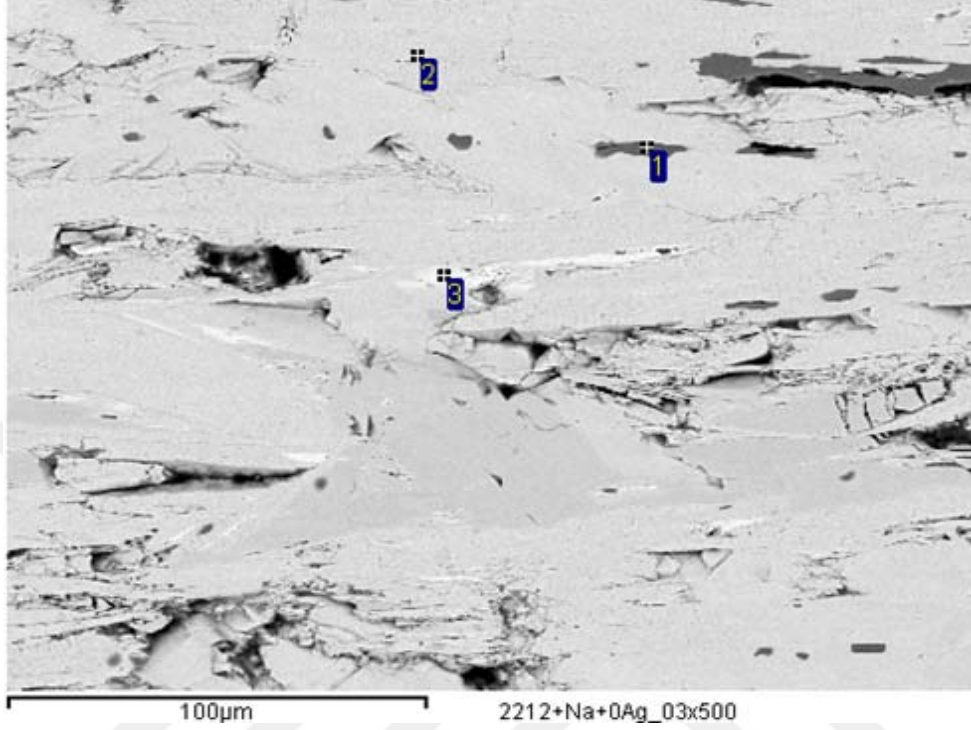
Bir malzemeye ait düzlemler arası mesafe, kristal yapı, taneciklerin yönelim şekli gibi birçok özellik X-ışını kırınımı analizleri ile belirlenebilir. Şekil 4.1'de Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ + %x Ag (x= 0, 1, 3, 5) süperiletken malzemenin XRD sonuçları görülmektedir. XRD grafiğine bakılırsa tüm Ag konsantrasyonlarında gözlemlenen piklerden (+ ile gösterilen) Bi-2212 fazının baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca  $38.2^\circ$  açı değerinde gözlemlenen ve "o" ile gösterilen metalik Ag pik şiddetleri de Ag konsantrasyonunun artmasıyla artış göstermektedir. Öte yandan sisteme Ag eklenmesi sistemin kristal yapısında bir değişikliğe neden olmamıştır. Sistemin kristal yapısı sözde (pseudo) tetragonal tipinde olup örgü parametreleri  $a=b \approx 5.434 \text{ \AA}$  ve  $c \approx 30.832 \text{ \AA}$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin XRD desenleri

#### 4.3. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin SEM-EDS Analizleri

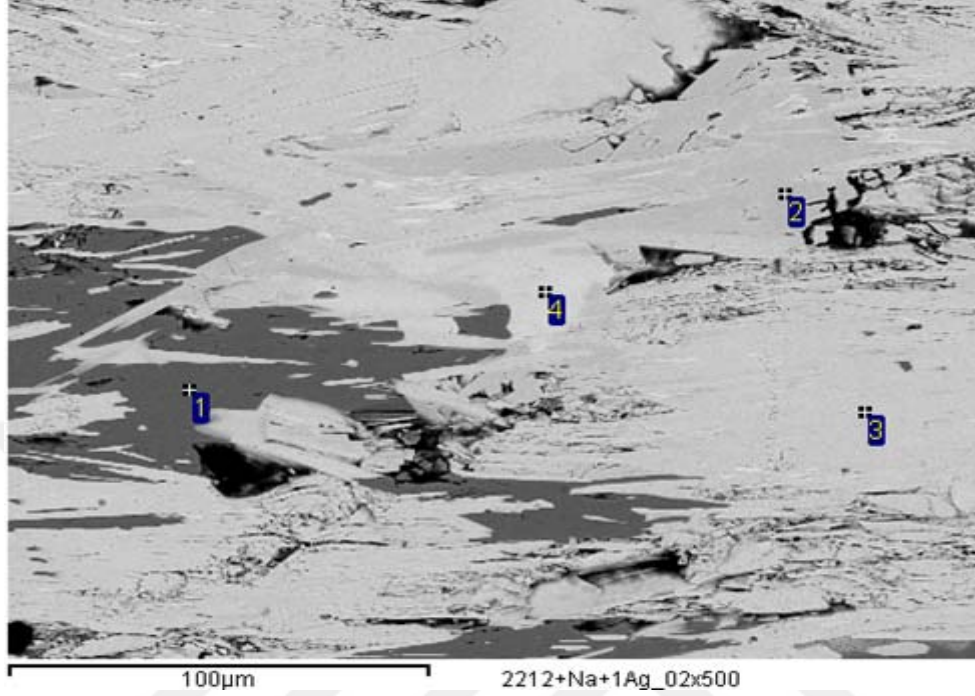
%0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğin 500x büyütmede alınan SEM fotoğrafı ve EDS analizi Şekil 4.2’de verilmiştir. Burada 1 ile gösterilen siyah renkli faz Na ve Bi içermeyen  $\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.8}\text{Cu}_{2.6}0_{6+y}$  molar oranlara sahip bir faza karşılık gelir. 2 numara ile gösterilen gri renkli bölgeler Bi-2212 ana fazına karşılık gelir. 3 numara ile gösterilen beyaz bölgeler ise Na içeren Bi-2212 ana fazıdır.



Spectrum	In stats.	O	Na	Ca	Cu	Sr	Bi
1	Yes	51.97		7.30	23.13	17.60	
2	Yes	55.12		4.90	12.16	13.37	14.45
3	Yes	52.88	-0.66	1.84	10.25	15.76	19.92
Max.		55.12	-0.66	7.30	23.13	17.60	19.92
Min.		51.97	-0.66	1.84	10.25	13.37	14.45

Şekil 4.2. %0 Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinin SEM-EDS analizleri

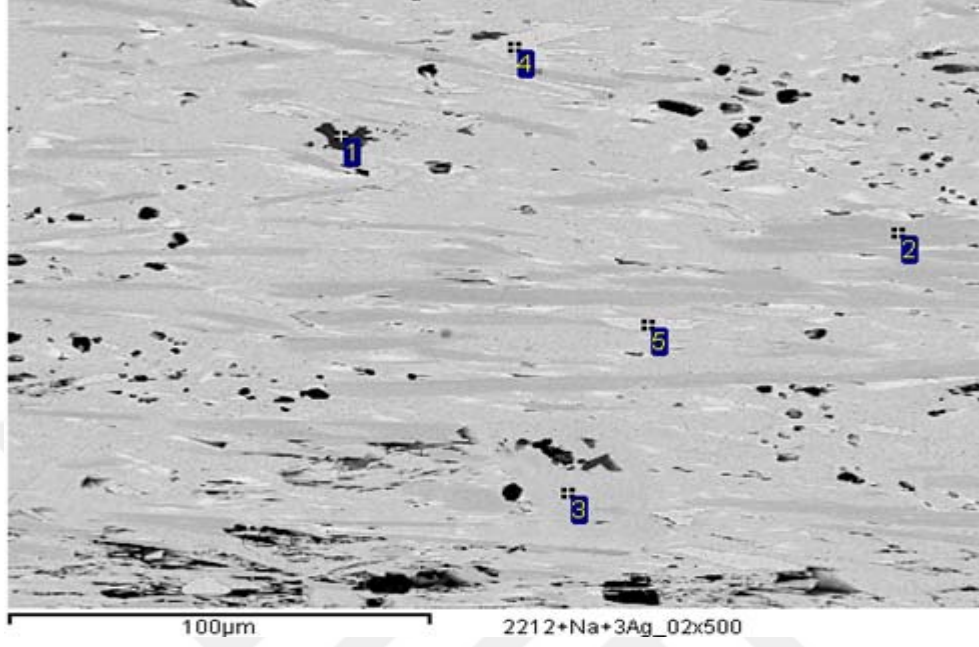
%1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinin 500x büyütmede alınan SEM fotoğrafı ve EDS analizi Şekil 4.3'te verilmiştir. Burada 1 ile gösterilen siyah bölgeler Na ve Bi içermeyen  $\text{Sr}_3\text{CaCu}_6\text{O}_y$  fazına karşılık gelir. 2 numara ile gösterilen koyu gri renkli bölgeler Na içerikli ve Sr yoğunluklu Bi-2212 ana fazına karşılık gelir. 3 numara ile gösterilen açık gri bölgeler Na içeren Bi-2212 ana fazıdır. 4 numaralı beyaz bölgeler ise Cu içermeyen  $\text{Bi}_4\text{Sr}_5\text{Ca}_2\text{O}_y$  fazıdır.



Spectrum	In stats.	O	Na	Ca	Cu	Sr	Bi
1	Yes	52.32		4.55	28.99	14.15	
2	Yes	56.19	-1.31	2.80	11.22	18.51	12.60
3	Yes	54.96	-0.94	4.68	11.98	14.26	15.07
4	Yes	56.56	-0.11	7.91		19.56	16.08
Max.		56.56	-0.11	7.91	28.99	19.56	16.08
Min.		52.32	-1.31	2.80	11.22	14.15	12.60

Şekil 4.3. %1 Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinin SEM-EDS analizleri

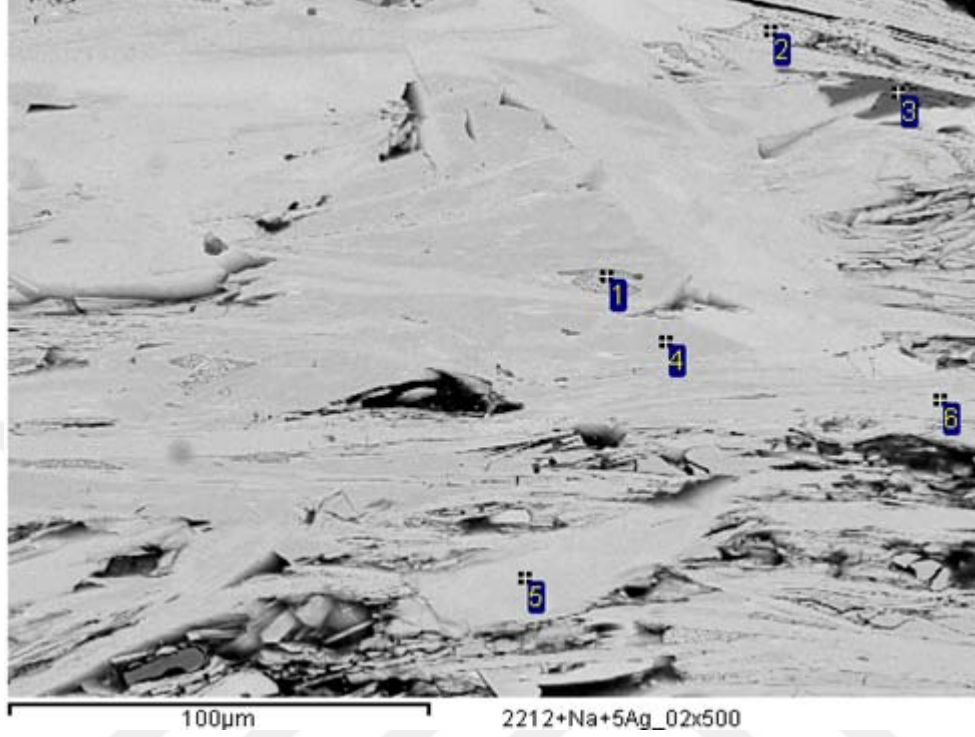
%3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğin 500x büyütmede alınan SEM fotoğrafı ve EDS analizi Şekil 4.4'te verilmiştir. Burada 1 ile gösterilen siyah renkli bölgeler Na ve Bi içermeyen  $\text{SrCaCu}_2\text{O}_y$  fazına karşılık gelir. 2 numara ile gösterilen koyu gri renkli bölgeler Na içerikli ve Sr yoğunluklu Bi-2212 ana fazına karşılık gelir. 3 numara ile gösterilen açık gri bölgeler Na içeren Bi-2212 ana fazıdır. 4 ve 5 numaralı beyaz bölgelerde ise %100 oranında Ag bulunmaktadır.



Spectrum	In stats.	O	Na	Ca	Cu	Sr	Ag	Bi
1	Yes	50.49		11.64	24.40	13.47		
2	Yes	55.50	-1.12	3.48	11.69	18.06		12.38
3	Yes	54.45	-0.79	6.23	12.30	13.00		14.81
4	Yes						100.00	
5	Yes						100.00	
Max.		55.50	-0.79	11.64	24.40	18.06	100.00	14.81
Min.		50.49	-1.12	3.48	11.69	13.00	100.00	12.38

Şekil 4.4. %3 Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinin SEM-EDS analizleri





Spectrum	In stats.	O	Na	Ca	Cu	Sr	Ag	Bi
1	Yes						100.00	
2	Yes						100.00	
3	Yes	53.37		3.97	28.13	14.53		
4	Yes	53.13	-0.95	2.46	12.86	19.35		13.14
5	Yes	53.53	-0.95	4.20	12.05	15.57		15.60
6	Yes	54.32	-0.91	4.50	11.63	14.96		15.51
Max.		54.32	-0.91	4.50	28.13	19.35	100.00	15.60
Min.		53.13	-0.95	2.46	11.63	14.53	100.00	13.14

Şekil 4.5. %5 Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinin SEM-EDS analizleri

Şekil 4.5'te %5 Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinin SEM - EDS analizleri verilmiştir. 1 ve 2 numara ile işaretlenmiş bölgelerde %100 Ag konsantrasyonu bulunmaktadır. 3 numaralı siyah renkli bölge Na ve Bi içermeyen

$\text{Sr}_7\text{Ca}_2\text{Cu}_{14}\text{O}_y$  fazına karşılık gelir. 4 numaralı koyu gri bölge Sr yoğunluklu Bi-2212 fazını göstermektedir. 5 ve 6 numaralar ile işaretlenmiş bölgelerde ise Bi-2212 fazı mevcuttur.

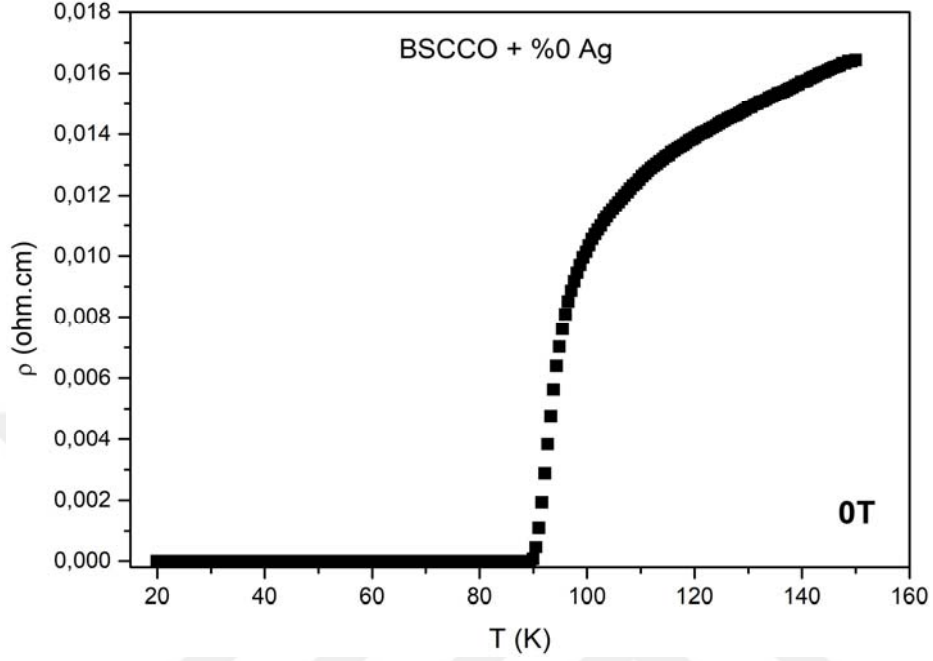
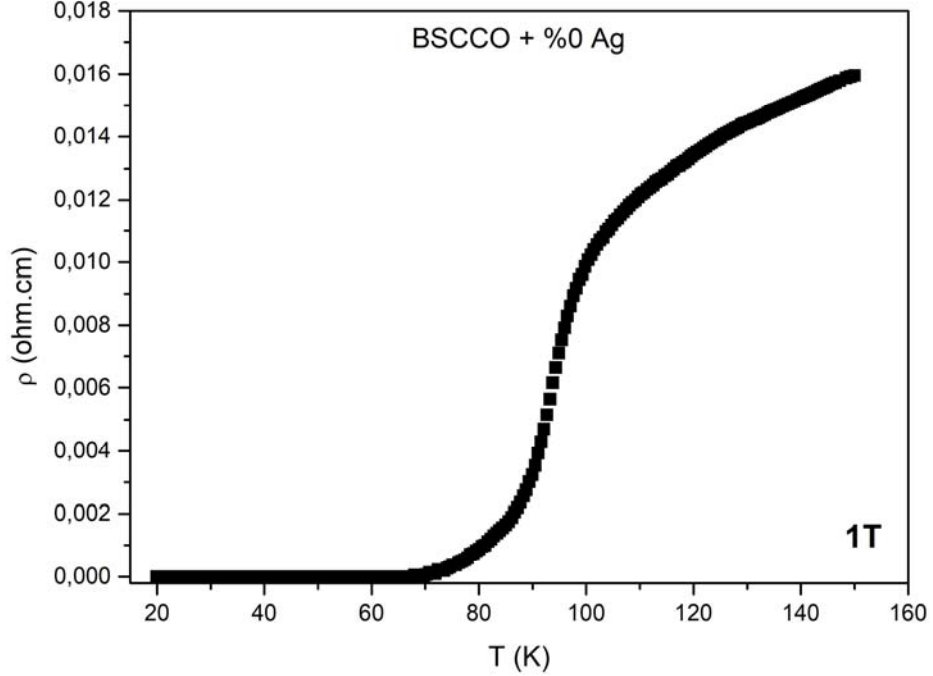
SEM-EDS analizinden görüldüğü gibi tüm örneklerde başlangıç elementleri olarak kullanılan Bi, Sr, Ca, Cu, Na ve Ag dışında safsızlık olarak tanımlayabileceğimiz başka elementlere ait EDS sinyallerine rastlanılmamıştır. Tüm örneklerde Bi-2212 fazı baskın olmakla birlikte Bi içermeyen  $\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.8}\text{Cu}_{2.6}\text{O}_y$ ,  $\text{Sr}_3\text{CaCu}_6\text{O}_y$ ,  $\text{SrCaCu}_2\text{O}_y$ ,  $\text{Sr}_7\text{Ca}_2\text{Cu}_{14}\text{O}_y$  fazları da görülmüştür. Eklenen Ag ise Bi-2212 kafes yapısına girmeyip tanecikler arası sınır bölgelerine yerleşmiştir ve %3 ve %5 Ag eklemelerinde %100 Ag konsantrasyonlu bölgeler saptanmıştır.

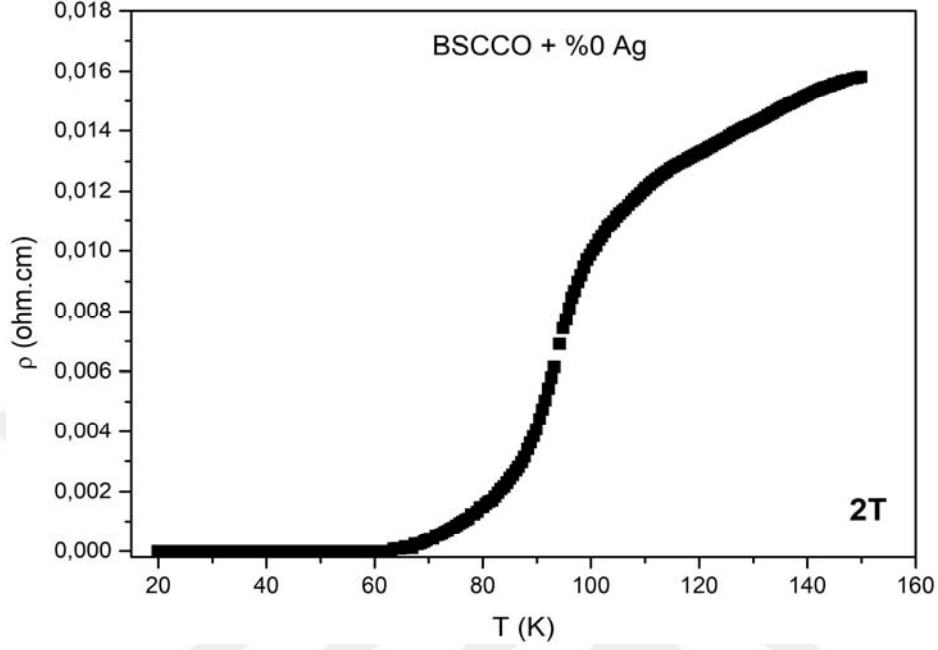
#### 4.4. Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin $\rho - T$ Analizleri

LFZ tekniği ile hazırlanan %0, 1, 3 ve 5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin manyetodirençlerinin sıcaklıkla değişimleri ölçülmüştür. Bu ölçümlere ait grafikler ve  $T_c$ ,  $T_{\text{onset}}$  ve  $T_{\text{offset}}$  değerlerinin konsantrasyona ve uygulanan farklı manyetik alanlara göre değerleri bu bölümde paylaşılmıştır. Ag katkılanmamış örneğe ait  $\rho - T$  grafikleri Şekil 4.6–11’de verilmiştir. Bu grafiklere göre katkısız  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinde uygulanan manyetik alanın artması ile birlikte  $\Delta T$  değerlerinin arttığı, kritik geçiş sıcaklığının ise azaldığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.1).

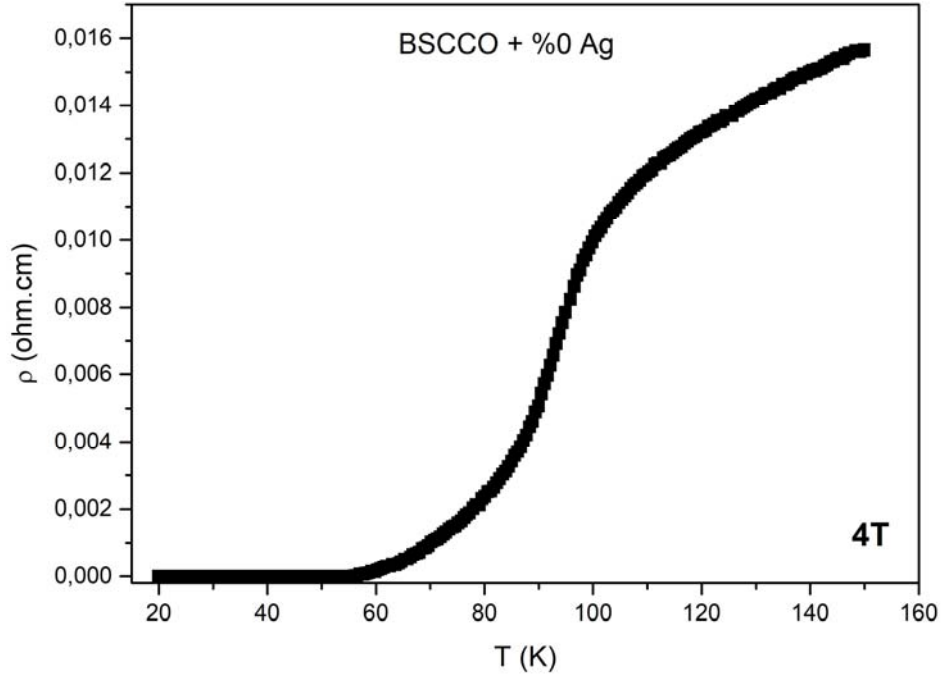
Çizelge 4.1. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $T_c$  ve  $\Delta T$  değerleri.

	0T	1T	2T	4T	6T
$T_c$	93.2	91.6	87.7	83.9	81.0
$\Delta T$	8.8	19.7	23.6	25.8	30.2

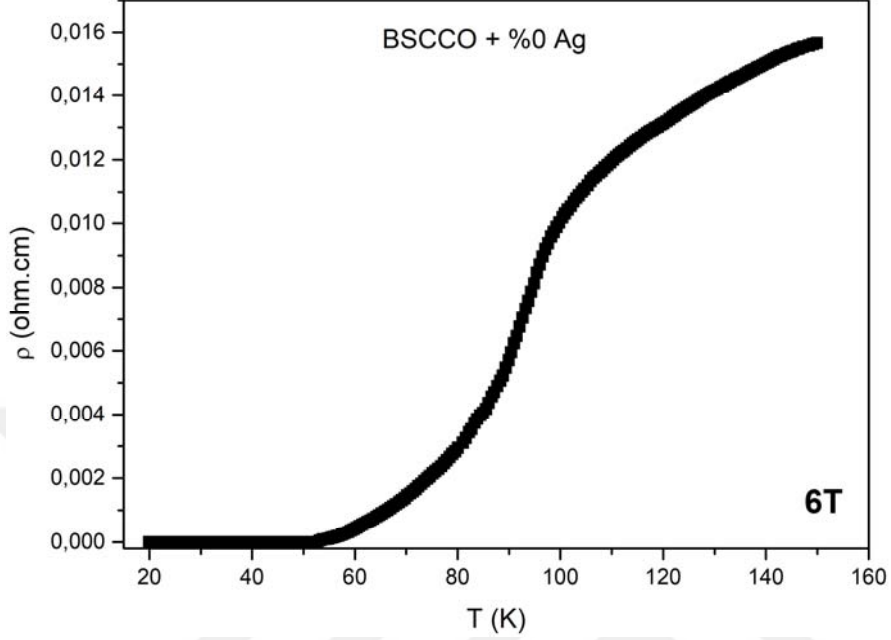
Şekil 4.6. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 0 T'da  $\rho - T$  grafiğiŞekil 4.7. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 1 T'da  $\rho - T$  grafiği



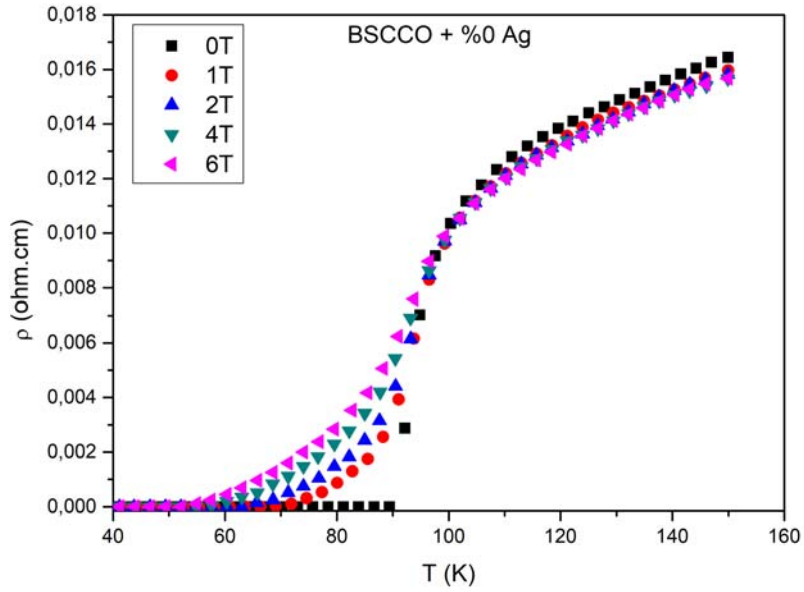
Şekil 4.8. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 2 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.9. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 4 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.10. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 6 T'da  $\rho - T$  grafiği

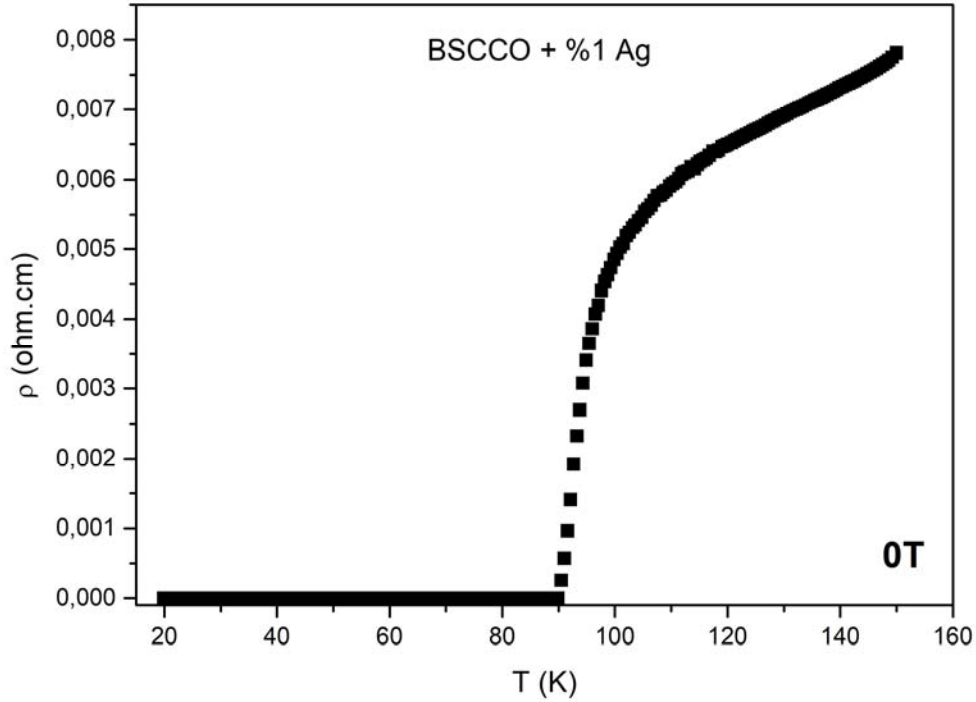


Şekil 4.11. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin farklı manyetik alanlar altında  $\rho - T$  grafiği

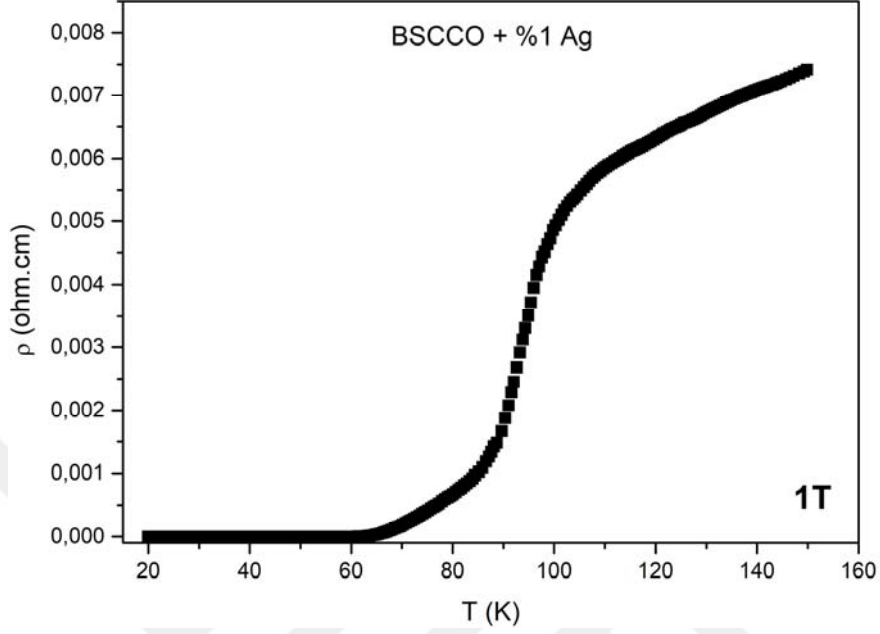
%1 Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerine ait  $\rho - T$  grafikleri Şekil 4.12–4.17’de verilmiştir. Bu grafiklere göre %1 Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinde uygulanan manyetik alanın artması ile birlikte  $\Delta T$  değerlerinin arttığı, kritik geçiş sıcaklığının ise azaldığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. %1 Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $T_c$  ve  $\Delta T$  değerleri.

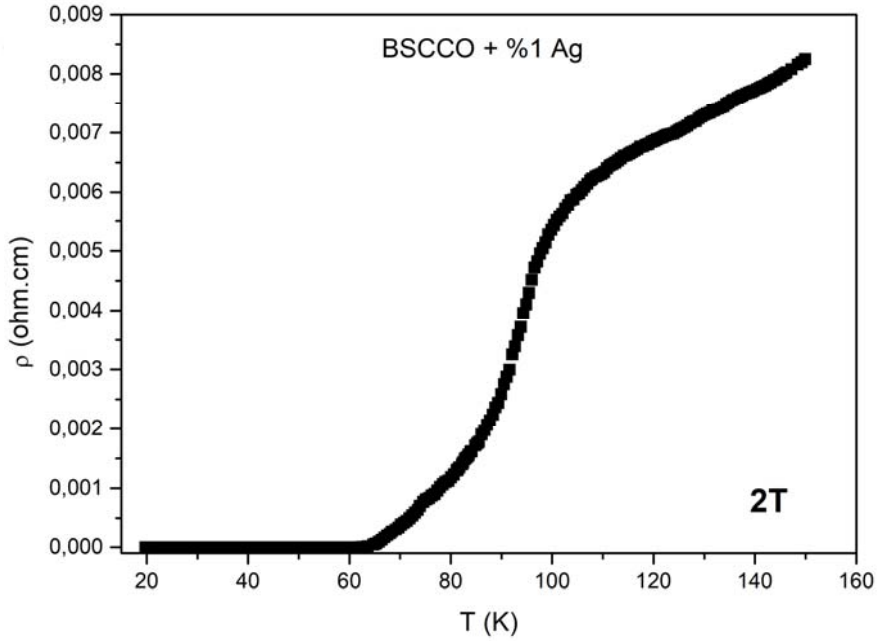
	0T	1T	2T	4T	6T
$T_c$	94.3	92.1	90.5	85.0	82.3
$\Delta T$	8.2	19.7	23.7	25.5	30.0



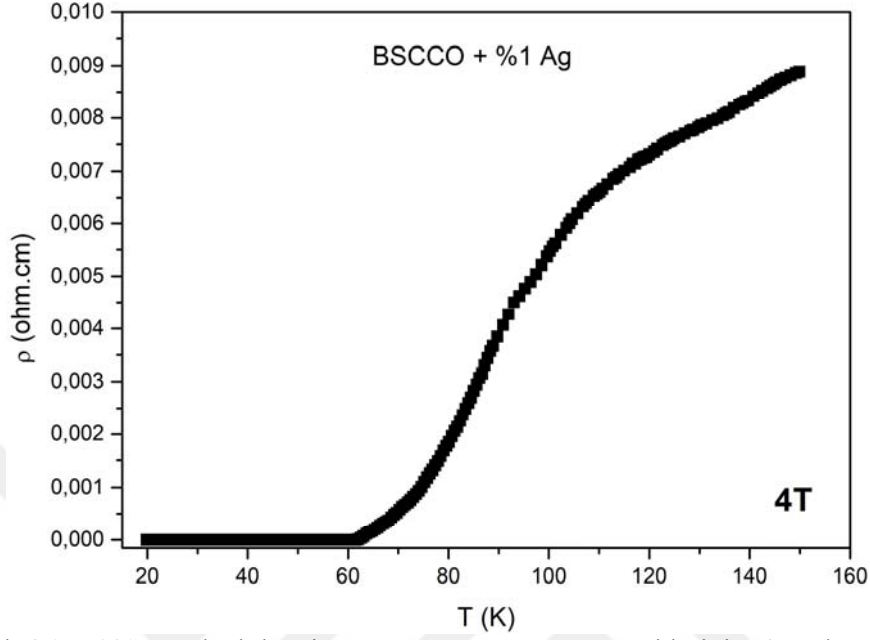
Şekil 4.12. %1 Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 0 T’da  $\rho - T$  grafiği



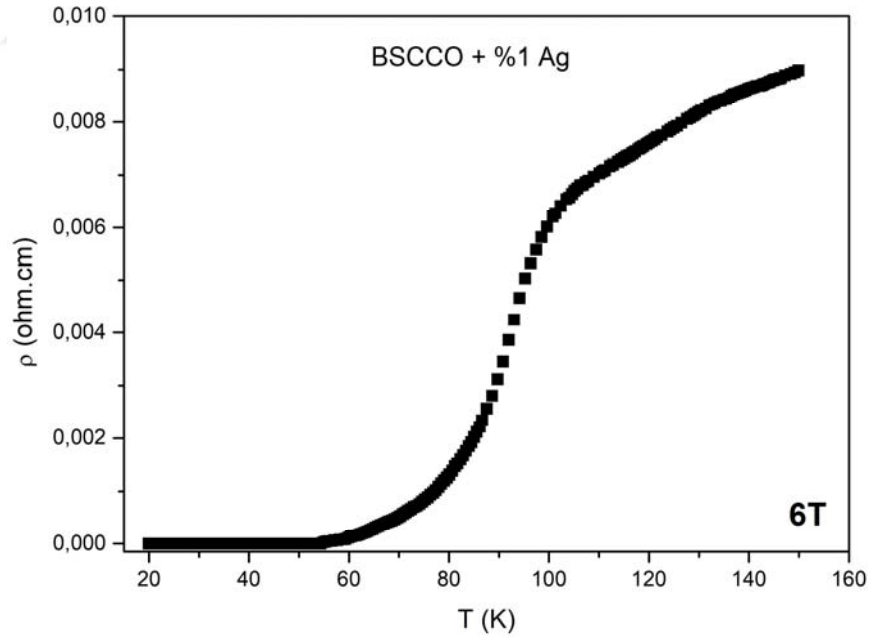
Şekil 4.13. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 1 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.14. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 2 T'da  $\rho - T$  grafiği

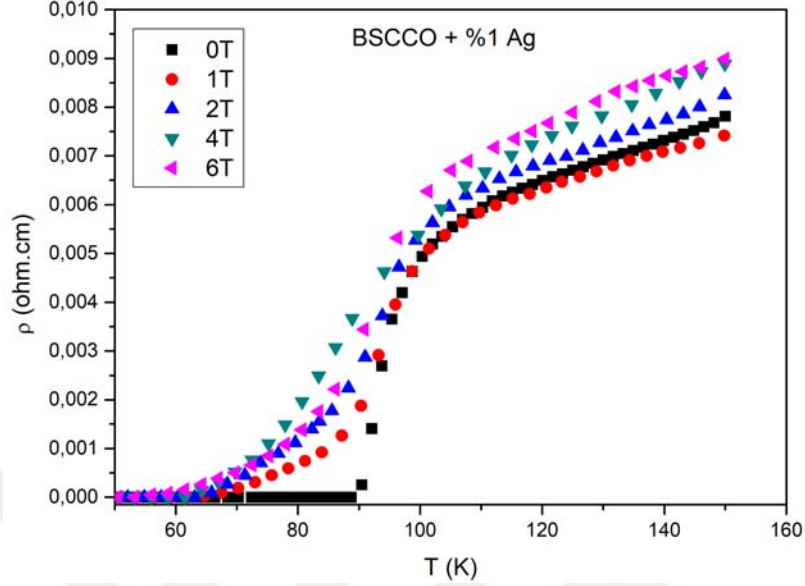


Şekil 4.15. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 4 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.16. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 6 T'da  $\rho - T$  grafiği



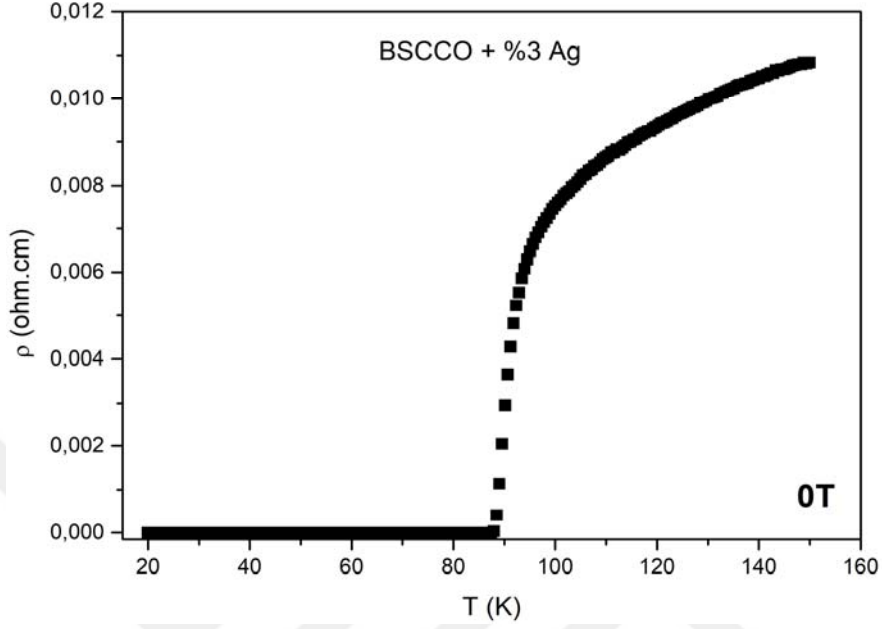


Şekil 4.17. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin farklı manyetik alanlar altında  $\rho - T$  grafiği

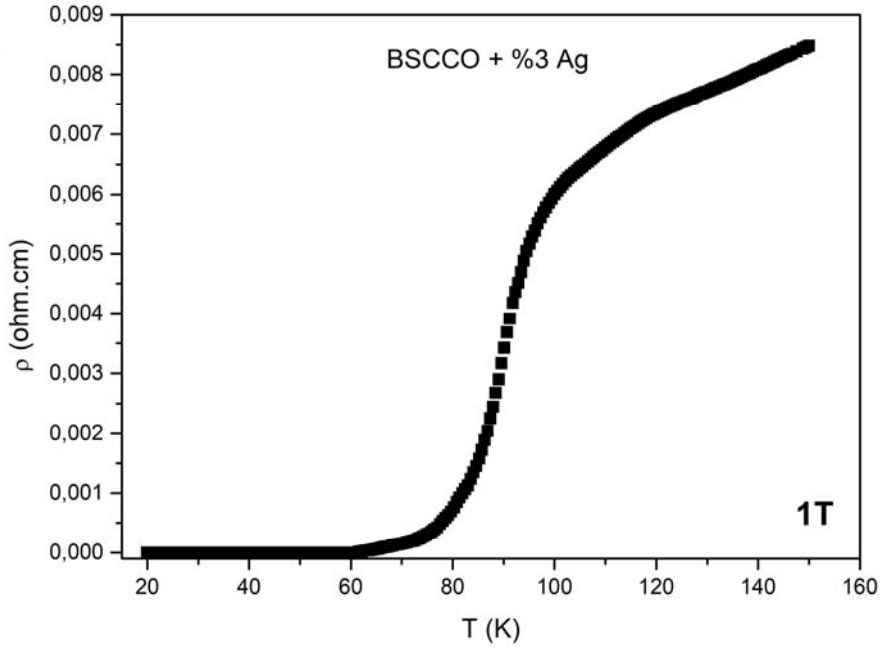
%3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerine ait  $\rho - T$  grafikleri Şekil 4.18–23'te verilmiştir. Bu grafiklere göre %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinde uygulanan manyetik alanın artması ile birlikte  $\Delta T$  değerlerinin arttığı, kritik geçiş sıcaklığının ise azaldığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $T_c$  ve  $\Delta T$  değerleri.

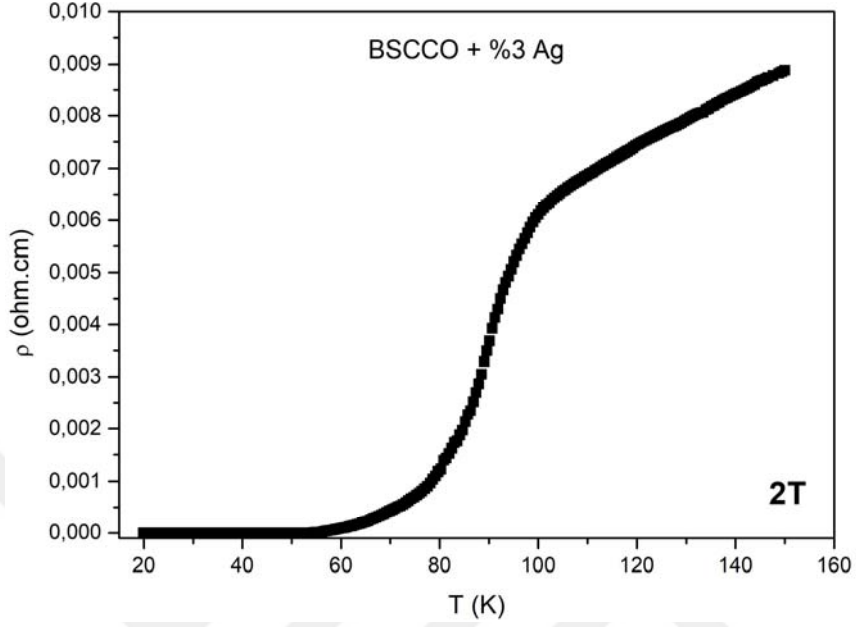
	0T	1T	2T	4T	6T
$T_c$	91.2	89.6	87.9	85.1	83.0
$\Delta T$	10.4	19.3	24.1	25.6	29.5



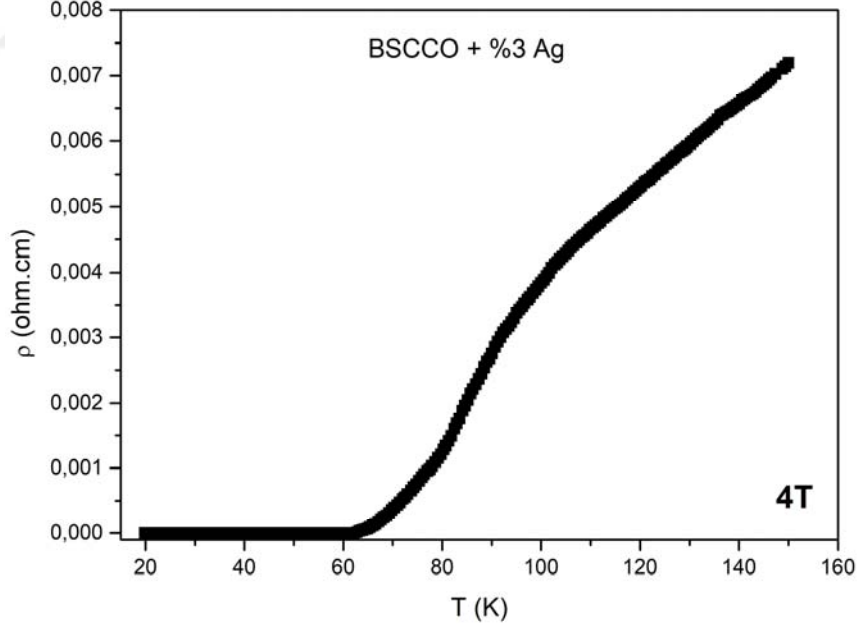
Şekil 4.18. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 0 T'da  $\rho - T$  grafiği



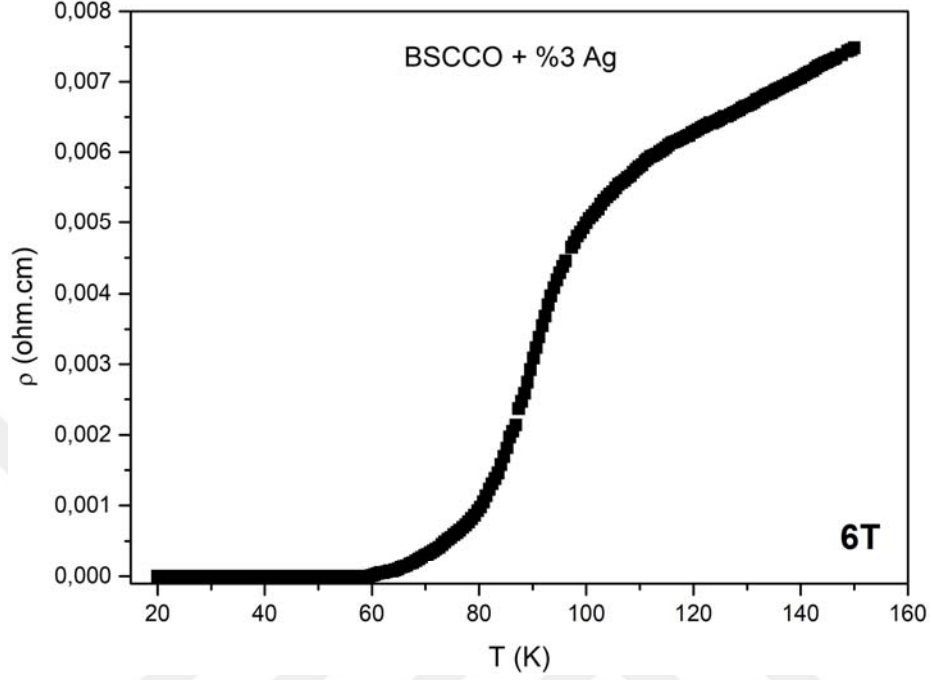
Şekil 4.19. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 1 T'da  $\rho - T$  grafiği



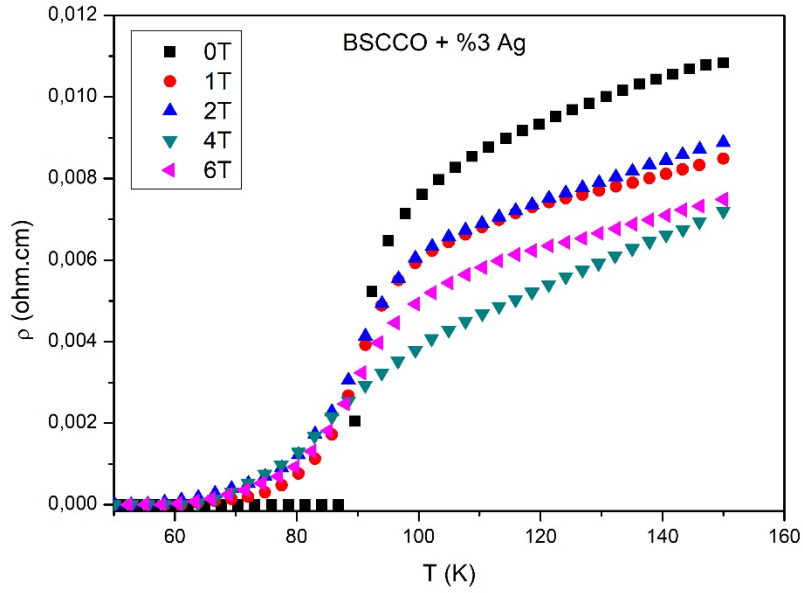
Şekil 4.20. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 2 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.21. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 4 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.22. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 6 T'da  $\rho - T$  grafiği

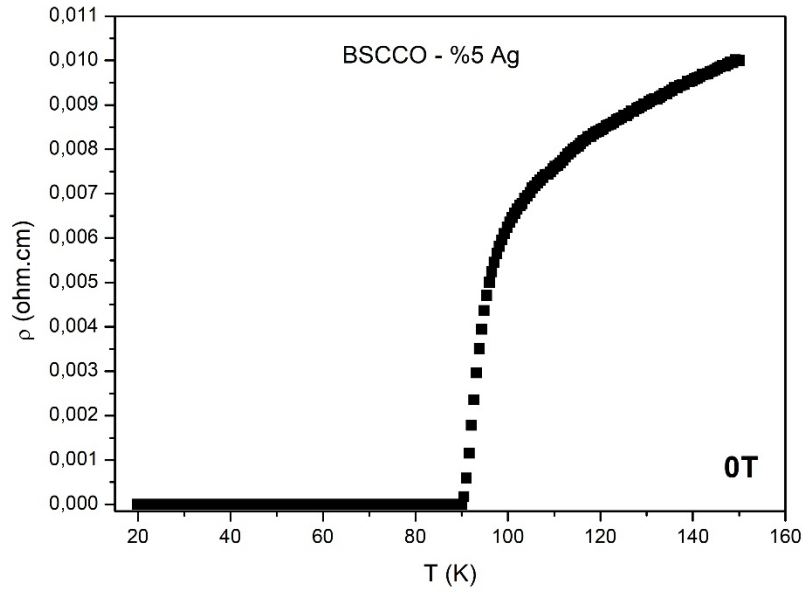


Şekil 4.23. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin farklı manyetik alanlar altında  $\rho - T$  grafiği

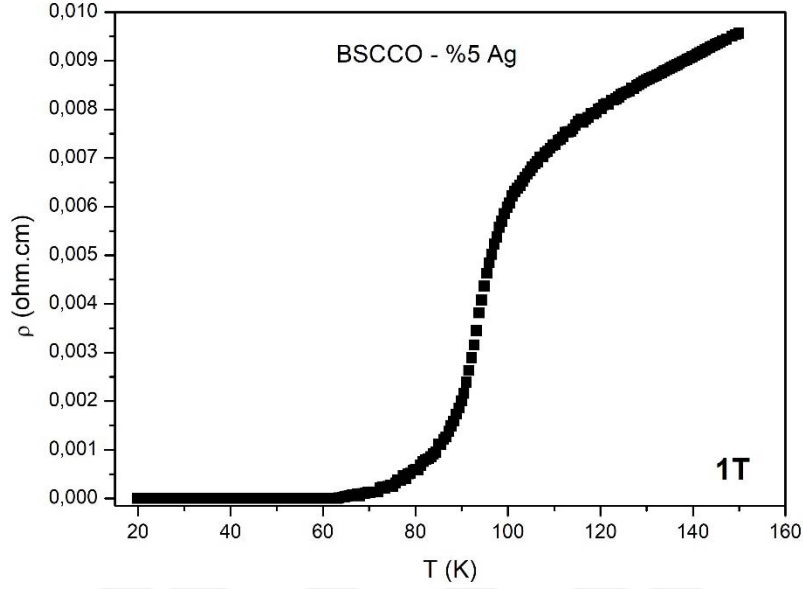
%5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerine ait  $\rho - T$  grafikleri Şekil 4.24–29’da verilmiştir. Bu grafiklere göre %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneğinde uygulanan manyetik alanın artması ile birlikte  $\Delta T$  değerlerinin arttığı, kritik geçiş sıcaklığının ise azaldığı gözlemlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $T_c$  ve  $\Delta T$  değerleri.

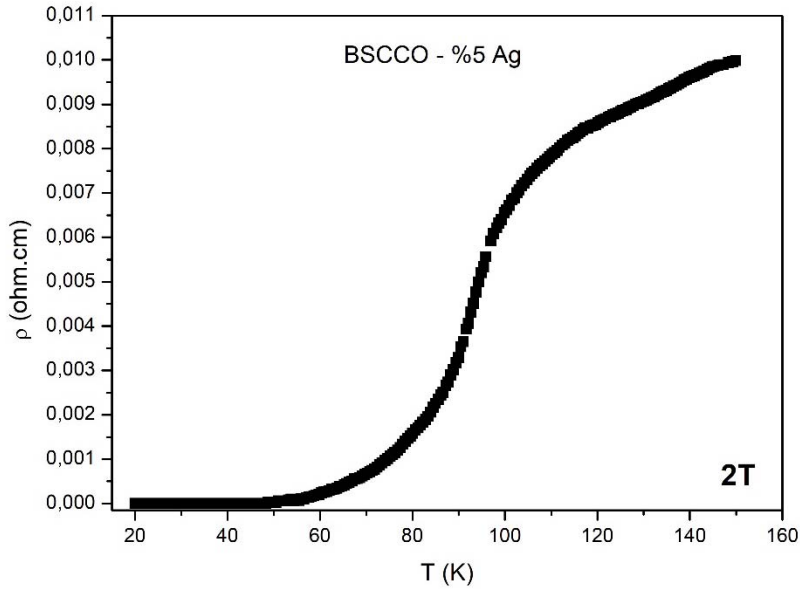
	0T	1T	2T	4T	6T
$T_c$	93.7	91.7	90.2	84.3	81.7
$\Delta T$	8.3	17.6	19.4	26.0	30.2



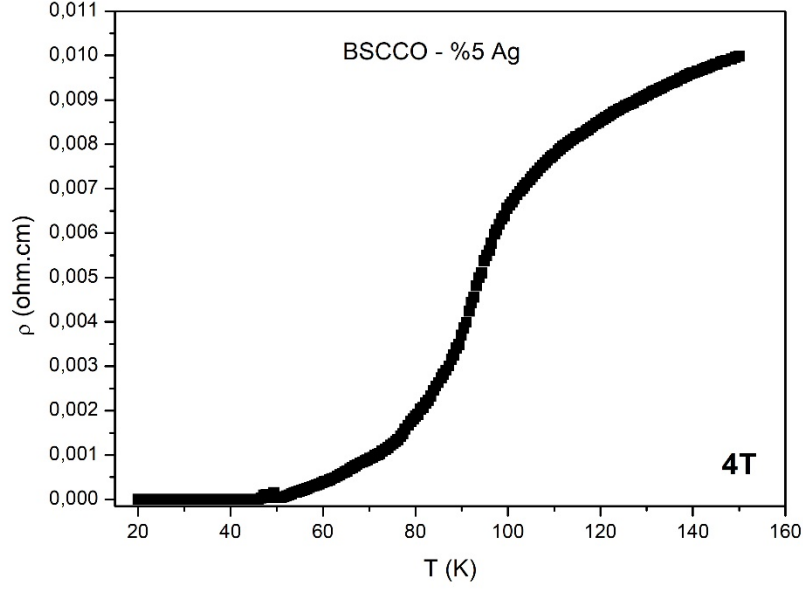
Şekil 4.24. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 0 T’da  $\rho - T$  grafiği



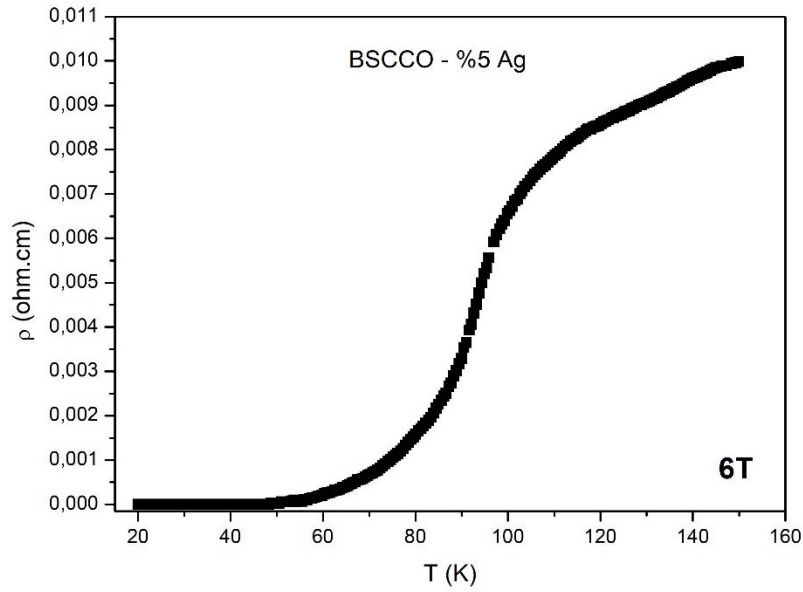
Şekil 4.25. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 1 T'da  $\rho - T$  grafiği



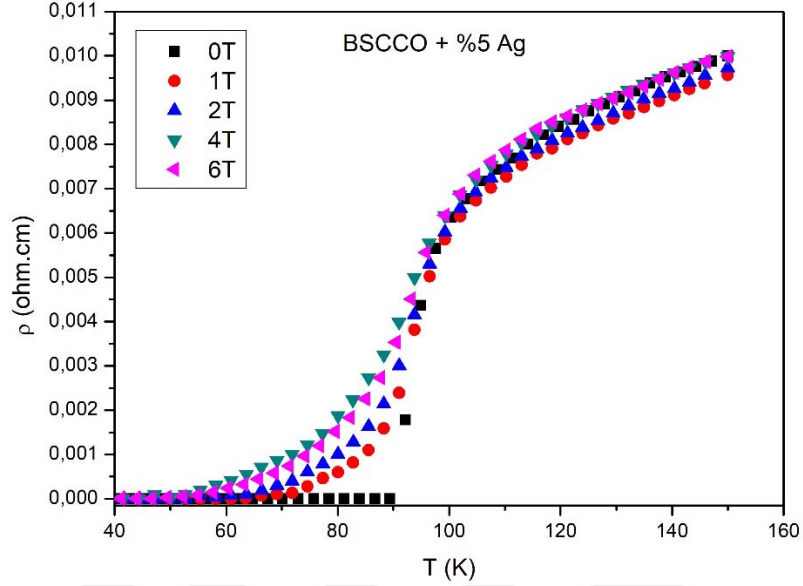
Şekil 4.26. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 2 T'da  $\rho - T$  grafiği



Şekil 4.27. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 4 T'da  $\rho - T$  grafiği



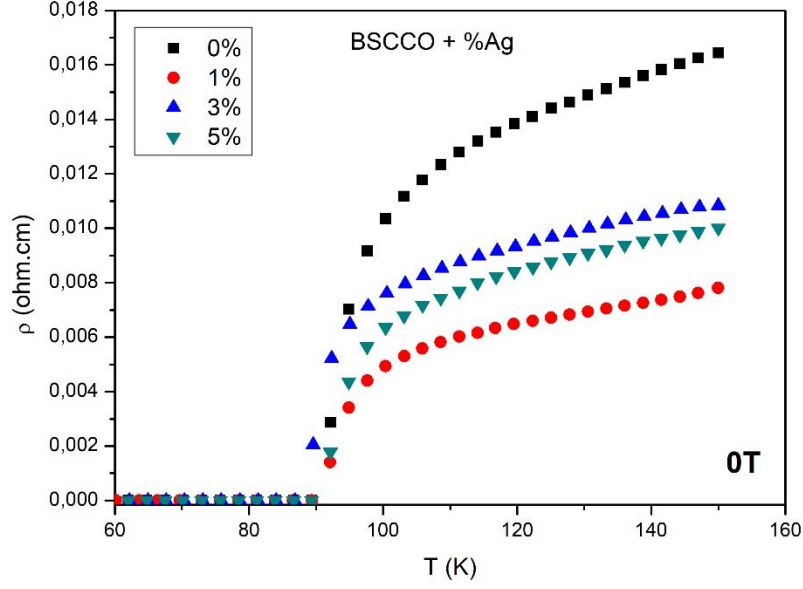
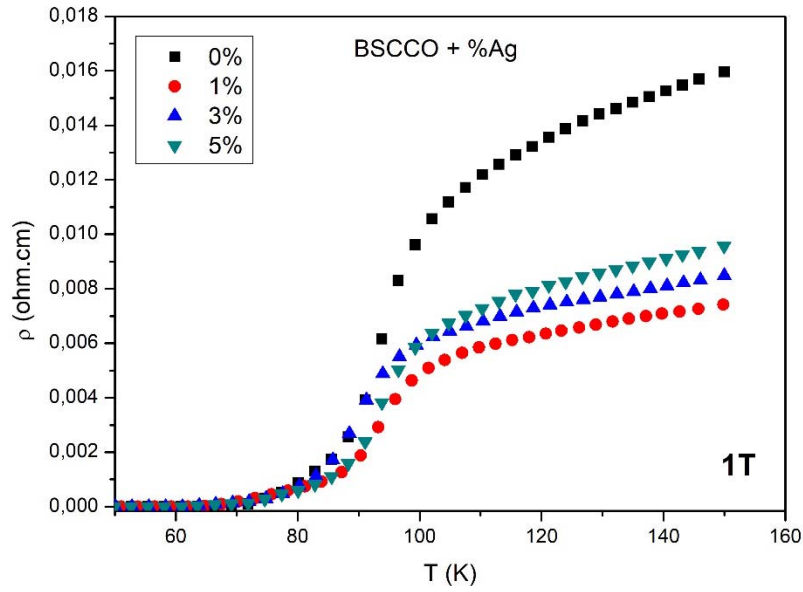
Şekil 4.28. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 6 T'da  $\rho - T$  grafiği



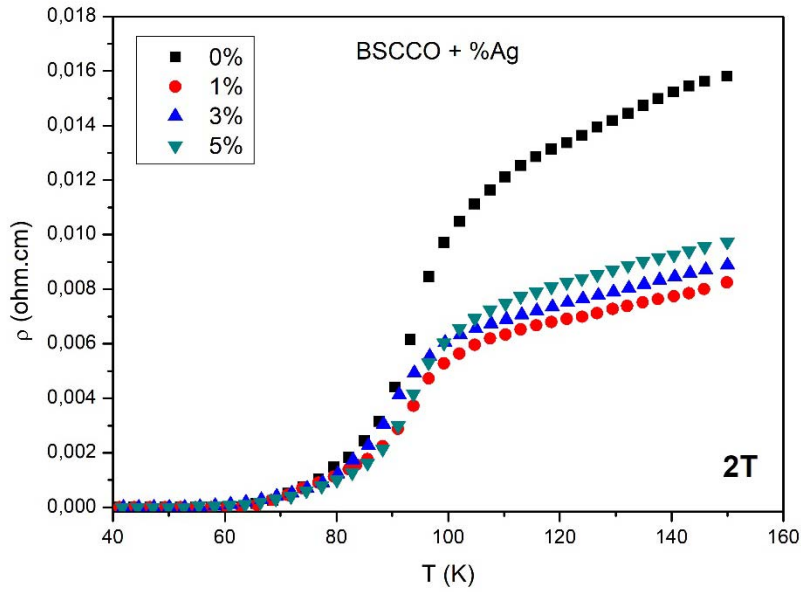
Şekil 4.29. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin farklı manyetik alanlar altında  $\rho - T$  grafiği

%Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 0, 1, 2, 4 ve 6T manyetik alan altındaki  $\rho - T$  grafikleri Şekil 4.30 – 34’te verilmiştir. Manyetik alanın 0, 1 ve 2T olduğu, durumlarda %1 Ag konsantrasyonlu örneğin kritik geçiş sıcaklıkları diğer örneklerle kıyasla daha yüksek değerler almıştır. Tüm örneklerde kritik geçiş sıcaklığının maksimum olduğu 94.3 K değeri ise %1 konsantrasyonlu örnekte manyetik alanın olmadığı durumda elde edilmiştir. Manyetik alanın olmadığı ve 1T olduğu durumlarda örneklerin kritik geçiş sıcaklıkları büyükten küçüğe doğru %1, 5, 0 ve 3 olarak sıralanmaktadır.



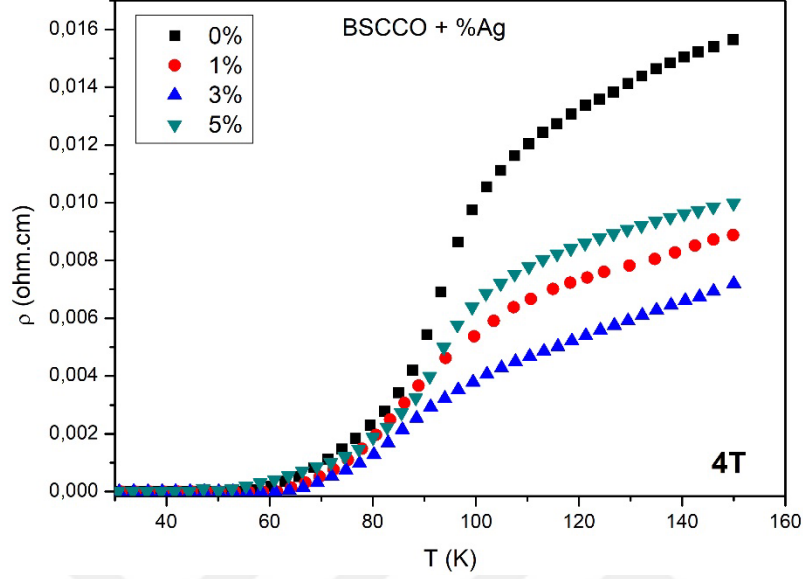
Şekil 4.30. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 0 T'da  $\rho - T$  grafiğiŞekil 4.31. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 1 T'da  $\rho - T$  grafiği

2T manyetik alan altında %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin kritik geçiş sıcaklıkları büyükten küçüğe doğru %1, 5, 3 ve 0 olarak sıralanmaktadır. Manyetik alanın artması ile birlikte %3 Ag katkılı örneğin kritik geçiş sıcaklığının katkısız örneğe kıyasla daha yüksek bir değer almaya başladığı gözlemlendi.

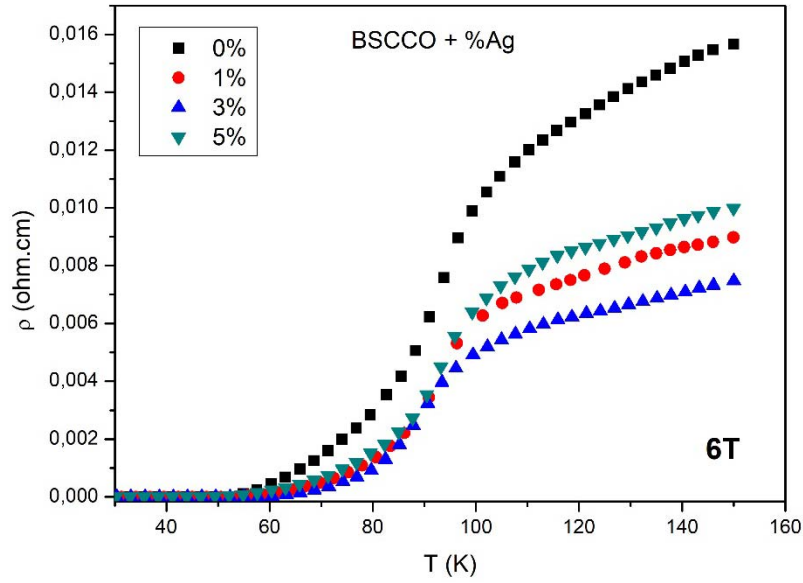


Şekil 4.32. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 2 T'da  $\rho - T$  grafiği

4 ve 6T manyetik alanlar altında tüm örneklerin kritik geçiş sıcaklıkları büyükten küçüğe doğru %3, 1, 5 ve 0 olarak sıralanmaktadır. Düşük manyetik alanlarda %1 Ag konsantrasyonlu örneğin kritik geçiş sıcaklığı en yüksek iken, 4 ve 6T manyetik alan altında yapılan ölçümlerde %3 Ag konsantrasyonuna sahip örneğin kritik geçiş sıcaklıklarının diğer örneklere kıyasla daha yüksek değerler aldığı gözlemlendi. Tüm örneklerin farklı manyetik alan altındaki  $T_{\text{onset}}$ ,  $T_c$  ve  $T_{\text{offset}}$  değerleri Çizelge 4.5'de topluca verilmektedir.



Şekil 4.33. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 4 T'da  $\rho - T$  grafiği

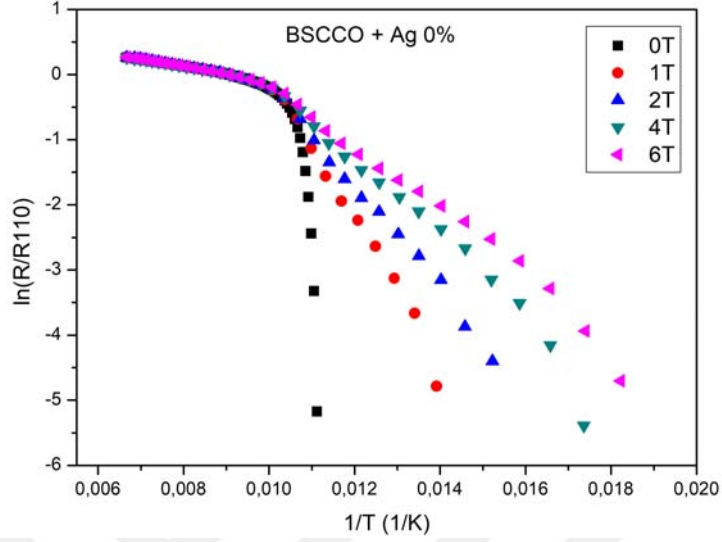


Şekil 4.34. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 6 T'da  $\rho - T$  grafiği

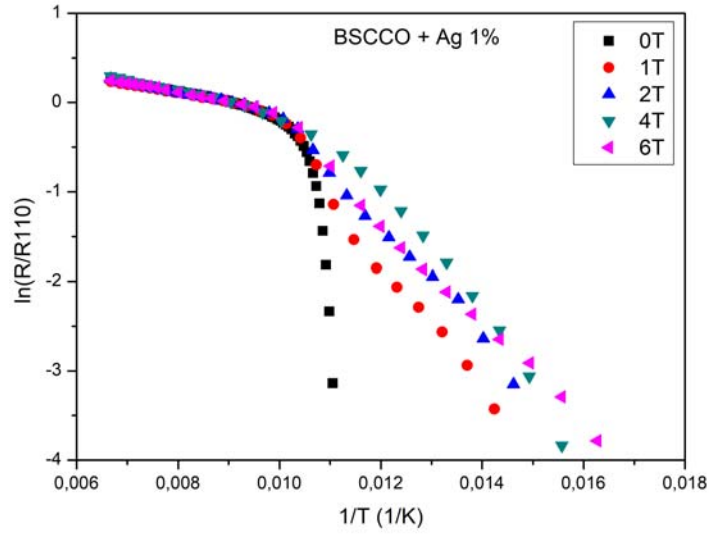
Çizelge 4.5. %Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  Örneklerinin  $T_{\text{onset}}$  ve  $T_{\text{offset}}$  Değerleri

		%0 Ag	%1 Ag	%3 Ag	%5 Ag
<b>0T</b>	$T_{\text{onset}}$	98.7	99.8	98.9	99.3
	$T_c$	93.2	94.3	91.2	93.7
	$T_{\text{offset}}$	89.9	91.6	88.5	91.0
<b>1T</b>	$T_{\text{onset}}$	98.1	99.2	98.4	98.2
	$T_c$	91.6	92.1	89.6	91.7
	$T_{\text{offset}}$	78.4	79.5	79.1	80.6
<b>2T</b>	$T_{\text{onset}}$	96.0	97.6	97.2	96.5
	$T_c$	87.7	90.5	87.9	90.2
	$T_{\text{offset}}$	72.4	73.9	73.1	75.1
<b>4T</b>	$T_{\text{onset}}$	94.3	95.2	95.9	95.0
	$T_c$	83.9	85.0	85.1	84.3
	$T_{\text{offset}}$	68.5	69.7	70.3	69.0
<b>6T</b>	$T_{\text{onset}}$	93.2	94.3	94.9	93.8
	$T_c$	81.0	82.3	83.0	81.7
	$T_{\text{offset}}$	63.0	64.3	65.4	63.6

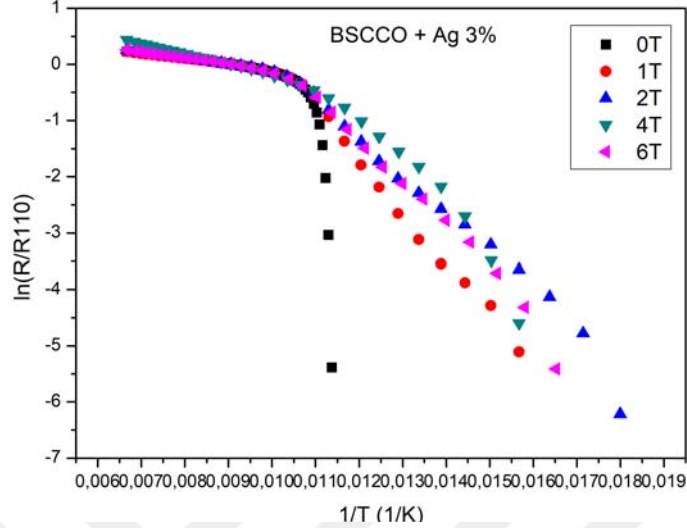
Örneklerin aktivasyon enerjilerinin hesaplanması için  $\ln(\rho/\rho_{110}) - 1/T$  grafikleri elde edilmiş olup Şekil 4.35 – 38’de sırasıyla verilmiştir.



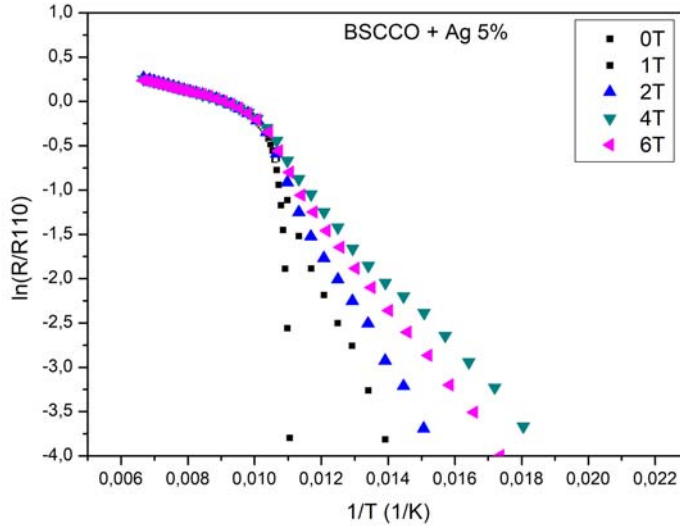
Şekil 4.35. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $\ln \rho - 1/T$  grafiği



Şekil 4.36. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $\ln \rho - 1/T$  grafiği



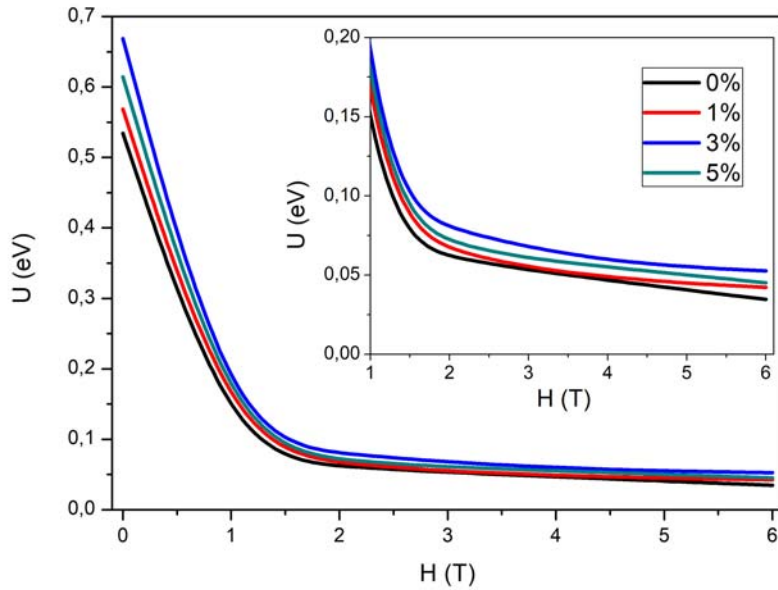
Şekil 4.37. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $\ln \rho - 1/T$  grafiği



Şekil 4.38. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0,925}\text{Na}_{0,075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $\ln \rho - 1/T$  grafiği

Örneklerin çivileme aktivasyon enerjileri Şekil 4.39'da verilmiştir. Çivileme aktivasyon enerjileri manyetik alanın artması ile eksponansiyel olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Tüm manyetik alanlarda yapılan hesaplamalarda Ag içerikli örnekler saf örneğe göre daha yüksek çivileme aktivasyon enerjisine sahiptir.

Buradan da eklenen Ag'nin tanecikler arası sınır bölgelerine yerleşerek etkili çivileme merkezleri oluşturduğu sonucuna varabiliriz. Manyetik alanın olmadığı durumda çivileme aktivasyon enerjileri büyükten küçüğe doğru %3 konsantrasyon için 0.668, %5 için 0.614, %1 için 0.569 ve %0 için 0.534 eV olarak hesaplanmıştır. 1T manyetik alan altında hesaplanan çivileme aktivasyon enerjileri büyükten küçüğe doğru %3 konsantrasyon için 0.102, %5 için 0.099, %1 için 0.093 ve %0 için 0.078 eV'tur. 2T manyetik alan altında hesaplanan çivileme aktivasyon enerjileri büyükten küçüğe doğru %3 konsantrasyon için 0.077, %5 için 0.066, %1 için 0.062 ve %0 için 0.060 eV'tur. 4T manyetik alan altında hesaplanan çivileme aktivasyon enerjileri büyükten küçüğe doğru %3 konsantrasyon için 0.057, %5 için 0.055, %1 için 0.048 ve %0 için 0.047 eV'tur. 6T manyetik alan altında hesaplanan çivileme aktivasyon enerjileri büyükten küçüğe doğru %3 konsantrasyon için 0.053, %5 için 0.045, %1 için 0.042 ve %0 için 0.035 eV'tur.



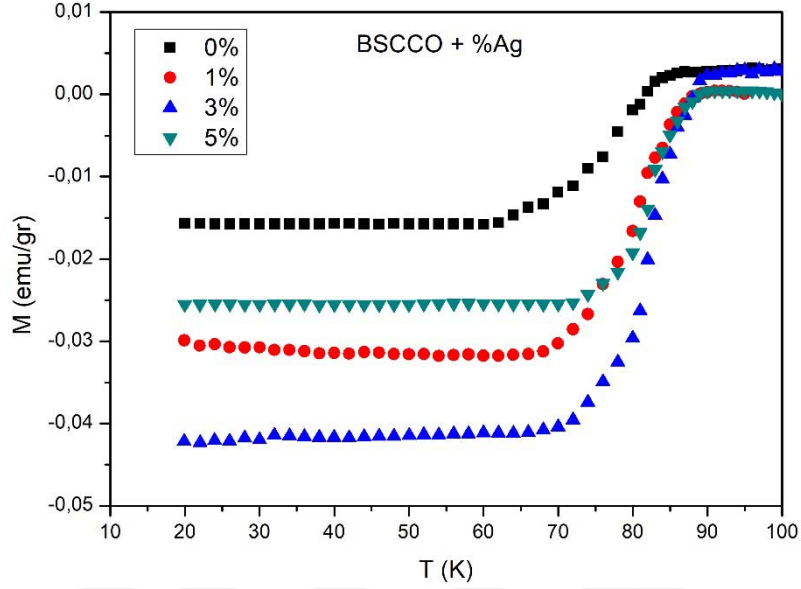
Şekil 4.39. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin çivileme aktivasyon enerjileri

#### 4.5. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin DC-Manyetik Ölçüm Analizleri

##### 4.5.1. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin Sıcaklığa Bağlı Manyetizasyon (M – T) Ölçümleri

%Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 100 Oe alan altında ve 0 ile 100 K sıcaklık arasında alınan manyetizasyon – sıcaklık ölçümleri Şekil 4.40'ta verilmiştir. Grafik incelendiğinde örnekler normal durumda iken 0.005 emu/gr gibi düşük bir manyetizasyon sinyali gösterdikten sonra süperiletkenlik duruma geçerek diyamanyetik sinyal üretmeye başlamışlardır. Örneklerin  $T_{c.onset}$  sıcaklık değerleri %0 Ag konsantrasyonu için 85.1 K, %1 için 87.8 K, %3 için 89.8 K ve %5 için 88.8 K olarak gözlenmiştir. Ayrıca tüm örnekler sıcaklığın düşmesi ile birlikte belirli manyetizasyon değerlerinde doyuma ulaşmıştır. Doyum değerleri %0 Ag konsantrasyonu için -0.015 emu/gr değerinde iken gümüş konsantrasyonunun artması ile birlikte %1 konsantrasyonunda -0.03 emu/gr, %3'te ise -0.042 değerine kadar düşmektedir. Diyamanyetik sinyalin doyum değerlerinin düşmesi, veya mutlak değerce artması, malzeme içerisindeki süperiletkenlik hacmin arttığını göstermektedir. Buna göre, %3 Ag konsantrasyonu doyum değerinin yüksekliği açısından optimum katkılama miktarı olarak kabul edilebilir. Örneklerin M-T eğrisinden elde edilen  $T_{c.onset}$  ve  $T_{c.offset}$  değerleri Çizelge 4.6'da paylaşılmıştır.





Şekil 4.40. %Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin sıcaklığa bağlı manyetizasyon grafiği

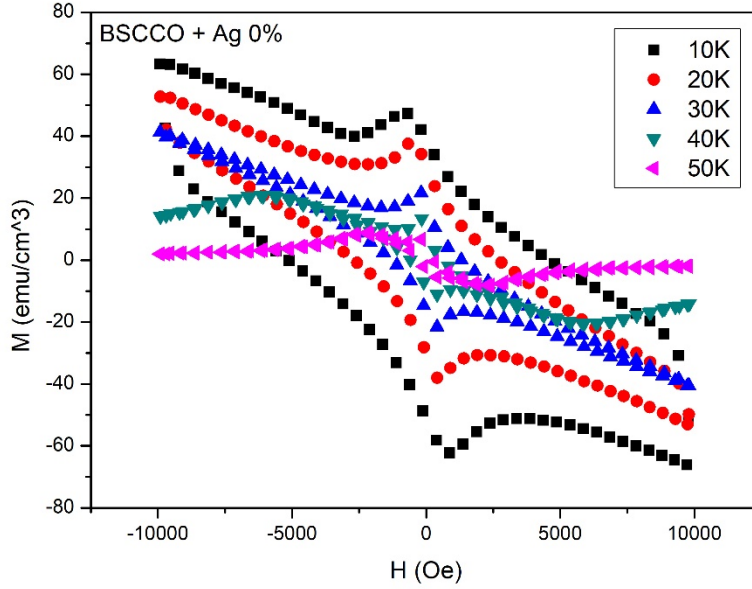
Çizelge 4.6. %Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $T_{c,onset}$ ,  $T_{c,offset}$ ,  $\Delta T$  ve saturasyon değerleri

BSCCO + %Ag	$T_{c,onset}$ (K)	$T_{c,offset}$ (K)	$\Delta T$ (K)	Saturasyon değerleri (emu/gr)
%0	85.1	64.1	21	-0.015
%1	87.8	72.2	15.6	-0.03
%3	89.8	72.4	17.4	-0.042
%5	88.8	72.5	16.3	-0.025

#### 4.5.2. %Ag Katkılı $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$ Örneklerinin Manyetizasyon – Manyetik Alan ( $M - H$ ) Ölçümleri

%0, 1, 3 ve 5 Ag Katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin manyetizasyon – manyetik alan ( $M - H$ ) ölçümleri 10, 20, 30, 40 ve 50 K

sıcaklıklarda ve -10 ile +10 kOe dış manyetik alan altında yapılmıştır. Katkısız örneğin  $M - H$  eğrileri Şekil 4.41’de verilmiştir.



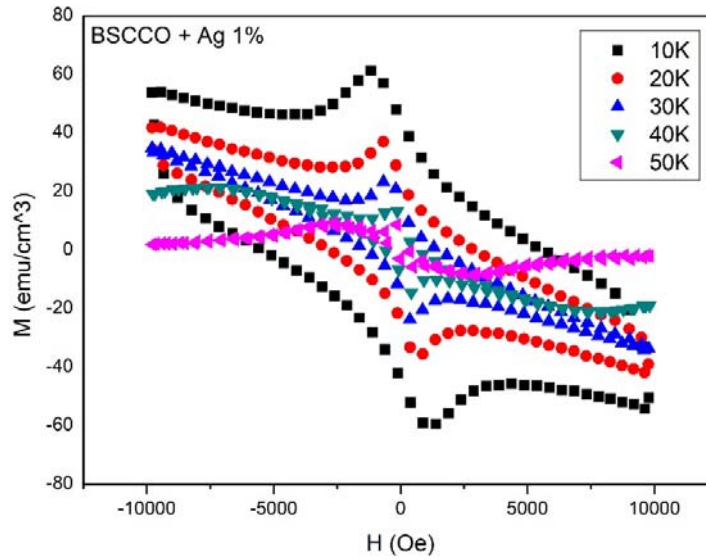
Şekil 4.41. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M - H$  eğrileri

Şekil incelendiğinde katkısız örnek 10, 20 ve 30 K sıcaklıklarda II. Tip süperiletkenlere özgü histerezis davranış sergilemiştir. Bu eğrilerin alanları sıcaklıkla birlikte azalmış ve 50 K’de ancak  $\pm 2$  kOe aralığında histerezis davranışı göstermiştir. Manyetizasyon sinyallerinin doğrusallıktan saptığı ve vortekslerin oluşmaya başladığı alan değerine düşük manyetik kritik alan ( $H_{c1}$ ) denir. Katkısız örneğin  $H_{c1}$  değerleri 10 K sıcaklıkta 877.4 Oe iken 50 K’de 100.4 Oe’e kadar düşmektedir. Görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile birlikte  $H_{c1}$  değerleri azalmıştır. 0 alan altındaki manyetizasyon değerleri örneklerin akı tuzaklama yeteneklerinin bir ölçüsü olarak kabul edilir. Bu değer kalıcı mıknatıslanma değeri olarak da bilinir ve  $M_r$  olarak ifade edilir. Buna göre katkısız örneğin 0 alan altındaki manyetizasyon değerleri 10 K için 37.9  $\text{emu/cm}^3$  iken 50 K’de 4.9  $\text{emu/cm}^3$ ’e düşmüştür. Buradan da  $M_r$  değerlerinin de sıcaklığın artması ile birlikte azaldığı

görülmüştür. Katkisız örneğe ait farklı sıcaklıklardaki  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri Çizelge 4.7’te verilmiştir.

Çizelge 4.7. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

BSCCO + %0 Ag	10 K	20 K	30 K	40 K	50 K
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	37.9	30.1	17.2	10.0	4.9
$H_{c1}$ (Oe)	877.4	502.0	302.0	203.1	100.4

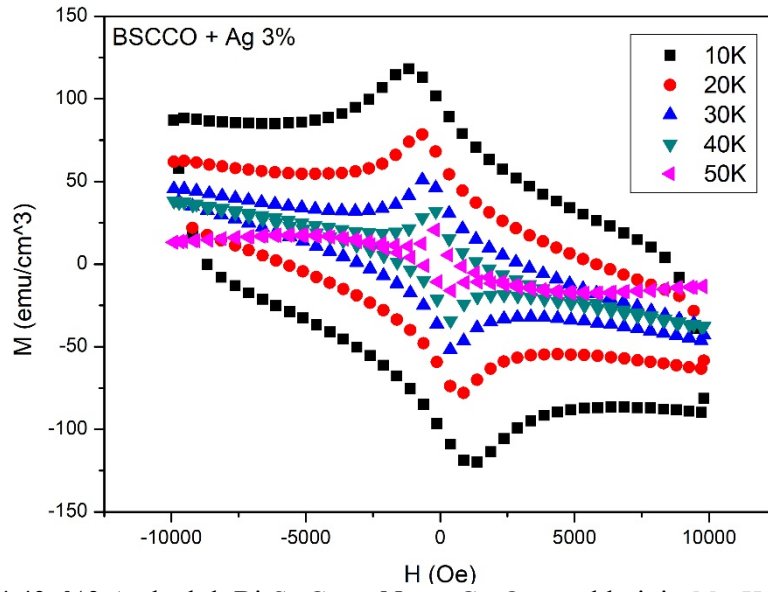


Şekil 4.42. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M - H$  eğrileri

%1 Ag katkılı örnekte sıcaklığın artması ile birlikte düşük manyetik kritik alan ( $H_{c1}$ ) ve kalıcı mıknatıslanma ( $M_r$ ) değerlerinin azaldığı görülmektedir.  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri sırasıyla 10 K de 44.8 emu/cm<sup>3</sup> ve 1155.2 Oe iken 50 K de bu değerler 5.0 emu/cm<sup>3</sup> ve 173.9 Oe’e kadar düşmüştür. %1 Ag konsantrasyonlu örneğe ait  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri Çizelge 4.8’te verilmiştir.

Çizelge 4.8. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

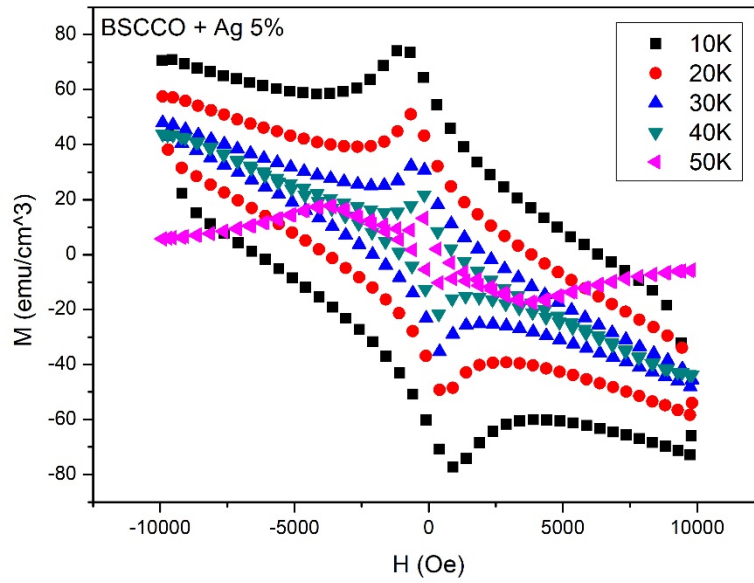
BSCCO + %1 Ag	10 K	20 K	30 K	40 K	50 K
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	44.8	24.7	15.5	9.5	5.0
$H_{c1}$ (Oe)	1155.2	676.2	463.7	326.2	173.9

Şekil 4.43. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M - H$  eğrileri

%3 Ag katkılı örnekte sıcaklığın artması ile birlikte düşük manyetik kritik alan ( $H_{c1}$ ) ve kalıcı mıknatıslanma ( $M_r$ ) değerlerinin azaldığı görülmektedir.  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri sırasıyla 10 K'de 97.7 emu/cm<sup>3</sup> ve 1194.7 Oe iken 50 K'de bu değerler 14.5 emu/cm<sup>3</sup> ve 206.5 Oe'e kadar düşmüştür. %3 Ag konsantrasyonlu örneğe ait  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

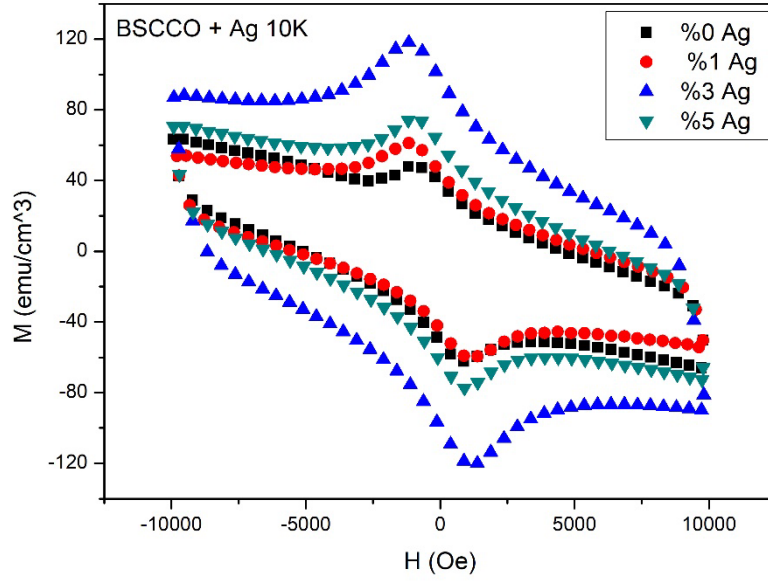
BSCCO + %3 Ag	10 K	20 K	30 K	40 K	50 K
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	97.7	63.0	40.4	25.6	14.5
$H_{c1}$ (Oe)	1194.7	774.0	480.7	288.0	206.5

Şekil 4.44. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M - H$  eğrileri

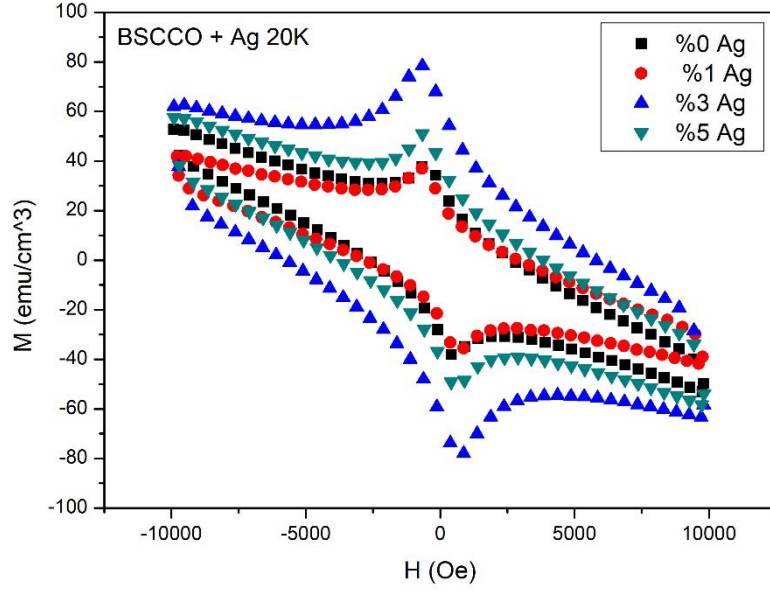
%5 Ag katkılı örnekte sıcaklığın artması ile birlikte düşük manyetik kritik alan ( $H_{c1}$ ) ve kalıcı mıknatıslanma ( $M_r$ ) değerlerinin azaldığı görülmektedir.  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri sırasıyla 10 K'de 60.4 emu/cm<sup>3</sup> ve 980.7 Oe iken 50 K'de bu değerler 9.1 emu/cm<sup>3</sup> ve 185.1 Oe'e kadar düşmüştür. %5 Ag konsantrasyonlu örneğe ait  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

BSCCO + %5 Ag	10 K	20 K	30 K	40 K	50 K
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	60.4	39.3	25.9	16.2	9.1
$H_{c1}$ (Oe)	980.7	603.1	402.6	282.1	185.1

Şekil 4.45. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 10K'de  $M - H$  eğrileriÇizelge 4.11. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 10K'de  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

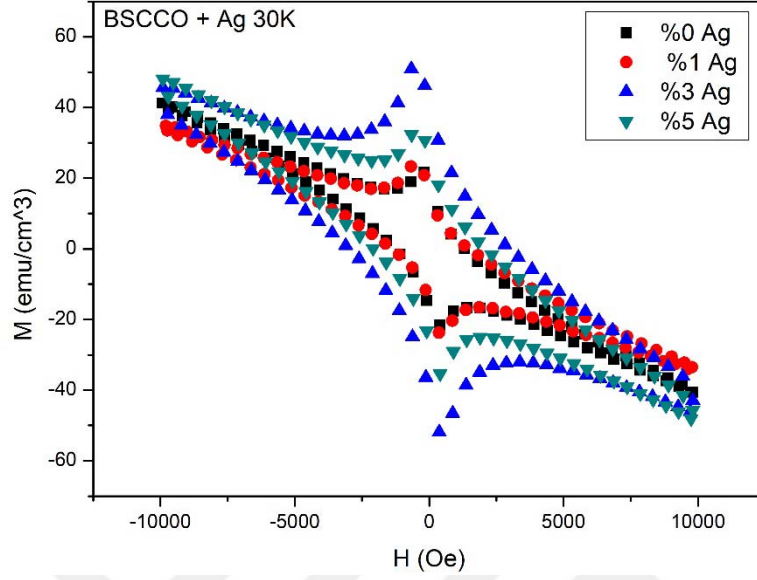
10 K	%0	%1	%3	%5
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	37.9	44.8	97.7	60.4
$H_{c1}$ (Oe)	877.4	1155.2	1194.7	980.7



Şekil 4.46. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 20K'de  $M - H$  eğrileri

Çizelge 4.12. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 20K'de  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

20 K	%0	%1	%3	%5
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	30.1	24.7	63.0	39.3
$H_{c1}$ (Oe)	502.0	676.2	774.0	603.1

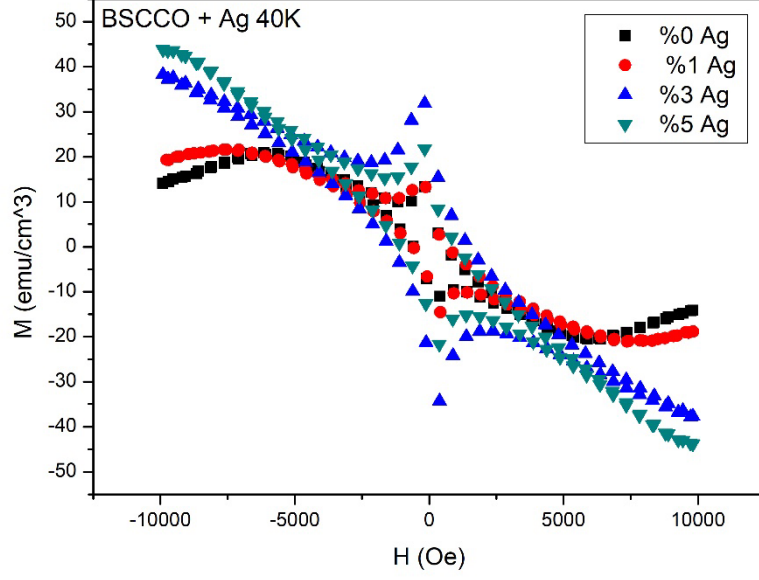


Şekil 4.47. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 30K'de  $M - H$  eğrileri

Çizelge 4.13. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 30K'de  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

30 K	%0	%1	%3	%5
$M_r$ ( $\text{emu/cm}^3$ )	17.2	15.5	40.4	25.9
$H_{c1}$ (Oe)	302.0	463.7	480.7	402.6

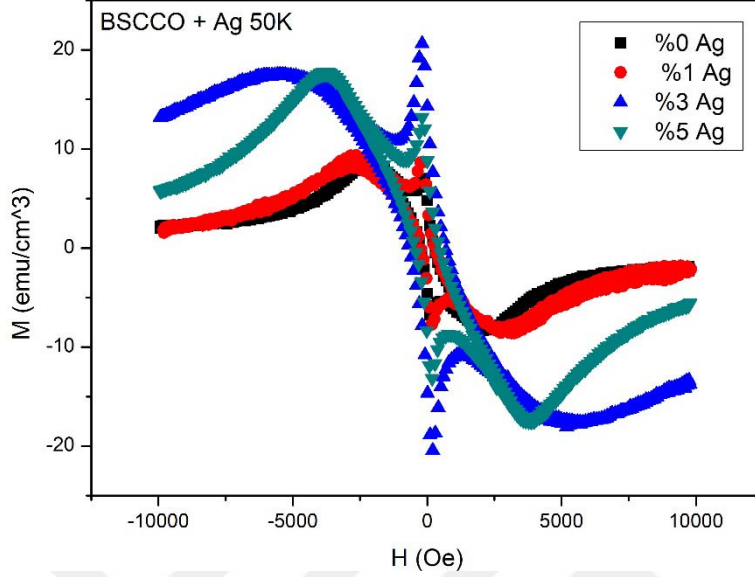




Şekil 4.48. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 40K'de  $M - H$  eğrileri

Çizelge 4.14. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 40K'de  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

40 K	%0	%1	%3	%5
$M_r$ ( $\text{emu/cm}^3$ )	10.0	9.5	25.6	16.2
$H_{c1}$ (Oe)	203.1	326.2	288.0	282.1



Şekil 4.49. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 50K'de  $M - H$  eğrileri

Çizelge 4.15. %Ag katkıli  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 50K'de  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerleri

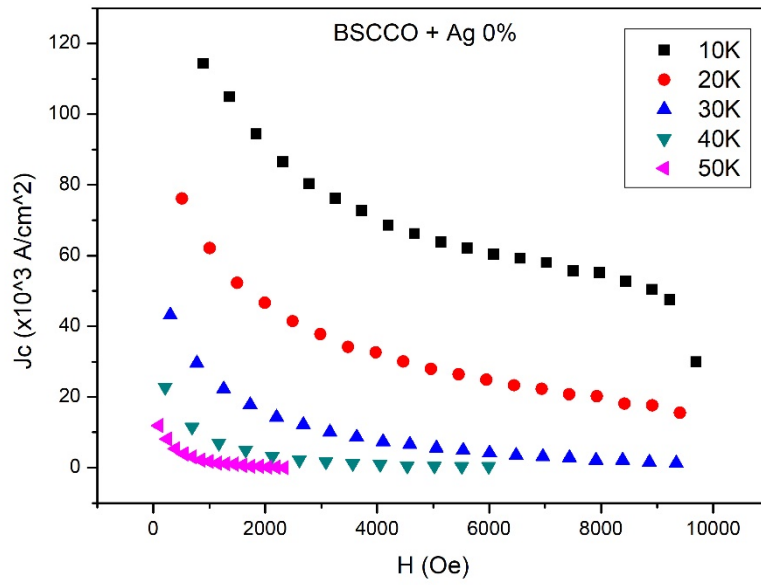
50 K	%0	%1	%3	%5
$M_r$ (emu/cm <sup>3</sup> )	4.9	5.0	14.5	9.1
$H_{c1}$ (Oe)	100.4	173.9	206.5	185.1

Tüm örneklerin 10, 20, 30, 40 ve 50 K sıcaklıklardaki  $M - H$  grafikleri incelendiğinde %3 konsantrasyona sahip örneğin diğer örneklere kıyasla tüm sıcaklıklarda daha büyük  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiş olup Çizelge 4.11-15'de sırasıyla verilmiştir. Buradan da %3 Ag konsantrasyonundaki örneğin akı çivileme yeteneğinin diğer örneklere göre daha yüksek olduğu sonucuna varabiliriz.

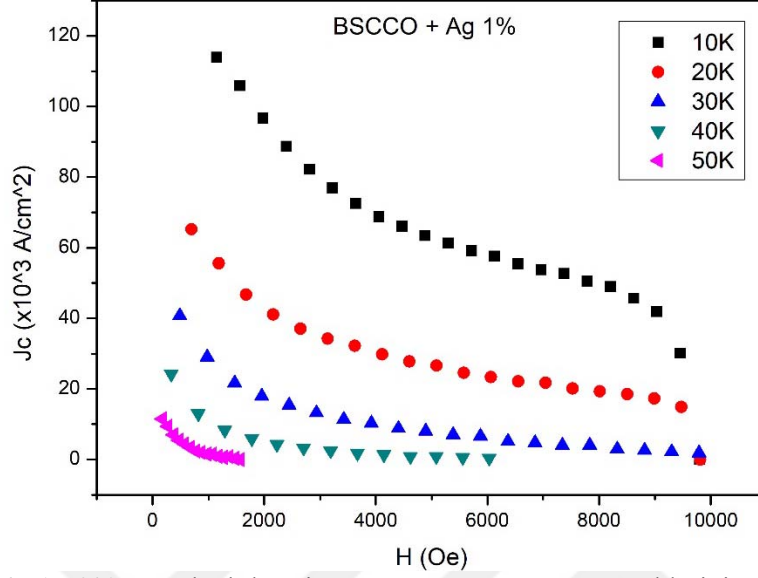
Bean modeli kullanılarak  $M-H$  eğrilerinden örneklerin kritik akım yoğunlukları hesaplanabilir. Bean modeline göre:

$$J_c = 30 \left( \frac{\Delta M}{d} \right)$$

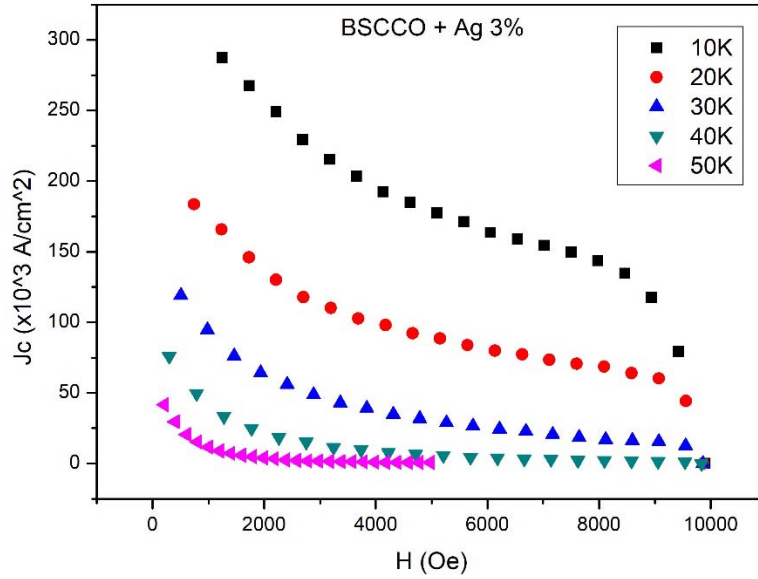
Burada  $J_c$  kritik akım yoğunluğuna,  $d$  örneğin çapına,  $\Delta M$  ise  $\Delta M = M_+ - M_-$  değerine eşittir. %Ag katkılı örneklerin  $J_c - H$  grafikleri Şekil 4.50 – 4.53'de sırasıyla verilmiştir.



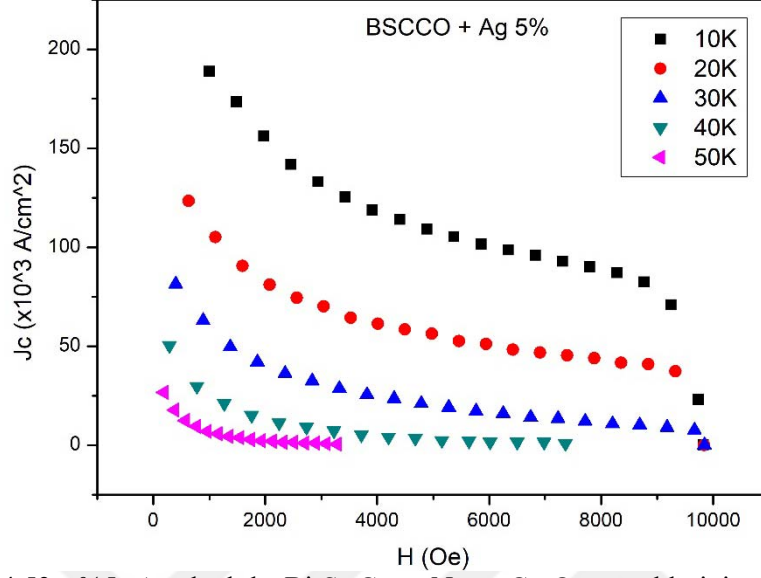
Şekil 4.50. %0 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği



Şekil 4.51. %1 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği

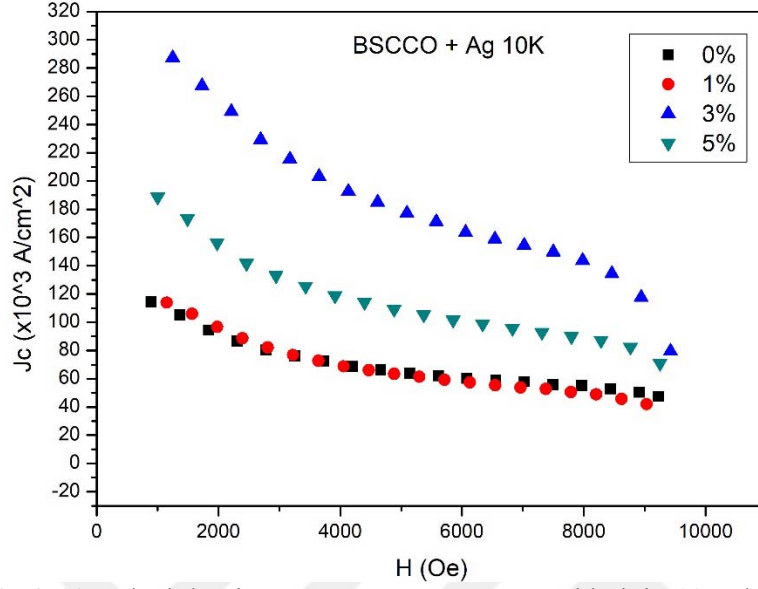


Şekil 4.52. %3 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği

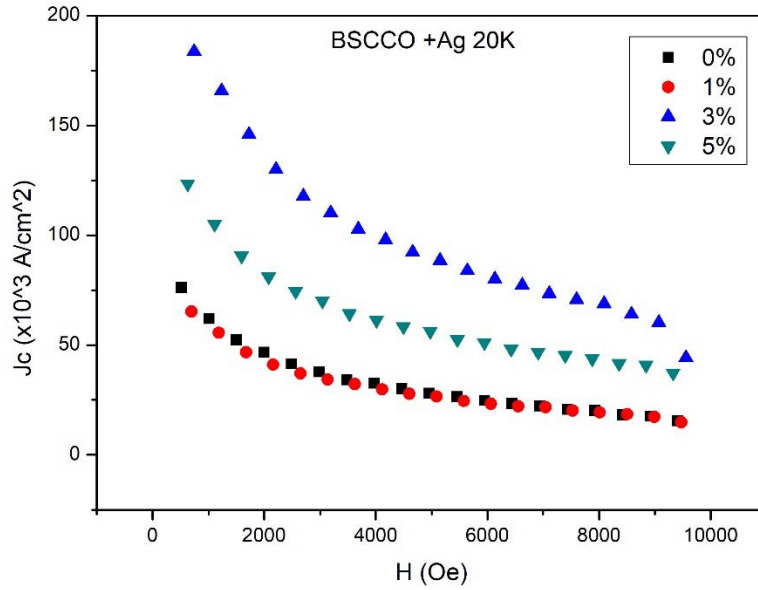


Şekil 4.53. %5 Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin kritik akım yoğunluğu grafiği

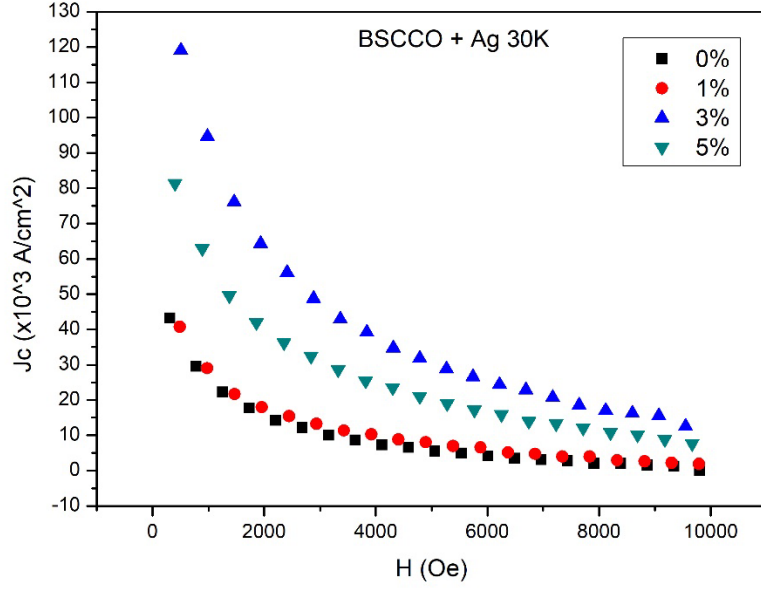
Farklı konsantrasyonlardaki örneklerin kritik akım yoğunluklarının sıcaklık ve manyetik alanın artması ile birlikte beklenildiği gibi düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.



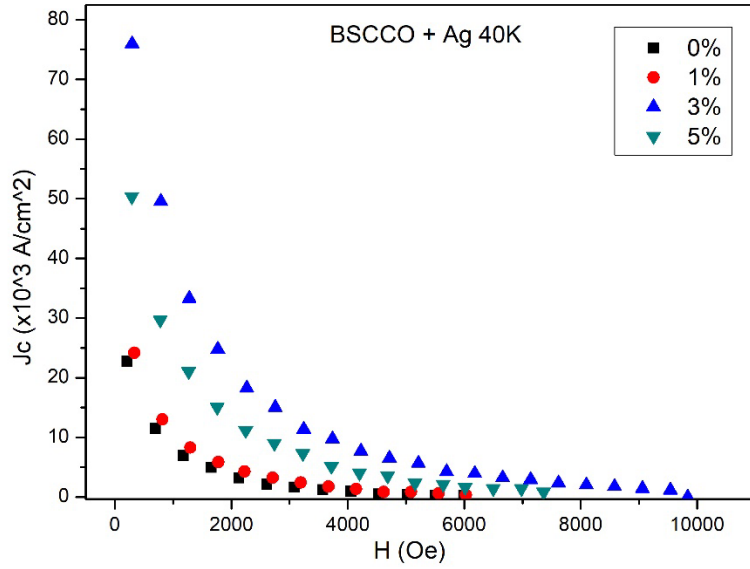
Şekil 4.54. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 10K'de kritik akım yoğunluğu grafiği



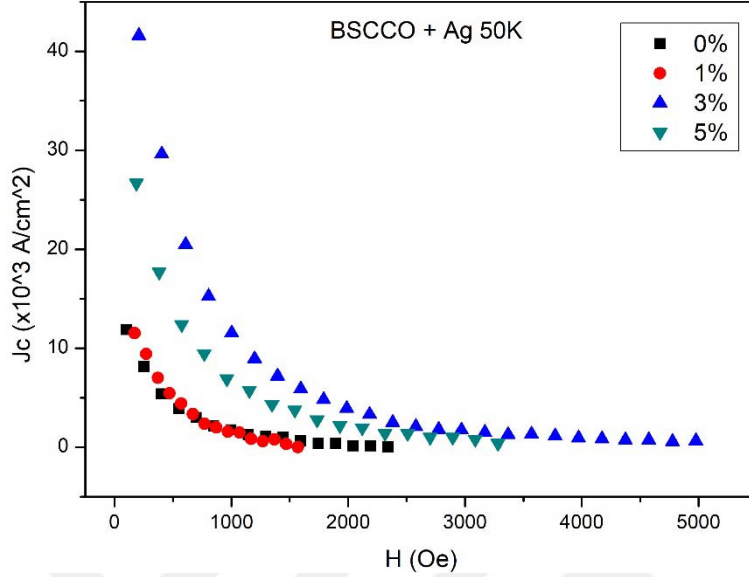
Şekil 4.55. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 20K'de kritik akım yoğunluğu grafiği



Şekil 4.56. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 30K'de kritik akım yoğunluğu grafiği



Şekil 4.57. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 40K'de kritik akım yoğunluğu grafiği



Şekil 4.58. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 50K'de kritik akım yoğunluğu grafiği

Farklı sıcaklık ve manyetik alanda yapılan kritik akım yoğunluğu hesaplamalarına göre tüm sıcaklıklarda tüm örneklerin  $J_c$  değerleri beklenildiği gibi manyetik alanın artmasıyla birlikte azalmıştır. Hesaplanan verilere göre tüm örneklerde sıcaklığın artmasıyla birlikte kritik akım yoğunluğu değerleri azalmaktadır. Tüm sıcaklıklarda (10, 20, 30, 40 ve 50 K) %3 konsantrasyonlu örneğin  $J_c$  değerleri diğer örneklere kıyasla daha yüksek sonuçlar vermiştir. Katkısız ve %1 Ag katkılı örneklerde ise kritik akım yoğunlukları birbirine yakın değerler almaktadır. Örneklerin manyetik alanın sıfır olduğu durumda konsantrasyon ve sıcaklığa bağlı maksimum  $J_c$  değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.



Çizelge 4.16. %Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  örneklerinin 10, 20, 30, 40 ve 50 K'de 0 Oe'te kritik akım yoğunlukları ( $J_c$  ( $\times 10^3$  A/cm<sup>2</sup>))

	<b>% 0 Ag</b>	<b>%1 Ag</b>	<b>%3 Ag</b>	<b>%5 Ag</b>
<b>10 K</b>	114.3	114.5	292.7	191.5
<b>20 K</b>	77.4	62.5	186.6	122.6
<b>30 K</b>	43.9	38.9	119.5	80.6
<b>40 K</b>	25.0	23.2	75.3	50.4
<b>50 K</b>	12.3	11.5	42.8	28.0

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada %0, 1, 3 ve 5 konsantrasyonlarda Ag katkılı  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  süperiletken kristali,  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CuO}$  ve Ag başlangıç tozlarından sol-gel yöntemi kullanılarak üretildi. Daha sonra elde edilen tozlar 200 MPa basınç altında presslenme işlemine tabi tutularak silindirik bir hale getirildiler. Fiber olarak isimlendirilen bu örnekler LFZ yöntemine tabi tutularak taneciklerin yönlendirilmesi sağlanmıştır.

XRD desenleri tüm örneklerin yapısının çoğunlukla Bi-2212 fazından oluştuğunu göstermiştir. Ayrıca Ag konsantrasyonunun artması ile birlikte  $38.2^\circ$  açı değerinde gümüş piklerinin şiddeti artmıştır.

SEM mikrografikleri ve EDS sonuçları Bi-2212 fazının baskın olduğunu desteklemektedir. Bu fazın yanında Bi ve Sr içermeyen  $\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.8}\text{Cu}_{2.6}\text{O}_{6+y}$ ,  $\text{Sr}_3\text{CaCu}_6\text{O}_y$ ,  $\text{SrCaCu}_2\text{O}_y$  ve %100 Ag içerikli bölgelere rastlanılmıştır.

Hazırlanan örneklerin farklı manyetik alanlar altındaki direnç ölçümleri 4 nokta yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Tüm örneklerde manyetik alanın artması ile birlikte  $T_{c.onset}$  ve  $T_{c.offset}$  değerlerinde azalma gözlenmiştir. Örneğin %3 Ag konsantrasyonu için  $T_{c.offset}$  değeri 0T'de 88.5 K iken 6T'de 65.4 K'ye kadar düşmektedir.

Örneklerin aktivasyon enerjileri  $\ln(\rho/\rho_{110})-1/T$  grafiklerinin eğimlerinin Boltzmann sabitinin çarpılması ile hesaplanmıştır. %3 Ag konsantrasyonunun aktivasyon enerjisi her manyetik alan değerinde diğer örneklerden daha yüksek bulunmuştur. Buradan optimum Ag konsantrasyonunun  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.925}\text{Na}_{0.075}\text{Cu}_2\text{O}_y$  sistemi için %3 civarında olduğu söylenebilir.

$M-T$  sonuçları Ag katkılanmasının malzemenin süperiletkenlik kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) değerini yaklaşık 4 K kadar yükselttiği,  $M-H$  sonuçları da manyetik histerezis döngüsü alanının arttırdığı göstermiştir. Örneklerin  $M-H$  grafikleri incelendiğinde %3 konsantrasyona sahip örneğin diğer örneklere kıyasla tüm sıcaklıklarda daha büyük  $M_r$  ve  $H_{c1}$  değerlerine sahip olduğu gözlemlendi. Buradan

da %3 Ag konsantrasyonundaki örneğin akı çivileme yeteneğinin diğer örneklere göre daha yüksek olduğu sonucuna varıldı.

Örneklerin kritik akım yoğunlukları sıcaklık ve manyetik alanın artması ile birlikte azalış göstermiştir. Tüm sıcaklıklarda %3 konsantrasyonlu örneğin  $J_c$  değerleri diğer örneklere kıyasla daha yüksek sonuçlar vermiştir. Katkılama ile birlikte malzeme içerisindeki tanecikler arası bölgelere Ag yerleşerek kritik akım yoğunlukları değerlerini artırmış ve %3 konsantrasyonda ise maksimum değerine ulaşmıştır.

Bundan sonraki süreçte örneklerin mikro-yapı hakkında daha ayrıntılı bilgiler vermesi açısından TEM ölçümleri yapılabilir. Teknolojik uygulamalarda önem arzemesi sebebiyle örneklerin mikro-sertlik ölçümleri yapılarak mekanik özelliklerinin araştırılması yapılabilir. Örneklerin akım taşıma kapasiteleri Bean modelinde olduğu gibi teorik olarak değil de deneysel olarak belirlenmesine yönelik ölçümler gerçekleştirilebilir. Bunlara ek olarak, örneklerin termoelektrik güç, termal iletkenlik gibi ısısal özellikleri ölçülebilir. Bu ölçülen niceliklerden “figure of merit” dediğimiz ZT parametresi saptanarak termoelektrik verimliliği hesaplanabilir.

## KAYNAKLAR

- Bean, C.P., 1964. Magnetization of high field superconductors. R. Mod. Phys., 36, 31.
- Bednorz, J.G., Muller, K.A., 1986. Possible high  $T_c$  superconductivity in the Ba-La-Cu-O system. Z. Phys. B, 64 (2), 189–193.
- Ergin, İ., 2019. Cs katkısının BSCCO süperiletkeninin fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 61s.
- Fossheim, K., Sudbo, A., 2004. Superconductivity Physics and Applications, John Wiley & Sons Ltd, England, 427s.
- Gün, E., Özkurt, B., Özçelik, B., Madre, M.A., Sotelo, A. ve Diez, J.C., 2017. Physical, electrical and magnetic properties of Cr doped  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_y$  (Bi-2212) superconductors prepared by laser floating zone technique. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, DOI 10.1007/s10854-017-7145-6.
- Gündoğmuş, H., Özçelik, B., Özkurt, B., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2012. Physical, mechanical and magnetic properties of the Yb-substituted  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_y$  textured superconductor. J Supercond Nov Magn, 26:111-115s.
- Gündoğmuş, H., Özçelik, B., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2012. Effect of Yb substitution on thermally activated flux creep in the  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_{2-x}\text{Yb}_x\text{O}_y$  superconductors. J Mater Sci: Mater Electron, 24:2568-2575s.
- Gündoğmuş, H., 2013. Lazer tekniği ile üretilen katkılı BSCCO süperiletkenlerin fiziksel özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Adana, 134s.
- Gündoğmuş, H., Özçelik, B., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2016. Thermal conductivity and thermoelectric power of Yb-substituted Bi-2212 superconductor. Journal of Physics: Conference Series, 667:012001.

- Gürsul, M., 2013. Na katkılı BSCCO süperiletkeninin aktivasyon enerjisine sinterleme sıcaklığı etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 135s. superconductor prepared by a polymer method. J Supercond Magn, 28:1913-1924s.
- Gürsul, M., Ekicibil, A., Özçelik, B., Madre, M.A. ve Sotelo, A., 2015. Sintering effects in Na-substituted Bi-(2212) superconductor prepared by a polymer method. J Supercond Nov Magn, 28:1913-1924s.
- Gürsul, M., 2019. FeSe tabanlı kristallerin üretimi, karakterizasyonu ve fiziksel özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Adana, 225s.
- Josephson, B.D., 1962. Possible new effects in superconductive tunneling. Phys. Letters, 1251.
- Kahraman, F., Sotelo, A., Madre, M.A., Diez, J.C., Özkurt, B. ve Rasekh, Sh., 2015. Relationship between microstructure and superconducting properties in hot-pressed Bi-2212/Ag ceramic composites. Ceramics International, 41(B):14924-14929s.
- Kaya, C., Özçelik, B., Özkurt, B., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2013. Effect of Ce substitution on structural and superconducting properties of Bi-2212 system. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 24:1580-1586s.
- Kır, M.E., Özkurt, B. ve AYTEKİN, M.E., 2016. The effect of K-na co-doping on the formation and particle size of Bi-2212 phase. Physica B: Condensed Matter, 490:79-85s.
- Lennikov, V., Özkurt, B., Angurel, L.A., Sotelo, A., Özçelik, B. ve Fuente, G.F., 2012. Microstructure and transport properties of Bi-2212 prepared by CO<sub>2</sub> laser line scanning. J Supercond Nov Magn, 26:947-952s.
- Meissner, W., Ochsenfeld, R., 1933. Ein neuer Effekt bei eintritt der Supraleitfähigkeit. Naturwissenschaften, 21, 787-788s.
- Mourachkine, A., 2004. Room-Temperature Superconductivity, First Edition, Cambridge International Science Publishing, Cambridge, UK, 310s.

- Onnes, H. K., 1911. The superconductivity of Mercury. Leiden Comm., 120b, 122b, 124c.
- Nane, O., Özçelik, B. ve Abukay, D., 2013. The effects of the post-annealing temperature on the growth mechanism of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  thin films produced on MgO (100) single crystal substrates bu pulsed laser deposition (PLD). Journal of Alloys and Compounds, 566:175-179s.
- Nane, O., 2013. Atımlı lazer yığılımı (PLD) tekniği kullanılarak üretilen BSCCO ince filmlerin fiziksel özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Adana 134s.
- Nane, O., Özçelik, B. ve Abukay, D., 2015. The effects of the post-annealing time on the growth mechanism of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  thin films produced on MgO (100) single crystal substrates bu pulsed laser deposition (PLD). Ceramics International, 42:5778-5784s.
- Nane, O., Özçelik, B., Amaveda, H., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2016. Improvement of structural and superconducting properties of Bi-2212 textured rods by substituting sodium. Ceramics International, 42:8473-8477s.
- Nane, O., Özçelik, Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2016. Effect of Na substitution on superconducting properties of Bi-2212 ceramics prepared by sinter-forged process. Journal of the european ceramic society, 37:1007-1012s.
- Nane, O. ve Özçelik, B., 2016. Effect of V substitution on vortex pinning and superconducting properties of Bi-2212 superconductor. J Mater Sci: Mater Electron, 27:7633-7639s.
- Özabacı, M., 2013. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi.
- Özaslan, A., Özçelik, B., Özkurt, B., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2013. Structural, electrical, and magnetic properties of the Co-substituted Bi-2212 system textured by laser floating zone technique. J Supercond Nov Magn, 27:53-59s.

- Özçelik, B., Özkurt, B., Yakıncı, M.E., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2012. Relationship between annealing time and magnetic properties in Bi-2212 textured composites. *J Supercond Nov Magn*, 26:873–878s.
- Özçelik, B., Kaya, C., Gündoğmuş, H., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2013. Effect of Ce substitution on the magnetoresistivity and flux pinning energy of the  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$  superconductors. *J Low Temp Phys*, 174:136-147s.
- Özçelik, B., Gürsul, M., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2014. Effect of K substitution on structural, electrical, and magnetic properties of Bi-2212 system. *J Mater Sci: Mater Electron*, 25:4476-4482s.
- Özçelik, B., Yalaz, E., Yakıncı, M.E., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2014. The effect of K substitution on magnetoresistivity and activation energy of Bi-2212 system. *J Supercond Nov Magn*, 28:553-559s.
- Özçelik, B., Gürsul, M., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2014. Improvement of superconducting properties in Na-doped BSCCO superconductor. *J Mater Sci: Mater Electron*, 26:441-447s.
- Özçelik, B., Gürsul, M., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2014. Improvement of the intergranular pinning energy in the Na-doped Bi-2212 superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26:2830-2837s.
- Özçelik, B., Gürsul, M., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2015. Improvement of superconducting properties in Na-doped BSCCO superconductor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26:441-447s.
- Özçelik, B., Tangüner, A., Gürsul, M., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2015. Thermal conductivity and thermoelectric power of potassium and sodium-substituted Bi-2212 superconductor prepared by PEI technique. *J Supercond Nov Magn*, 28:2641-2647s.
- Özçelik, B., Nane, O., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2015. Effect of Yttrium substitution on superconductivity in Bi-2212 textured rods prepared by a LFZ technique. *Ceramics International*, 42:3418-3423s.

- Özçelik, B., Nane, O., Sotelo, A. ve Madre, M.A., 2016. Effect of Yttrium substitution on superconductivity in Bi-2212 textured rods prepared by a LFZ technique. *Ceramics International* 42(B):3418-3423s.
- Özçelik, B., Nane, O., Sotelo, A., Amaveda, H. ve Madre, M.A., 2017. Effect of Na substitution and Ag addition on the superconducting properties of Bi-2212 textured materials. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28:6278-6283s.
- Özkurt, B., Madre, M.A., Sotelo, A., Yakıncı, M.E. ve Özçelik, B., 2011. Relationship between growth speed, microstructure, mechanical and electrical properties in Bi-2212/Ag textured composites. *J Supercond Nov Magn*, 25:799–804s.
- Özkurt, B., Madre, M.A., Sotelo, A., Yakıncı, M.E., Özçelik, B. ve Diez, J.C., 2012. Relationship between growth speed and magnetic properties in Bi-2212/Ag textured composites. *J Supercond Nov Magn*, 26:1093–1098s.
- Özkurt, B., 2013. Nickel substitution effect on superconducting properties of Bi-2212 ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 579:132-137s.
- Özkurt, B., Özçelik, B., Madre, M.A., Sotelo, A. ve Diez, J.C., 2015. Effect of Yb substitution in Bi-2212 ceramics prepared by laser floating zone technique. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26:5761-5766s.
- Saxena, A. K., 2010. *High-Temperature Superconductors*, First Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 218s.
- Sotelo, A., Özçelik, B., Amaveda, H., Bruned, A. ve Madre, M.A., 2015. Fabrication and evolution of nanoprecursors to produce Bi(Pb)-2212/Ag textured superconducting composites. *Ceramics International*, 41:14276-14284s.
- Türk, N., 2012. Tungsten katkılı BSCCO süperiletken malzeme üretimi ve üretilen malzemenin fiziksel özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 110s.



Yazıcı, D., 2010. Tek fazlı BSCCO süperiletken malzeme üretimi ve malzemenin fiziksel özelliklerinin araştırılması. Doktora Tezi, Adana, 156s.

<http://www.wikiwand.com>

<https://www.metalurjik.net>

<http://www.researchgate.net>

<http://libratez.cu.edu.tr/tezler/9772.pdf>

<https://www.muhendisbeyinler.net/kristalografi-nedir>

<http://www.chm.bris.ac.uk/>



## ÖZGEÇMİŞ

24 Haziran 1983 yılında Adana'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana'da tamamladı. 2013 yılında Boğaziçi Üniversitesi Eğitim Fakültesi İlköğretim Matematik Öğretmenliği ve Fen Bilgisi Öğretmenliği alanlarında çift anadal yaparak mezun olduktan sonra 2016 yılında Çukurova Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı Başkanlığı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2013 yılından beri ilköğretim matematik öğretmeni olarak çalışmaktadır. 2,5 yaşında bir çocuk annesidir.