



EGE ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Y₃Ba₅Cu₈O_y BİLEŞİĞİNİN SÜPERİLETKENLİK
ÖZELLİKLERİNE Ag KATKISININ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Tuğçe METİN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa TEPE

Fizik Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 08.12.2016

Bornova-İZMİR

2016

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**Y₃Ba₅Cu₈O_y BİLEŞİĞİNİN SÜPERİLETKENLİK
ÖZELLİKLERİNE Ag KATKISININ ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Tuğçe METİN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa TEPE

Fizik Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 08.12.2016

Bornova-İZMİR

2016

Tuğçe Metin tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “ $Y_3Ba_5Cu_8O_y$ Bileşiğinin Süperiletkenlik Özelliklerine Ag Katkısının Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 08/12/2016 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Prof. Dr. Mustafa TEPE 

Raportör Üye

: Yrd. Doç. Dr. Halim Ziya 

Üye

: Yrd. Doç. Dr. İlhan Arç 

Üye

:

Üye

:

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Y₃Ba₅Cu₈O_y Bileşiğinin Süperiletkenlik Özelliklerine Ag Katkısının Etkisinin İncelenmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

08 / 12 / 2016

Tuğçe METİN

ÖZET**Y₃Ba₅Cu₈O_y BİLEŞİĞİNİN SÜPERİLETKENLİK ÖZELLİKLERİNE
Ag KATKISININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

METİN, Tuğçe

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa TEPE

Ekim 2016, 60 sayfa

Bu tezde Y₃Ba₅Cu₈O_y (Y358) yüksek sıcaklık süperiletken bileşiğine farklı molar oranlarda Ag katkısının etkileri incelenmiştir. Saf Y358 ve Ag katkılı Y₃Ba₅Cu_{8-x}Ag_xO_y (x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) örnekleri standart katı-hal tepkime yöntemi ile hazırlanmıştır. Elde edilen örneklerin mikro-yapısı ve süperiletkenlik özellikleri; AC elektriksel direnç ölçümü, AC manyetik duygunluk ölçümü ve XRD analizleri ile karakterize edilmiştir. AC elektriksel direnç ölçümü ile Ag katkısının, örneklerin metalik özellikleri ve süperiletken faz geçiş sıcaklığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Örneklerin taneli yapılarının analizi ile tanecik içi ve tanecikler arası süperiletken faz geçiş sıcaklıklarının belirlenmesi, karşılıklı indüktans yönteminin kullanıldığı AC manyetik duygunluk ölçümü alınarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, XRD analizleri aracılığı ile örneklerde bulunan safsızlık fazları belirlenmiştir ve her bir örnek için kristal örgü parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan örgü parametreleri ile Ag katkısının kristal yapıya etkisi araştırılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre; saf Y358 bileşiği üzerine belirli bir değere kadar yapılan Ag katkısının, süperiletken faz geçiş sıcaklığını artırarak süperiletken özellikler üzerinde olumlu bir etki yarattığı ortaya çıkmıştır. Ag katkı konsantrasyonu miktarı x=0,1 oranına ulaştığında, Ag-Y358 örneklerinin geçiş sıcaklığının 95 K'den 97 K'e arttığı gözlenmiştir. Ag katkısının olumlu yöndeki etkisinin en iyi şekilde gözlemlendiği değer ise, x=0,2 olarak belirlenmiştir. Bu katkılama değerine sahip örneğin kristal yapısındaki gözeneklerin eriyik gümüşle dolması sonucunda malzemenin mikro-yapısında ve süperiletkenlik özelliklerinde iyileşme olduğu görülmüştür. Ancak, Ag içeriği x=0,3 değerini

aştığında örneklerin geçiş sıcaklıklarının 95,6 K altına düştüğü bulunmuştur. Bu durum; gereğinden fazla Ag miktarının, Y358 bileşiminin kristal yapısındaki taneciklerin büyümesinde önleyici bir rol oynadığını ortaya koymuştur.

Anahtar sözcükler: Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri, $Y_3Ba_5Cu_8O_y$, Ag-Katkısı.



ABSTRACT**INVESTIGATION OF Ag DOPING EFFECTS ON THE
SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF $Y_3Ba_5Cu_8O_y$**

METİN, Tuğçe

MSc in Physics

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TEPE

October 2016, 60 pages

In this thesis, the effects of Ag addition in various molar ratios on Y358 high temperature superconducting compound have been studied. Pure Y358 and Ag-doped $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_y$ ($x=0,1;0,2;0,3;0,4;0,5$) samples were prepared by standard solid-state reaction method. The microstructure and superconducting properties of the obtained samples were characterized by AC electrical resistance measurement, AC magnetic susceptibility measurement and XRD analysis. The effect of Ag doping on the metallic properties and the superconducting phase transition temperature of samples were investigated by AC resistance measurement. The analysis of granular structure and the determination of the intra-grain and inter-grain superconducting phase transition temperature of samples were realized by using the AC magnetic susceptibility measurement using the mutual inductance method. The analysis of granular structure and the determination of the intra-granular and inter-granular superconducting phase transition temperature of samples were realized by using the AC magnetic susceptibility measurement using the mutual inductance method. Finally, the impurity phases contained in the samples was determined by means of XRD analysis and also, the crystal lattice parameters were calculated for each sample. The effect to crystal structure of Ag doping was investigated through the calculated lattice parameters. According to the obtained results from the measurements; Ag doping concentration up to a certain value over Y358 pure compound emerged to have a positive effect on the superconducting properties by providing the increase above the superconducting phase transition temperature.

When the amount of Ag doping concentration reaches to $x=0.1$ value, it was observed that the transition temperature of samples of Ag-Y358 enhanced from 95 to 97 K. The value of observed of the effect of Ag doping the most effective in a positive sense, identified as $x=0.2$. As a result of filling liquid Ag into the pores of the crystal structure of the sample which has this doping value, in the micro-structure and superconducting properties of the sample were found to cause of improvement. But, it was found that the transition temperature of samples falls below to 95.6 K, when the Ag content exceeds to $x=0.3$ value. This situation revealed that the excess amount of silver plays a preventive role on growth of the grains in the crystal structure of Y358 compound.

Keywords: High Temperature Superconductors, $Y_3Ba_5Cu_8O_y$, Ag-Doping.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, pes etmeme asla izin vermeyen, amacına ulaşana kadar denemeye devam etmen gerektiğini öğreten, hem maddi hem manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen yüksek lisans öğrenimim boyunca bana bazen ailemin bir üyesi gibi öğütlerde bulunan bazen de karanlığın içinden süzülen ışık gibi bir yol gösterici olan değerli hocam Prof. Dr. Mustafa Tepe'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarım boyunca kendimi nasıl geliştirebileceğim konusunda bana destek olan çalışma motivasyonumu her zaman zirvede tutmam için bana yardımda bulunan, başarının sırrının azim ve sıkı çalışmakta saklı olduğunu farkına varmamı sağlayan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İlbeyi Avcı'ya çok teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarım boyunca bana her zaman destek olan, çekilmez biri olduğumda bile beni asla bırakmayan, ne zaman umutsuzluğa kapılsam ileride bu karşılaştığım zorlukları hatırladığımda gülüp geçeceğimi söyleyerek bana kendime olan güvenimin ne kadar önemli olduğunu hatırlatan araştırma grubu arkadaşlarım doktora öğrencisi Yiğitcan Uzun ve Özkur Kuran ile birlikte diğer bütün çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Son olarak, hayatım boyunca bana her türlü desteği hiçbir karşılık beklentisi olmadan sunan hiçbir neden olmaksızın birine sarılma ihtiyacı hissettiğimde her zaman kollarını bana açacaklarını bildiğim sevgili aileme çok teşekkür ederim. İyi ki varsınız yaşımla ilerledikçe sizin değerlerinizi daha iyi anlamaya başlıyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. SÜPERİLETKENLİK KAVRAMI VE SÜPERİLETKENLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	5
2.1 Süperiletkenliğin Tarihçesi	5
2.2 Meissner – Ochsenfeld Etkisi	8
2.3 London Teorisi	11
2.4 Bardeen- Cooper- Schriffer (BCS) Teorisi	14
2.5 I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler	16
2.6 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri	20
2.7 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Kristal Yapısı	23
2.8 $Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ Kristal Yapısı	25

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. MATERYAL VE METOT	28
3.1 Örneklerin Hazırlanması.....	28
3.1.1 Katı-Hal tepkime yöntemiyle örneklerin hazırlanması	28
3.1.2 Kalsinasyon işlemi	29
3.1.3 Sinterleme işlemi.....	29
3.2 X-Işını Kırınım Ölçümleri	31
3.3 AC Elektriksel Direnç Ölçümleri.....	31
3.4 AC Manyetik Duygunluk-Sıcaklık Ölçümleri	33
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	39
4.1 X-Işını Kırınım Ölçümleri	39
4.2 AC Elektriksel Direnç Ölçümleri.....	43
4.3 AC Manyetik Duygunluk Ölçümleri.....	46
5. GENEL SONUÇLAR	50
KAYNAKLAR DİZİNİ	53
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Onnes'in Hg ile yaptığı deney sonucunda elde ettiği grafik.....	6
2.2 İdeal iletken ve süperiletkenin manyetik alan altındaki davranışlarının karşılaştırılması.....	9
2.3 Süperiletken bir silindirdeki perdeleme akımları.....	10
2.4 Kritik manyetik alanın sıcaklığa bağlı değişimini gösteren bir süperiletkenin faz diyagramı	11
2.5 Manyetik alanın süperiletken bölge içinde üstel olarak azalması.....	14
2.6 Metal örgünün Cooper çifti ile bozulmadan önceki ve sonraki hali.....	15
2.7 Kristal örgüde yer alan elektronların ve pozitif örgü iyonlarının konumu	16
2.8 Manyetik alan etkisi altında I. tip süperiletkenin manyetizasyonu.....	17
2.9 Uygulanan manyetik alan (B_a) ile süperiletken içindeki manyetik alanın ($B_{iç}$) değişimi.....	17
2.10a Manyetik alan etkisi altında II. tip süperiletkenin manyetizasyonu	18
2.10b Meissner ve karışık durum için kritik manyetik alanın sıcaklığa bağlı değişimi	18
2.11a II. tip bir süperiletken içine manyetik akının nüfuzu.....	19
2.11b Abrikozov'a göre süperiletken içindeki girdapların düzeni.....	19
2.12 Bir akı tüpü boyunca süperelektronların sayısındaki değişim	20

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.13a YBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} bileşiğinin ortorombik kristal yapısının gösterimi	24
2.13b ABO ₃ perovskit kristal yapısının gösterimi	24
2.14 A (Y ₃ Ba ₅ Cu ₈ O ₁₇), B (Y ₃ Ba ₅ Cu ₈ O ₁₈) ve C (Y ₃ Ba ₅ Cu ₈ O ₁₉) bileşiklerinin kristal yapısı	26
3.1 Örnekleri hazırlanmasında kullanılan I. ve II. Kalsinasyon işlemi prosesi.....	29
3.2 Örnekleri hazırlanmasında kullanılan sinterleme işlemi prosesini.....	30
3.3 Örnekleri hazırlama süreci	30
3.4 Dört nokta yönteminden yararlanılarak yapılan örneklerin elektriksel bağlantıları.....	32
3.5a AC direnç ölçüm sistemi	33
3.5b Örnek üzerine yapılan elektriksel bağlantılar.....	33
3.6 AC manyetik duygunluk sisteminin blok diyagramı	36
4.1 Saf Y358 ve Ag-Y358 (x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) örneklerinin X- ışını kırınım desenleri.....	40
4.2 Saf Y358 ve bunun üzerine yapılan Ag katkı oranlarına (x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) bağlı olarak a, b, c örgü parametreleri ve birim hücre hacimlerindeki değişimler	43
4.3 Saf Y358 ve Ag-Y358 (x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) örneklerinin normalize edilmiş AC elektriksel ac direnç-sıcaklık değişimleri.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.4 Saf Y358 bileşiğine $x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ oranlarında yapılan Ag katkısının etkisi	46
4.5 Saf Y358 ve AgY358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin AC manyetik duygunluk-sıcaklık değişimi	47
4.6 Her bir örneğin T_p sıcaklığının Ag katkı miktarına bağlı olarak değişimi	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Bazı yüksek sıcaklık süperiletken bileşiklerin T_c sıcaklığı, Kristal yapısı ve örgü parametreleri.....	22
2.2 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 'nin elektriksel özelliklerindeki anizotropiklik	25
3.1 Kullanılan tozların isimleri, saflık dereceleri ve molekül ağırlıkları	28
4.1 Saf Y358 ve Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin hesaplanan a, b ve c örgü parametreleri, ortorombiklikleri ve birim hacimleri.....	42
4.2 Süperiletken faza geçişte Ag katkısının geçiş sıcaklıkları sıcaklıkları üzerindeki etkisi.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ξ	Eş uyum (koherens) uzunluğu
λ	Girginlik derinliği
B_a	Uygulanan dış manyetik alan
$B_{iç}$	Süperiletken içindeki manyetik alan
B_c	Kritik manyetik alan
α	İzotop üssü
h	Planck sabiti
e	Elektron yükü
κ	Ginzburg–Landau parametresi
χ	Manyetik duygunluk
T_{cg1}	Tanecik içi kritik sıcaklık
T_{cg2}	Tanecikler arası kritik sıcaklık
H_{cg1}	Tanecik içi alt kritik manyetik alan
H_{jg1}	Tanecikler arası alt kritik manyetik alan
<u>Kısaltmalar</u>	
YBCO	İtriyum-Baryum- Bakır-Oksit ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
Y123	$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$
Y358	$\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{18-\delta}$
Ag-Y358	$\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_{8-x}\text{Ag}_x\text{O}_{18-\delta}$
TSMG	Tohum Aşılama-Eritme-Büyütme
XRD	X-Işını Kırınım Deseni
BCS	Bardeen- Cooper- Schriffer Teorisi

1. GİRİŞ

1908 yılında Kamerlingh Onnes'in 4,2 K kaynama sıcaklığına sahip helyumu sıvılaştırma başarısı, düşük sıcaklıklarda metallerin elektriksel dirençlerindeki değişimin incelenmesine olanak sağladı. 1911 yılında Onnes, yaklaşık 4 K sıcaklığında cıvanın elektriksel direncinin birden bire sıfır değerine düştüğünü gözlemlemesi üzerine bu durumu "süperiletken durum" olarak adlandırdı (Onnes, 1911). Kısacası, bazı metaller ve alaşımlar soğutulduklarında geçiş sıcaklığı ya da kritik sıcaklık (T_c) olarak adlandırılan belirli bir sıcaklık değerine ulaştıklarında elektriksel dirençlerini tamamen kaybetmeleri durumuna "süperiletkenlik" denilmektedir. 1957 yılında Barden, Cooper ve Schrieffer'in öne sürdüğü BCS teorisine göre; süperiletken bir malzemenin geçen akım, malzeme içerisinde hareket eden "Cooper çiftleri" olarak adlandırılan kuantum mekaniksel elektron çiftleri aracılığıyla meydana gelir (Bardeen et al., 1957). Cooper çiftleri denilen elektron çiftleri zıt spine sahip olmakla birlikte net momentumları sıfır olduğu için akım taşınırken Cooper çiftleri tutarsızca saçılmaya uğramazlar. Bu durum, süperiletken bir malzemenin kendine özgü kritik sıcaklığının altında elektriksel direncinin sıfır olduğunu yani elektrik akımının kayıpsız akabileceğini ifade eder.

Bazı metallerin ve alaşımların yaklaşık 25 K değerinin altındaki sıcaklıklarda süperiletken faza geçtiklerinin bulunmasının ardından 1986 yılında yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin öncüsü olarak kabul edilen J. Georg Bednorz ve K. Alex Müller (Bednorz and Müller, 1986), seramik kuprat oksit grubunda yer alan $La_{2-x}Ba_xCuO_4$ bileşiğinin 30K sıcaklığında süperiletken olduğunu keşfettiler. Bu keşfin hemen ardından Paul Chu ve arkadaşları La-Ba-Cu-O bileşiğinde La yerine bir başka nadir toprak elementi olan Y atomunu getirerek elde ettikleri $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Y123) bileşiğinin 90K' de süperiletken faza geçtiğini ortaya koydular (Chu et al, 1987). Sıvı azotun kaynama sıcaklığının (77 K) üzerindeki sıcaklıklarda süperiletkenliğin keşfedilmesi ile birlikte araştırmacılar daha yüksek kritik sıcaklığa sahip yeni süperiletken oksit bileşikler bulma arayışına girmişlerdir. Geniş çaplı araştırmaların sonucunda kritik sıcaklıkları sırasıyla 110 K, 120 K ve 133 K olan Bi-Sr- Ca-Cu-O (Maeda et al., 1988), Tl-Ba-Cu-Ca-O (Sheng and Hermann, 1988) ve Hg-Ba-Ca-Cu-O (Schilling et al., 1993) bileşikleri keşfedilmiştir.

Günümüzde de süperiletken oksit bileşiklere yeni atomik düzlemler eklenerek ya da çıkarılarak daha iyi karakteristik özelliklere sahip süperiletken

malzemeler elde etme çalışmaları devam etmektedir. Bu süperiletken malzemelerin en iyi örneklerinden biri son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda bulunan YBCO ailesinin yeni üyesi $Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ (Y358) bileşiğidir. Bu bileşiğin en önemli özelliği 100 K üzerinde geçiş sıcaklığına sahip olmasıdır. Bu özelliğinden dolayı endüstriyel ve daha büyük ölçekli uygulamalar için Y358 bileşiği iyi bir seçim olabilir.

YBCO süperiletken ailesi perovskit yapılı seramik süperiletkenlerdir ve bu ailenin genç üyelerinden biri olan Y358 bileşiği, kristal yapı olarak Y123 bileşiğine çok benzemesine rağmen yapısında bulundurduğu CuO_2 düzlemleri ve Cu-O zincirleri sayısı ile Y123 bileşiğinden ayrılır.

Y123 bileşiğinin kristal yapısındaki her perovskit birim hücre merkezinde Y ya da Ba atomu bulundurur. Ba atomlarından biri birim hücrenin üzerinde, Y atomu ortada ve diğer Ba atomu da birim hücrenin altında olacak şekilde c-ekseni boyunca uzanmaktadır. Y123 bileşiğinin dikkat çekici özelliklerinden biri de birim hücrede bulundurduğu iki CuO_2 düzlemidir ve bu iki CuO_2 düzlemi birbirinden Y düzlemi ile ayrılır. Birim hücredeki b-ekseni boyunca uzanan Cu-O zincirleri ise, süperiletkenlik özelliklere katkıda bulunur. Daha detaylı bir açıklama yapacak olursak; CuO_2 düzlemleri elektron çiftlerinin akışını sağlarken, Cu-O zincirleri ise yük rezervuarı görevi görmektedir. Yük taşıyıcı sayısı oksijen miktarına bağlı olarak değişir. Buna bağlı olarak Y123 bileşiğinde, oksijen konsantrasyonu $\delta \approx 0,15$ olduğunda kristal yapı ortorombik olup süperiletken faza geçiş sıcaklığı maksimum değere ($T_c = 92$ K) ulaşır. Oksijen konsantrasyonu $\delta \approx 0,6$ değerinde ise, yapı tetragonal hale geçerek süperiletkenlik özelliğini kaybeder.

YBCO ailesinin genç üyesi olan Y358 bileşiğinin kristal yapısındaki birim hücrede, beş CuO_2 düzlemi ve üç Cu-O zinciri bulunmaktadır. YBCO ailesinin diğer üyelerinin kristal yapıları incelendiğinde her bir üyenin birim hücrede yer alan CuO_2 düzlemi ve Cu-O zinciri sayısının birbirinden farklı olduğu görülmektedir. CuO_2 düzlemi ve Cu-O zinciri sayısının farklı olması, her bir YBCO ailesi üyesinin yapısal ve elektriksel özelliklerinin birbirinden farklı olmasına neden olur. Bu durumda Y358 bileşiğindeki CuO_2 düzlemi ve Cu-O zinciri sayısının Y123 bileşiğinkinden daha fazla olması, Y358 bileşiğinin örgü yapısında daha fazla yük rezervuarı bulundurduğunu ifade eder. Yük rezervuarlarının sayısının artması ile süperiletken faz geçiş sıcaklığının değeri yükselir.

Süperiletken geçiş sıcaklığını yükseltmek ve mikroyapısını iyileştirmek için $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ bileşiğinin Y, Ba, Cu atomlarına farklı elementlerle katkılama çalışmaları yapılmıştır. Yapılan yaygın katkılama çalışmalarından biri, Y123 bileşiğinin Cu atomuna farklı molar oranlarda Ag katkılanmasıdır. Ag katkı miktarına bağlı olarak Y123 bileşiğinin süperiletken ve yapısal özelliklerinin değiştiği belirlenmiştir. Buna göre; küçük miktardaki Ag katkısı Y123 malzemesinin süperiletken ve yapısal özelliklerine iyileştirici yönde bir etki yaratırken, Ag katkısındaki artışın Y123 malzemesinin süperiletken ve yapısal özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür (Kozlowski, et al., 1991, Tepe, et al., 2004).

Y123 tabletlerine Ag katkısının Y123 yapısını nasıl etkilediği konusunda bir takım tartışmalar yaşanmaktadır. Çoğu araştırmacı Ag nin Y123 ile tepkimeye girmeyip Y123 tanecikleri içinde Ag saptanmadığını ve Cu ile Ag elementlerinin periyodik tablonun aynı grubunda yer almasından dolayı Ag atomlarının Y123 taneciklerinin birim hücresinde bulunan Cu(1) atomları ile yer değiştirebileceğini ve bunun bir sonucu olarak malzemenin fiziksel özelliklerinin değişeceğini savunurken, diğer pek çok araştırmacı ise kimyasal uyumluluğundan dolayı Ag iyonlarının Y123 tanecikleri içinde rastlanabileceğini ve üretim esnasındaki termal işlem sırasında eriyik gümüşün yapıdaki gözenekleri doldurduğunu ileri sürmektedir (Salamati, et al., 2001, Zhang, et al., 1995).

YBCO tablet üretimi için; “tohum aşılama-eritme-büyütme (top-seeded melt- growth) (TSMG)”, “eritme-yönlendirme-büyütme (melt-textured-growth)”, “soğutma-eritme-büyütme (quench-melt-growth)”, “sol-jel (sol-gel)” gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin kullanılmasının temel amacı, malzemenin yapısındaki taneciklerin boyutlarını büyüterek tanecikler arası bağ kuvvetlendirip malzemenin süperiletken ve yapısal özelliklerini geliştirmektir.

Bu çalışmada geleneksel katı-hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlanan $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ bileşiğine $x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ olmak üzere farklı molar oranlarda Ag katkısının süperiletken özellikleri ile mikroyapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Örneklerin sıcaklığa bağlı AC elektriksel dirençleri, Lock-in Amplifikatör aracılığıyla dört-uç yöntemi kullanılarak ölçüldü. Elde edilen direnç-sıcaklık grafiklerinden farklı molar oranlarda Ag katkısının, Y358 malzemesinin süperiletken faz geçiş sıcaklığı ve normal fazdaki davranışı üzerindeki etkisi incelendi. Örneklerin karakteristik özelliklerini net bir şekilde ortaya koyabilmek için AC manyetik duygunluk ölçümlerinden yararlanıldı. AC manyetik duygunluk

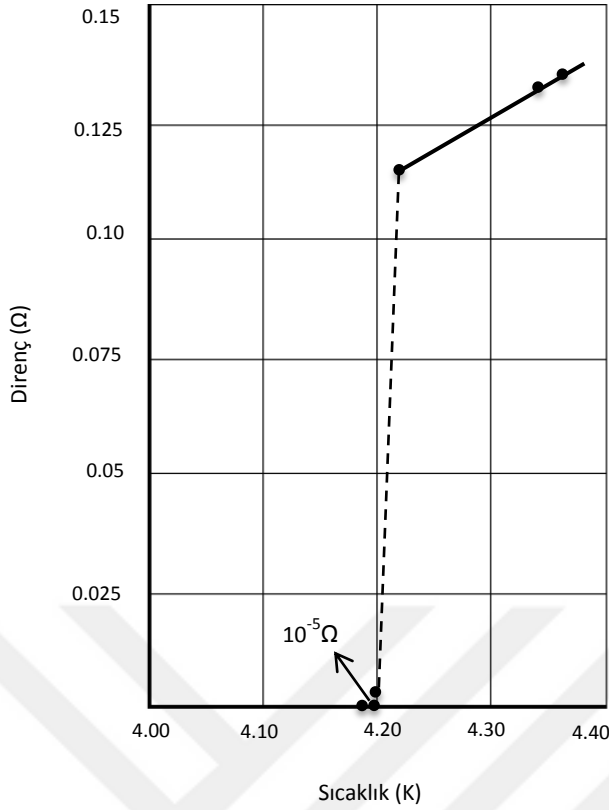
ölçümleri ile tanecik içi ve tanecikler arası süperiletken faz geçiş sıcaklıkları belirlenerek örneklerin tanecikli mikroyapısı karakterize edilebilmektedir. Y358 örneğinin mikroyapısında Ag katkısının etkisini incelemek için AC manyetik duygunluk ölçümleri alındı. AC manyetik duygunluğun sıcaklığa bağlı değişimi, Lock-in Amplifikatör yardımıyla karşılıklı indüktans metodu kullanılarak ölçüldü. Örneklerin kristal yapılarında bulunan süperiletken ve safsızlık fazlarının belirlenmesinin yanı sıra birim hücredeki a, b ve c örgü parametrelerinin hesaplanmasına katkıda bulunarak ortorombik yapı üzerinde Ag katkısının etkisi X-ışını toz kırınım desenleri (XRD) ile belirlenmiştir.



2. SÜPERİLETKENLİK KAVRAMI VE SÜPERİLETKENLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1 Süperiletkenliğin Tarihçesi

1908 yılında H. Kamerlingh Onnes, Leiden'deki laboratuvarında helyumu sıvılaştırarak düşük sıcaklık fiziği adlı çalışma alanının başlamasını sağlamıştır. Düşük sıcaklık fiziğinin başlamasından üç yıl sonra Onnes, 4,15 K'nin altında cıvanın dc elektriksel direncinin sıfıra düştüğünü gözlemledi (Onnes, 1911). Bu buluşla süperiletkenlik kavramı ortaya çıktı. Genel bir ifade ile süperiletkenlik, malzemeye özgü belli bir sıcaklığın altında malzemenin elektriksel direncini tamamen kaybetmesi olarak tanımlanabilir. Süperiletkenlik kavramının ortaya çıkmasının hemen ertesi yılında Onnes, yeterince güçlü manyetik alan uygulandığında süperiletken fazın ortadan kaldırılabileceğini keşfetti ve süperiletken fazın ortadan kaldırılması için gereken minimum manyetik alan değerini H_c şeklinde adlandırdı. 1913 yılında kurşun elementinin 7,2 K'de süperiletken olduğu bulundu (Onnes, 1913). Uzun çalışmaların ardından yaklaşık on yedi yıl sonra niyobyum elementinin 9,2 K geçiş sıcaklığına sahip olduğunun bulunmasıyla süperiletkenlik çalışmaları üzerine ilgi arttı (Ginzburg and Kitzhnits, 1977).



Şekil 2.1 Onnes' in Hg ile yaptığı deney sonucunda elde ettiği grafik (Ireson, 2012).

Süperiletkenlerin sıfır direnç özelliğinin dışında bir diğer karakteristik özelliği olan mükemmel diyamanyetizm yani Meissner etkisinin fark edilmesi uzun zaman aldı. 1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld (Meissner and Oschenfeld, 1933), süperiletken bir küreyi geçiş sıcaklığına kadar soğuttuklarında süperiletken faza geçen kürenin manyetik akıyı dışarıladığını buldular.

Meissner etkisinin bulunması ile London kardeşler, Fritz ve Heinz (London and London, 1935) bu etkiyi açıklayan denklemler öne sürdüler ve statik dış manyetik alanın bir süperiletken içine ne kadar nüfuz edebileceğini belirten girinlik derinliği (λ) parametresinin değeri için tahminde bulundular. Bir sonraki önemli teorik çalışma ise 1950 yılında Ginzburg ve Landau'nun duyurdukları kendi isimlerini taşıyan Gizburg-Landau teorisi olup bu teoride, düzen parametresi cinsinden süperiletkenlik tanımlanarak London deklemlerine yapılan türetmeler yer almaktadır (Gizburg and Landau, 1950). Aynı yıl içerisinde H. Fröhlich (Frolich, 1950) teorik olarak örgü atomlarının ortalama izotop kütlesi arttığında geçiş sıcaklığının azaldığını ileri sürmüş ve geçiş sıcaklığının izotop kütlesine bağlılığı,

$$T_c = M^{-1/2}$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu etki, izotop etkisi olarak adlandırılmış olup aynı yıl içerisinde bu etkinin varlığı deneysel olarak da gözlenmiştir (Maxwell, 1950; Reynolds et al., 1950). İzotop etkisi aynı zamanda süperiletkenliğin elektron-fonon etkileşim mekanizmasını desteklediği için süperiletkenliğin gelişmesinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Yine 1950 yılında A. Abrikosov manyetik alan altındaki süperiletkenlerin farklı iki davranış sergilediklerini ve bu davranışlarına göre I. Tip ve II. Tip süperiletkenler olarak sınıflandırılabilceğini açıkladı. I. Tip süperiletkenler sadece H_c olarak ifade ettiğimiz tek bir kritik manyetik alan değerine sahiptirler. Ancak, II. Tip süperiletkenler ise, H_{c1} ve H_{c2} olmak üzere iki farklı kritik manyetik alan değerine sahiptirler.

Günümüzde süperiletkenliğin doğasının teorik açıklaması, 1957 yılında J. Barden, L. Cooper ve J. R. Schrieffer'in önerdikleri BCS mikroskobik teorisine dayanmaktadır (Bardeen et al., 1957). Bu teoriye göre, süper akımı taşıyan elektronlar Cooper çifti olarak adlandırılan çiftler halinde birbirine bağlıdır ve süperiletken durum ile normal durum arasında 2Δ kadarlık bir enerji aralığı vardır. Ginzburg-Landau (1950) ve London (1950) teorileri sonuçları BCS teorisi ile uyum içindedir. Ancak, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin keşfi ile birlikte BCS teorisinde birçok eksik noktaların olduğu iddia edilmiş ve BCS teorisinin yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin özelliklerini ne kadar iyi açıklayabildiğine dair tartışmalar yaşanmıştır.

BCS teorisinin yayınlanmasının ardından 1962 yılında iki süperiletken malzeme arasına yerleştirilen yalıtkan bir bariyer aracılığıyla Cooper çiftlerinin tünelleneceğini öne süren Josephson tünelleme teorisi yayınlandı (Josephson, 1962). Ayrıca, 1963 yılında Schrieffer, Scalapino ve Wilkens'in ortaya koydukları tünelleme durum yoğunluğu çalışması, elektron-fonon çiftleniminden dolayı süperiletken düzen parametresi $\Delta(\omega)$ ve tünelleme akımında gözlenen etkiyi detaylı olarak açıklamaktadır.

1954'ten 1986 yılına kadar en yüksek geçiş sıcaklığına sahip malzemeyi bulmak için Nb_2Sn , Nb_3Ga ve Nb_3Ge gibi A15 bileşikler olarak adlandırılan bileşik ve alaşımlar üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Daha sonraki yıllarda ise, $100m_e$ ya da daha büyük etkin kütleli süperiletken elektronlara sahip ağır fermiyon sistemleri ve geçiş sıcaklıkları biraz daha yüksek olan organik süperiletkenler üzerine çalışmalar yapılmıştır.






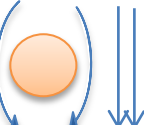
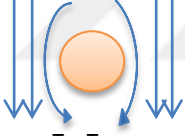



17 Nisan 1986 yılında J. G. Bednorz ve K. A. Müller'in yazmış olduğu "Possible High T_c Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System" başlıklı kısa makale, "*Zeitschrift für Physik*" adlı dergi tarafından yüksek sıcaklık süperiletkenlik devrinin başlangıcı olarak kabul edildi (Bednorz and Müller, 1986). Yüksek sıcaklık süperiletkenliği için önemli bir yere sahip olan geçiş sıcaklığından itibaren elektriksel direncin düşüşündeki keskinlik, yıllar sonra gözlenmiş olmasına rağmen süperiletken fazda beklenen diyamanyetik davranış hala ispatlanamamıştı. Bunu üzerine Japonya'daki bir grup (Uchida et al., 1987) ile Amerika'daki Chu'nun grubu (Chu et al., 1987), Bednorz ve Müller'in çalışma bulgularını tekrar ele alarak buldukları sonuçlar sayesinde yeniden yüksek sıcaklık süperiletkenleri üzerine çalışmalar hız kazanmıştır.

1987 yılının başında bilim adamları La-tabanlı oksit bileşiğini elde ettiler ve atmosfer basıncında bu bileşiğin süperiletken faza geçiş sıcaklığı 40 K'e yakinken (Cava et al., 1987; Tarascon et al., 1987), yüksek basınç altında süperiletken faza geçiş sıcaklığının 52 K değerine ulaştığını gözlemlediler (Wu et al., 1987). Aynı yıl içinde itriyum-baryum sistemlerinin 90 K'de süperiletken faza geçtiklerinin gözlenmesinin ardından (Chu et al., 1988; Zhao et al., 1987) 1988'de 110 K'de süperiletken özellik gösteren BiSrCaCuO bileşiği (Chu et al., 1988; Maeda et al., 1988; Michel et al., 1987) ile 120-125 K aralığında kritik sıcaklığa sahip TlBaCaCuO bileşiğinin keşfi büyük ilgi uyandırmıştır (Hazen et al., 1988; Sheng and Hermann, 1988; Sheng et al., 1988). 1993 yılında Berkley ve arkadaşları 7 GPa basınç altında $Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10-x}$ bileşiğinin kritik sıcaklığının 131,8 K'e ulaştığını açıkladılar (Berkley et al., 1993). Çalışmalar hızla devam ederken birkaç araştırmacı, $HgBa_2Ca_nCu_{n+1}O_{2n+4}$ ($n=1,2$) bileşiğinde Hg yerine Pb katkılı olduğunda kritik sıcaklığın 130 K üzerine çıktığını bildirdiler (Iqbal et al., 1994; Schilling et al., 1993; Jeandupeux et al., 1994). Bunu yanı sıra dış basıncın Hg-tabanlı bileşikler için önemli olduğu, 10 GPa basınç altında Hg-tabanlı bileşiklerin kritik sıcaklığının 150 K değerine ulaştığı gözlenmiştir (Gao et al., 1994; Chu et al., 1993; Ihara et al., 1993).

2.2 Meissner – Ochsensfeld Etkisi

Süperiletkenliğin keşfinden 22 yıl sonra manyetik alanın süperiletken malzemeler üzerinde etkisinin incelenmesiyle süperiletkenlerin bir diğer temel özelliği olan "mükemmel diyamanyetizma" ortaya konuldu. 1933 yılında Walter Meissner ve Robert Ochsensfeld (Meissner and Oschenfeld, 1933), kurşun ve kalay süperiletken örneklerinin dışındaki manyetik akı dağılımını ölçerek, süperiletken

bir malzemeyi T_c sıcaklık değerinin altına kadar soğutup dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında ya da bu işlemin tam tersi bir süreç izlendiğinde manyetik akının süperiletkenden dışarılandığını gösterdiler. İdeal bir iletkende böyle durum söz konusu olmadığı için manyetik alanın malzeme içerisinden dışarıya itilmesi süperiletkenliğe özgü bir durum olarak nitelendirildi ve bu duruma “Meissner etkisi” adı verildi.

Soğutuldu ve manyetik alan içine yerleştirildi.	Manyetik alan içine yerleştirildi ve ardından soğutuldu.	
İdeal iletken ve süperiletken	İdeal iletken	Süperiletken
 $T > T_c$ $B = 0$	 $T > T_c$ $B \neq 0$	 $T > T_c$ $B \neq 0$
 $T < T_c$ $B = 0$	 $T < T_c$ $B \neq 0$	 $T < T_c$ $B \neq 0$
 $T < T_c$ $B \neq 0$		
 $T < T_c$ B kaldırıldı.	 $T < T_c$ B kaldırıldı.	 $T < T_c$ B kaldırıldı.

Şekil 2.2 İdeal iletken ve süperiletkenin manyetik alan altındaki davranışlarının karşılaştırılması.

Süperiletken fazdaki bir metalde manyetik akının dışarı itilmesi ($B=0$) için, uygulanan dış manyetik alana eşit ve zıt yönde süperiletken yüzeyindeki perdeleme akımları tarafından bir alan yaratılır. Böylelikle uygulanan dış alan ile perdeleme akımlarının oluşturduğu alan birbirini sıfırlayarak süperiletken içinde $B=0$ olmasını sağlar.

Süperiletkene uygulanan dış manyetik alanın şiddeti;

$$H_a = \frac{B_a}{\mu_0} \quad (2.2.1)$$

şeklinde ifade edilir ve manyetik indüksiyon;

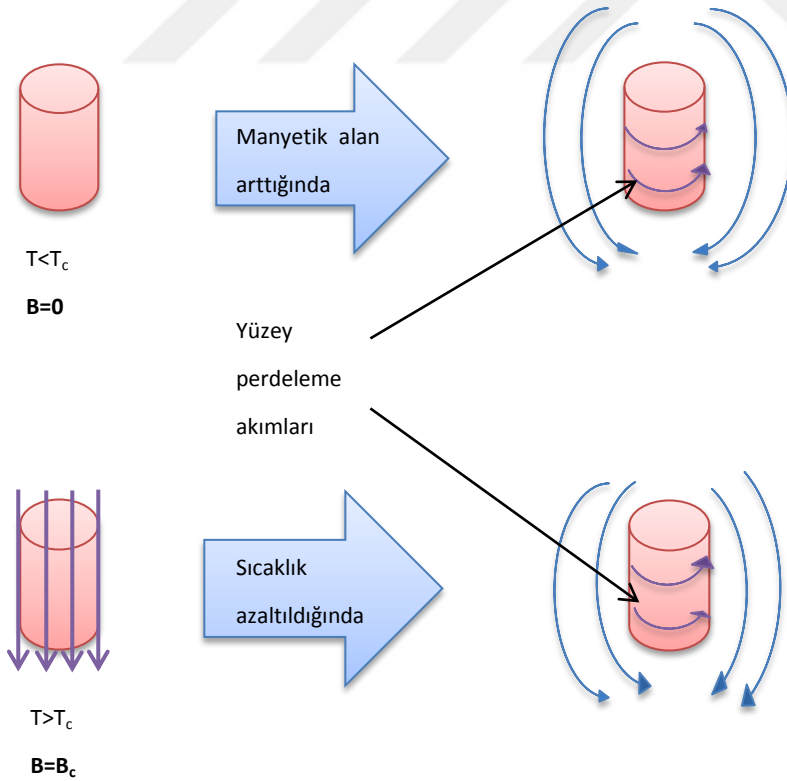
$$B = \mu_0(H_a + M) \quad (2.2.2)$$

M = Manyetizasyon şiddeti

H_a dış manyetik alan değeri çok küçük olduğunda malzeme mıknatıslanır ve T_c değerinde $M = -H_a$ olduğunun bir göstergesi olarak manyetik duygunluk;

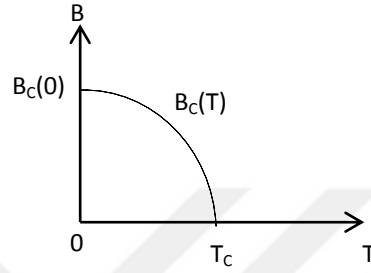
$$\chi(T) = \frac{M}{H} = -1 \quad (2.2.3)$$

olur.



Şekil 2.3 Süperiletken bir silindirdeki perdeleme akımları.

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi malzeme yüzeyi üzerindeki perdeleme akımları adı verilen akımlar, süperiletken malzemenin sıcaklığının T_c değerinin altına düşürülmesiyle ya da dış manyetik alana maruz bırakılmasıyla oluşurlar. Bu durum aslında normal halden süperiletken hale geçen bir faz değişiminin sonucudur. Bir süperiletkenin faz diyagramı Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Kritik manyetik alanın sıcaklığa bağlı değişimini gösteren bir süperiletkenin faz diyagramı.

Belirli bir değeri aşan manyetik alanın süperiletkenlik özelliği yok ettiği K. Onnes tarafından bulunmuş olup süperiletkenliğin yok olması için gerekli olan minimum manyetik alan değeri kritik manyetik alan olarak adlandırılmıştır ve kritik manyetik alan " B_c " ile ifade edilmektedir. Kritik manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı;

$$B_c(T) = B_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (2.2.4)$$

ile verilir. Bu bağıntı "*Tuyn's law*" olarak da bilinmektedir. $B_c(0)$, mutlak sıfırdaki kritik alanı ifade eder.

2.3 London Teorisi

Temel iki elektrodinamik özellik olan mükemmel iletkenlik (sıfır direnç) ve mükemmel diyamanyetikliği açıklamak için, 1935 yılında Fritz ve Heinz London iki denklem öne sürmüştür (London and London, 1935). Bu denklemler "London denklemleri" olarak da bilinmektedir. Bu denklemlerden ikincisi mükemmel

diyamanyetikliği açıklamaktadır. İkinci London denkleminde ulaşmak için ileri atılan teoriye göre; manyetik akı, bir süperiletken içinden tamamen dışarılanmayıp girinlik derinliği olarak adlandırılan ince bir yüzey tabakası içine nüfuz etmektedir. Mükemmel iletkenliği açıklamak için ortaya atılan birinci London denklemini elde etmek için ise, öncelikle London kardeşler, süperiletken durumdaki bir malzemede toplam elektron yoğunluğunun, süperelektronların yoğunluğu (n_s) ve normal elektronların yoğunluğundan (n_n) oluştuğunu kabul ettiler. Buna bağlı olarak birim hacimdeki elektron sayısı;

$$n_0 = n_s + n_n \quad (2.3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Normal elektronlar ohm yasasına uyarak bir direnç göstermelerine rağmen süperelektronlar ise fononlardan ya da safsızlıklardan dolayı bir saçılma söz konusu olmadığı için direnç göstermezler ve bir elektrik alan altında serbestçe hızlandırılabilirler. Buna göre \vec{v}_s hızlı süperiletkenlerin hareket denklemi;

$$m \frac{d\vec{v}_s}{dt} = -e\vec{E} \quad (2.3.2)$$

Süperelektronların akım yoğunluğu;

$$\vec{J}_s = -en_s\vec{v}_s \quad (2.3.3)$$

bu denklem (2.3.2) denkleminde yerine yazıldığında;

$$\frac{d\vec{J}_s}{dt} = -\frac{n_s e^2}{m} \vec{E} \quad (2.3.4)$$

bu ifade birinci London denklemi olarak adlandırılır.

Maxwell denklemleri;

$$\vec{B} = -\vec{\nabla} \times \vec{E} \quad (2.3.a)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}_s \quad (2.3.b)$$

şeklinde ifade edilir.

(2.3.4) ve (2.3.a) Maxwell denklemini kullanarak;

$$\vec{\nabla} \times \vec{J}_s = -\frac{n_s e^2}{m} \vec{B} \quad (2.3.5)$$

elde edilir. Bu bağıntı, ikinci London denklemi olarak bilinmektedir. Bu denklem, (2.3.b) Maxwell eşitliği ile türetildiğinde manyetik indüksiyon;

$$\vec{\nabla}^2 \vec{B} = \frac{1}{\lambda^2} \vec{B} \quad (2.3.6)$$

olarak elde edilir. Buradaki λ ise;

$$\lambda = \left(\frac{m}{\mu_0 n_s e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.3.7)$$

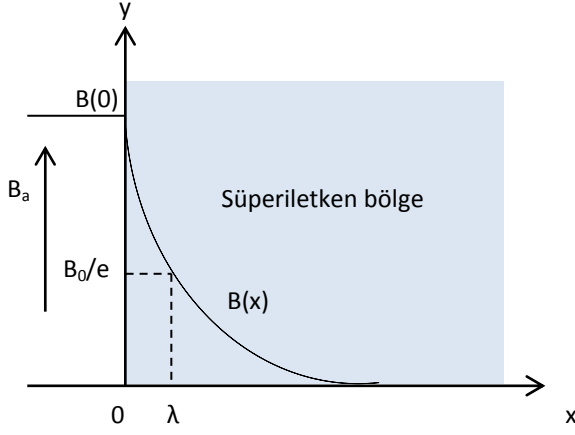
olup London girginlik derinliği adını alır. Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi $x > 0$ homojen süperiletken bir bölgeye B_a manyetik alanı dik olarak etki ettiğinde (2.3.6) denklemi kullanılarak;

$$\frac{d^2 B_y(x)}{dx^2} = \frac{B_y(x)}{\lambda^2} \quad (2.3.8)$$

eşitliği elde edilir. $\vec{B} = B_y(x)$ için (2.3.8) eşitliğinin çözümü ile;

$$B_y(x) = B(0) e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (2.3.9)$$

süperiletken içindeki manyetik indüksiyon elde edilir. Bu eşitliğe göre \vec{B} manyetik indüksiyon, süperiletkenin yüzeyinden itibaren sadece λ kadarlık bir bölgeye girebilir. λ girginlik derinliği çok küçük bir değerde olduğu için tablet örneklerin üzerindeki manyetik ölçümlerde manyetik indüksiyon girginliği fark edilmediği için ölçümlerde Meissner etkisi ($B=0$) olarak görülür.



Şekil 2.5 Manyetik alanın süperiletken bölge içinde üstel olarak azalması.

London teorisi Meissner etkisini açıklama konusunda oldukça başarılı bir teori olmasına rağmen, süperiletken yoğunluğunun homojen kabul edilmesi bazı noktaları açıklamakta yetersiz kalmaktadır.

2.4 Bardeen- Cooper- Schriffer (BCS) Teorisi

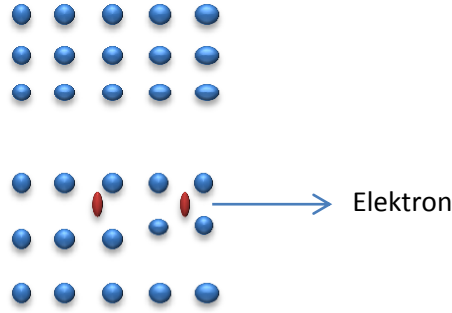
1957 yılında John Bardeen, Leon Cooper ve John Robert Schriffer'in yayınladıkları BCS teorisi (Bardeen et al., 1957), I. Tip süperiletkenleri açıklamak için ortaya atılan süperiletkenliğin ilk mikroskobik teorisi olmasının yanı sıra daha öncesinde gözlenen izotop etkisini de açıklamaktadır. BCS teorisine göre, metal örgü iyonları kütlesi ile geçiş sıcaklığı arasında;

$$T \propto M^{-\alpha}$$

şeklinde bir ilişki vardır ve α , "izotop üssü" olarak adlandırılır.

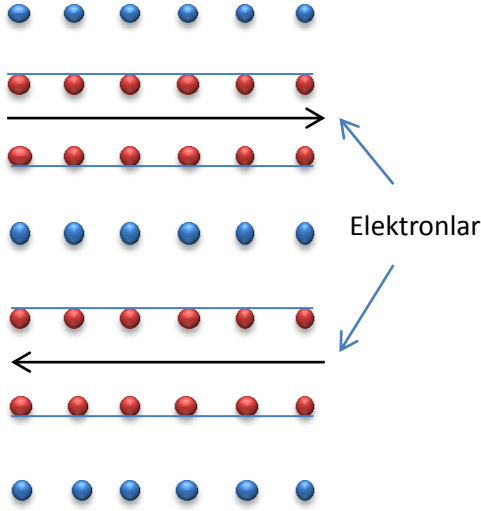
Bir süperiletkende elektronlar, tüm örnek üzerinde yayılan tek bir kuantum dalga kombinasyonu olarak düşünülebilir. Tipik bir metalde ise, her bir elektronun kendine ait dalga fonksiyonu vardır ve bu dalga fonksiyonları birbirinden bağımsızdırlar. Süperiletkenliği açıklamak için BCS teorisinde, makroskobik dalga fonksiyonundan yararlanıldı. Bütün elektronlar tek bir dalga olarak kabul edilirse, bir elektrona direnç uygulandığında bu direnç aslında tüm elektronlara uygulanmış olacaktır. Bu durumda süperiletken içinde tek bir safsızlığın ya da kusurun oluşması mümkün değildir. Bu yüzden teoriye göre elektronların

kuantum durumlarının bir sonucu olarak bütün elektronlar, herhangi bir dirençle karşılaşmadan ilerlerler. Ancak teoride bu durum imkânsızdır. Çünkü fermiyonlar Pauli dışarlama ilkesine uyarlar ve bu ilkeye göre iki elektron aynı kuantum durumunda bulunamaz. İşte bu noktada BCS teorisi yaşanan ikilemi ortadan kaldırmak için, bir süperiletkenin geçiş sıcaklığının altında elektronların bir çift gibi davrandıklarını öne sürmüştür ve bu elektron çiftleri “Cooper çiftleri” olarak bilinmektedir. Metal içindeki örgü iyonları ile elektronlar arasında oluşan küçük çekim kuvveti, çiftlerin birbirine bağlanmasından sorumludur. Mantıken iki elektron aralarındaki Coulomb itme kuvvetinden dolayı birbirlerini itmeleri beklenir. Ancak bu elektronlar pozitif örgü iyonları tarafından çekilmektedir. Kısacası, örgü noktası yakınından geçen elektronun neden olduğu geçici titreşim örgü bozuklukları, iki elektronun dolaylı olarak birbirine doğru çekilmesine neden olur. Şekil 2.6’da bir metal örgü içindeki elektronun hareketi gösterilmektedir. Örgü içerisinde ilerlemekte olan bir elektron ele alındığında, yakın civardaki örgü iyonlarının bu elektrona doğru çekildiği görülmektedir. Bu durum, o bölgedeki pozitif yük yoğunluğunun biraz artmasına neden olur. Pozitif örgü iyonu ilk denge konumuna dönmeden yakın civardan geçen bir başka elektron tarafından çekilir. Böylece pozitif yüklü örgü iyonu aracılığı ile iki elektron birbirine doğru çekilir ve Cooper çiftini oluşturur.



Şekil 2.6 Metal örgünün Cooper çifti ile bozulmadan önceki ve sonraki hali.

Bir Cooper çiftinde elektronlar birbirine zıt yönde hareketli olup zıt spinlere sahiptirler. Dolayısıyla net spin sıfırdır. Bu durumda Cooper çiftleri fermiyondan ziyade bozon gibi davranmaktadır ve dışarlama ilkesinin dışında kalır. Böylece çiftler tek bir dalga gibi davranırlar. Cooper çifti oluşum süreci devingen bir süreç olup sürekli olarak elektron çifti oluşur ve bozular. Bu çiftler arasında her zaman koherens (eş uyum) uzunluğu (ξ) adı verilen belirli bir mesafe vardır. Tipik eş uyum uzunluğu 100 nm’dir ve bu değer, 0,1 nm tipik atom aralığı ile karşılaştırıldığında Cooper çiftlerinin üst üste bindiğini gösterir.



Herhangi bir etkileşime girmeyen örgü iyonları mavi renkte gösterilmiştir. Elektronların geçtiği yerin yakınındaki elektronlarla etkileşime giren örgü iyonları ise kırmızı renkte gösterilmiştir.

Örgü iyonları nispeten daha ağır oldukları için başlangıçtaki denge konumuna dönmeleri biraz zaman alır.

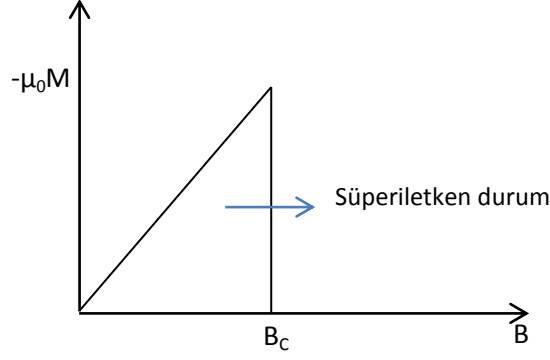
Şekil 2.7 Kristal örgüde yer alan elektronların ve pozitif örgü iyonlarının konumu (Fosheim and Sudbo,2004).

BCS teorisini 3 temel fikir altında toplayabiliriz:

- i. Elektronlar arasında örgü fononlarının çiftlenim etkisi aracılığıyla bir çekim kuvveti meydana gelebilir.
- ii. Cooper çifti oluşumunda elektronlar arasındaki çekim kuvveti gücünün herhangi bir katkısı yoktur.
- iii. Bütün elektronlar Fermi yüzeyi yakınında Cooper çifti oluştururlar ve bu çiftin bozulması için gerekli enerji, 2Δ enerji aralığı kadardır.

2.5 I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler

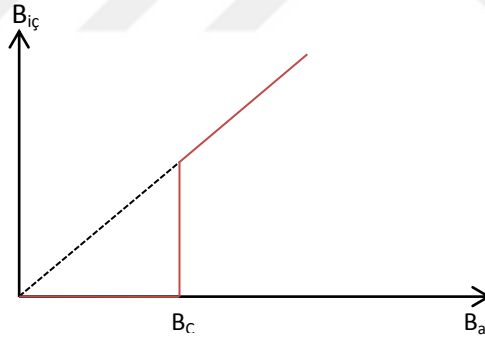
Süperiletken durumdaki bir malzeme, sıcaklık artırıldığında ya da yeterince büyük bir dış manyetik alan uygulandığında süperiletkenlik özelliğini kaybederek normal hale geri döner. Süperiletken özelliği kaybetmesi için gerekli en küçük manyetik alan değerine kritik manyetik alan denildiğini daha öncesinde de bahsetmiştik. Süperiletkenler manyetik alan altındaki davranışlarına göre I. tip süperiletkenler ve II. tip süperiletkenler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. I. tip süperiletkenler sadece bir tane kritik manyetik alan değeri B_c 'ye sahiptirler ve bu tip süperiletkenler B_c değerine kadar manyetik alanı tamamen dışlayarak mükemmel diyamanyetizm özelliği gösterirler ($B_{iç}=0$). Uygulanan manyetik alan B_c kritik değerini aştığında ise, süperiletkenlik özelliğini tamamen kaybederler (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Manyetik alan etkisi altında I. tip süperiletkenin manyetizasyonu.

Bir süperiletkene dışarıdan uygulanan manyetik alan (B_a) ile bu süperiletkenin içindeki manyetik alan ($B_{iç}$) Şekil 2.9'da gösterilmekte olup aynı zamanda normal bir metal ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Niyobyum ($T_c=9.2$ K) ve vanadyum ($T_c=5.4$ K) haricinde cıva, kurşun ve kalay gibi metaller I. tip süperiletkenlere örnek verilebilir.

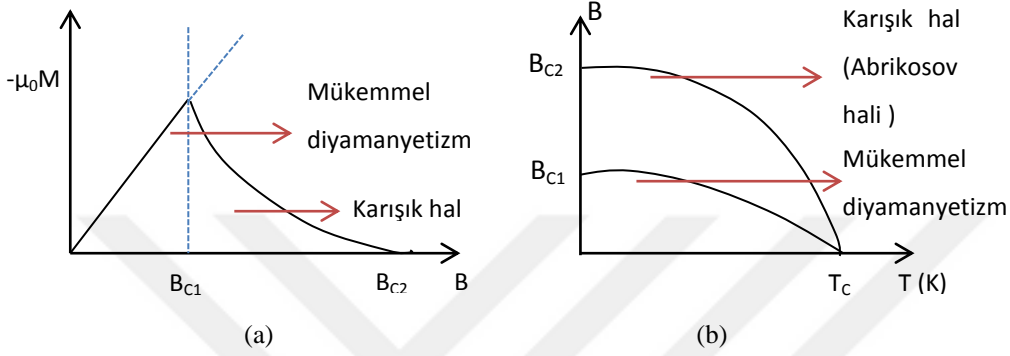


Şekil 2.9 Uygulanan manyetik alan (B_a) ile süperiletken içindeki manyetik alanın ($B_{iç}$) değişimi.

Düz çizgi süperiletken malzemeyi, kesikli çizgi ise normal metal malzemeyi göstermektedir.

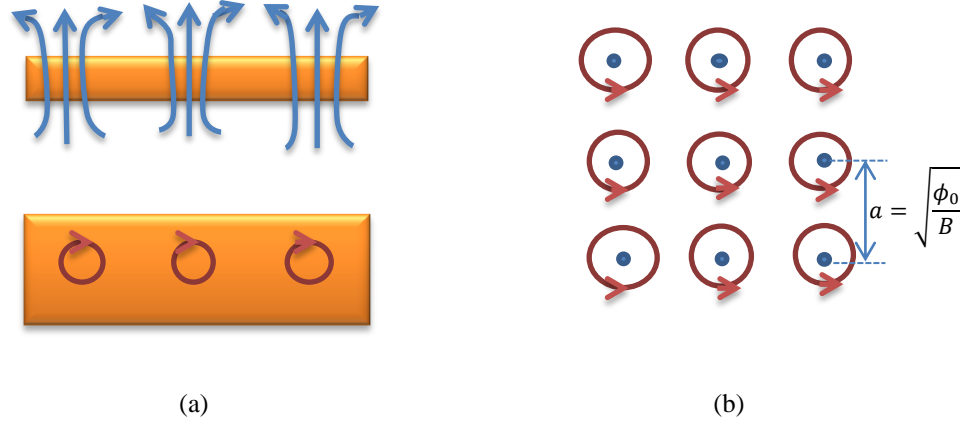
II. tip süperiletkenler, B_{c1} ve B_{c2} olmak üzere iki tane kritik manyetik alan değerine sahiptirler. II. tip süperiletkenler “alt kritik alan” adı verilen B_{c1} değerine kadar tıpkı I. tip süperiletkenler gibi manyetik alanı tamamen dışlarlar. Bu alan değerini aştığında, uygulanan manyetik alan malzeme içerisine nüfuz etmeye başlar ve uygulanan alan malzeme içerisine girdaplar şeklinde girmeye başlar.

Böylelikle ortaya süperiletken ve normal iletken bölgelerin bir arada bulunduğu karışık durum olarak adlandırılan bir hal meydana gelir. “Üst kritik alan” olarak adlandırılan B_{c2} kritik alan değerinden sonra da uygulanan manyetik alan malzemeye tamamen nüfuz eder ve malzeme süperiletkenlik özelliğini yitirerek normal iletken haline geri döner (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 (a) Manyetik alan etkisi altında II. tip süperiletkenin manyetizasyonu. (b) Meissner ve karışık durum için kritik manyetik alanın sıcaklığa bağlı değişimi.

Karışık hal durumunu ilk kez 1957 yılında Alexi Abrikosov tarafından ortaya atılmıştır (Abrikosov, 1957). Burada manyetik akı süperiletken içerisine girdaplar şeklinde girer ve bu girdaplar malzemeyi, uygulanan dış manyetik alandan korurlar. Her bir girdap aslında etrafı süperakımla çevrili bir kordur ve bu korlar metalik iletken gibi davranırlar. Manyetik akı süperiletken içine girdiğinde girdap korlarında tuzaklanır ve bu yüzden süperakımlar, malzemeye uygulanan manyetik alana karşı korumak için bir perdeleme görevi görürler. Ayrıca her bir kor etrafında çevrili süperakımlar, yakınındaki ters yönlü yüzey akımları ile birbirilerini iterek malzeme içerisinde düzenli olarak sıralanırlar (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 (a) II. tip bir süperiletken içine manyetik akının nüfuzu. (b) Abrikozov'a göre süperiletken içindeki girdapların düzeni.

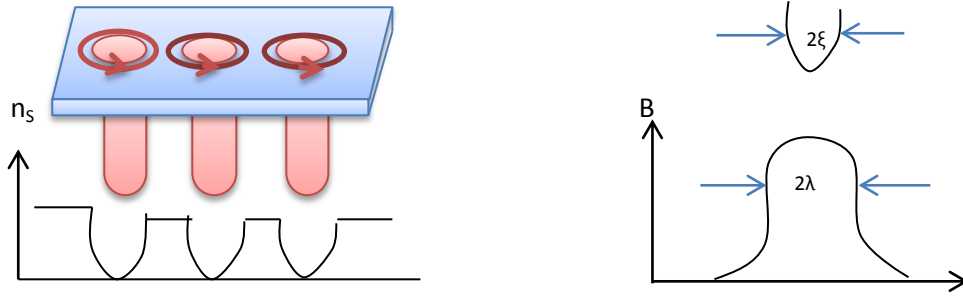
Süperiletken örgü mükemmel bir düzen içinde olursa, girdaplar serbestçe örgü içerisinde hareket edebilecek ve tercih ettikleri bir yeri olmadığı için enerji dengesi aynı kalacaktır. Ancak ne yazık ki bu şekilde mükemmel bir malzeme doğada olmadığı için girdaplar, malzeme içindeki kusurlarda iğnelenirler. Malzemede bulunan kusur etrafında süperiletken özellik daha az olacağı ve girdap normal iletken özellik gösterdiği için, kusur etrafında bozulan süperiletkenlik çok küçük bir enerjiye neden olur. Bu enerjiden dolayı iğnelenen girdabın hareket etmesi çok zordur.

Karışık durumdaki II. tip süperiletkene nüfuz eden manyetik akı girdapları kuantumlanmıştır ve her bir girdap,

$$\phi_0 = \frac{h}{2e} \quad (2.3.10)$$

kadar bir manyetik akı taşır. Bu eşitlikte, h Planck sabiti ve e elektronun yüküdür.

Karışık durumda her bir girdabın merkezindeki akım yoğunluğu süperakımlardan dolayı sıfırdır. Ancak akım yoğunluğunun merkez etrafındaki radyal hareketi sonucunda süperelektron akım yoğunluğu artar ve buna bağlı olarak manyetik alan sıfıra düşer (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Bir akı tüpü boyunca süperelektronların sayısındaki değişim (Ireson, 2012).

Karışık durumdaki bir süperiletkende girdap korunun yarıçapı “koherens uzunluğu (ξ)” kadardır ve bu Cooper çiftinin karakteristik boyutuna tekabül eder. Korların etrafında çevrili olan süperakım girdaplarının yarıçapı ise “girginlik derinliği (λ)” kadardır. Girginlik derinliği kadar ya da daha uzun mesafelerde, manyetik alan ya da koherens uzunluğu süperiletkenliği bozar. $\frac{\lambda}{\xi}$ oranı κ Ginzburg–Landau parametresi olarak adlandırılır ve bu oran süperiletkenlik tipini belirler. Buna göre;

$\kappa \ll 1$ ($\lambda \ll \xi$) ise, I. tip süperiletken,

$\kappa \gg 1$ ($\lambda \gg \xi$) ise, II. tip süperiletken

şeklinde ifade edilir.

2.6 Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerin keşfine kadar bilinen süperiletken metal ve alaşımların arasından Nb_3Ge alaşımı, $T_c=23,2$ K ile en yüksek geçiş sıcaklığına sahip bileşik olarak kabul ediliyordu. Ancak 1986 yılı Eylül ayında J. G. Bednorz ve A. K. Müller (Bednorz and Müller, 1986) 30 K geçiş sıcaklıklı La-Ba-Cu-O bileşimini keşfettiler. Seramik oksit kupratlarında süperiletkenlik özelliğinin bulunması, bilim dünyasında beklenmeyen bir etki yaratarak daha yüksek geçiş sıcaklıklı yeni süperiletken oksit bileşiklerin keşfedilmesine yönelik geniş çaplı çalışmalara başlanmıştır. Daha sonra yapılan bir çalışmada $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ bileşiğinin basınç altında geçiş sıcaklığının $T_c=57$ K değerine yükseldiğinin bulunması, kuprat oksitlerde daha yüksek geçiş sıcaklığına ulaşabilme umudunu artırdı. Ki bu umudun gerçekleşmesi çok uzun sürmedi. Chu ve arkadaşlarının (Chu et al., 1987) La yerine Y getirerek elde ettikleri $\text{Y}_{1.2}\text{Ba}_{0.8}\text{CuO}_{4-\delta}$ bileşiğinin

geçiş sıcaklığının $T_c=92$ K'e ulaşması ile umutlar gerçeğe dönüştü. Bu çalışmanın hemen ardından $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ bileşiğinin süperiletken faz geçiş sıcaklığının $T_c=90$ K olduğu bulundu.

Sıvı azot içerisinde malzemeleri soğutma işlemi daha basit ve ucuz olduğu için sıvı azotun kaynama sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda (77 K) süperiletkenlik özelliğinin keşfedilmesi, yeni süperiletken malzemelerin bulunmasına ilişkin çalışmaların hızlanmasına yol açmıştır. 1988 yılında Maeda tarafından çok fazlı Bi-Sr-Ca-Cu-O bileşiğinin süperiletken faz geçiş sıcaklığı 105 K olarak bulundu (Maeda et al., 1988). Bi-tabanlı süperiletken bileşiklerden en yüksek geçiş sıcaklığına sahip bileşik $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ olup geçiş sıcaklığı 110 K olarak belirlenmiştir. Sheng ve Hermann, 1987 yılı eylül ayında R-123 (R: Nadir toprak elementi) bileşiğinde, R yerine manyetik özelliği olmayan +3 değerlikli Tl getirerek elde ettikleri $TlBa_2Cu_3O_x$ bileşiğinin geçiş sıcaklığının 90 K üzerinde olduğunu buldular (Sheng and Hermann, 1988). 1988 yılı Şubat ayında ise, Tl-Ba-Ca-Cu-O bileşiğinde Ba atomuna Ca katkılanmasıyla geçiş sıcaklığın $T_c \approx 120$ K'e ulaştığını açıklandı. 1992 Eylül ayında Putillin ve arkadaşları (Putillin et al., 1993), tek bir CuO_2 düzlemi bulunan $HgBa_2CuO_x$ (Hg-1201) bileşiğinin süperiletken geçiş sıcaklığının 94 K olduğunu buldular. Bu buluşlar doğrultusunda süperiletken oksit bileşiklerinde bulunan CuO_2 düzlemlerinin sayısındaki artışın T_c 'yi yükselttiği ortaya çıktı. 1993 Nisan ayında Schilling ve arkadaşlarının (Schilling et al., 1993) 134 K geçiş sıcaklığına sahip $HgBa_2Ca_2Cu_3O_x$ bileşiğini açıklamalarının ardından belirli bir basınç altında bu bileşiğin geçiş sıcaklığının 153 K'e ulaştığı bulundu.

Çizelge 2.1'de bazı yüksek sıcaklık süperiletken bileşiklerin geçiş sıcaklığı, kristal yapısı, birim hücrede bulunan CuO_2 düzlemleri sayısı ve örgü parametrelerinin listesi verilmektedir. Bu listeden de görüldüğü gibi Bi-Sr-Ca-Cu-O, Tl-Ba-Ca-Cu-O ve Hg-Ba-Ca-Cu-O bileşiklerinin CuO_2 düzlemleri sayısı arttıkça T_c sıcaklıkları da buna bağlı olarak artmaktadır.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerin kristal yapısı oldukça anizotropik bir yapı gösterir. Bu durum, malzemenin hem fiziksel hem de mekaniksel özelliklerini etkiler. Yüksek sıcaklık oksit bileşikleri seramik yapıda olduklarından dolayı kırılğan bir özelliğe sahiptirler ve normal fazda oldukça kötü iletken oldukları için yalıtkan olarak da nitelendirilebilirler. Süperiletken faza geçtiklerinde ise, elektrik akımı bileşiğe göre a-b yönelimli CuO_2 ya da Bi_2O_3 düzlemlerindeki oksijen atomlarında indüklenen boşluklar tarafından taşınır. Malzeme c-ekseni

yöneliminde de elektrik akımını iletmesine rağmen bu akım genelde a-b yönelimli CuO_2 düzlemleri tarafından iletilen akım miktarından düşüktür. Bu durum, yüksek sıcaklık kupratlarında elektrik iletiminin oldukça anizotropik olduğunun bir göstergesidir. Koherens uzunluğu, girginlik derinliği ve enerji aralığı gibi süperiletkenlik özelliklerinin de anizotropik olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 2.1 Bazı yüksek sıcaklık süperiletken bileşiklerin T_c sıcaklığı, kristal yapısı ve örgü parametreleri. Çizelgedeki n^a , birim hücredeki CuO_2 düzlemleri sayısını göstermektedir (Khare, 2003).

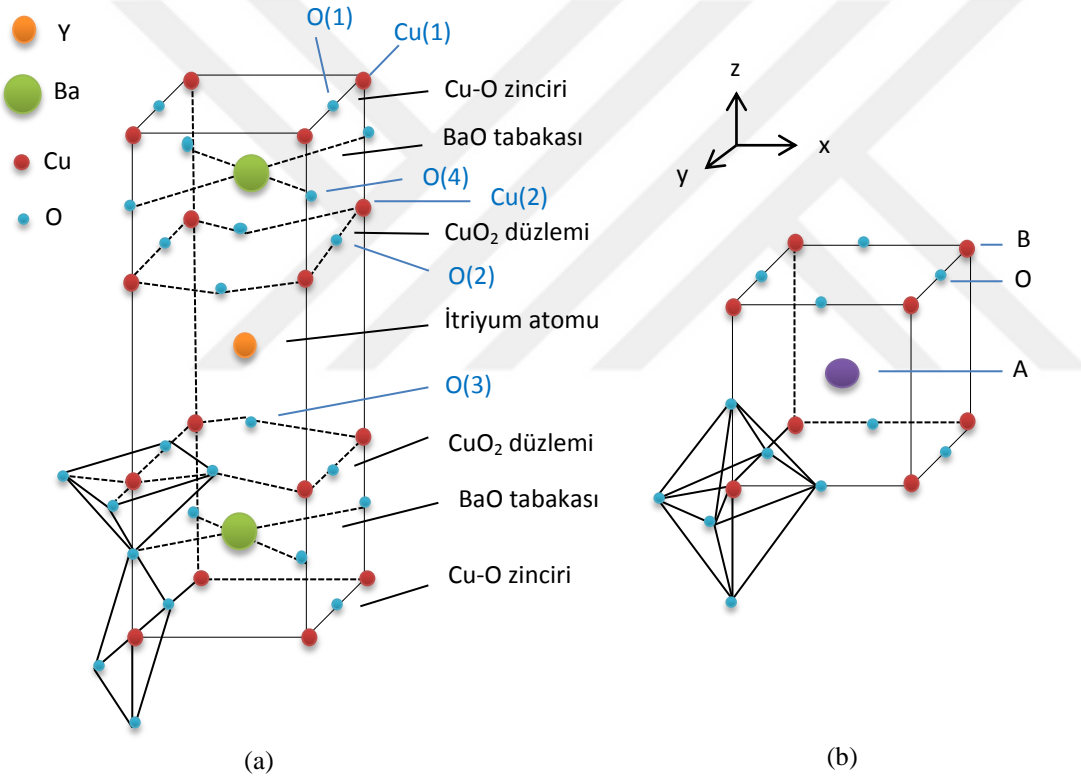
Yüksek sıcaklık süperiletkenleri					
Formül	Kısaca gösterimi	T_c (K)	n^a	Kristal yapısı	Kristal örgü parametreleri
$\text{La}_{1.6}\text{Ba}_{0.4}\text{CuO}$	214	30	1	Tetragonal	$a=3,79; c=13,21$
$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$	214	38	1	Tetragonal	$a=3,78; c=13,23$
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	123	92	2	Ortorombik	$a=3,82; b=3,89; c=11,68$
$\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$	124	80	2	Ortorombik	$a=3,84; b=3,87; c=27,23$
$\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{14}$	247	40	2	Ortorombik	$a=3,85; b=3,87; c=50,2$
$\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{18}$	358	102	1	Ortorombik	$a=3,88; b=3,82; c=31,01$
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$	Bi-2201	20	2	Tetragonal	$a=5,39; c=24,6$
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	Bi-2212	85	3	Tetragonal	$a=5,39; c=30,6$
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	Bi-2223	110	1	Tetragonal	$a=5,39; c=37,1$
$\text{TlBa}_2\text{CuO}_5$	Tl-1201	25	2	Tetragonal	$a=3,74; c=9,00$
$\text{TlBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$	Tl-1212	90	3	Tetragonal	$a=3,85; c=12,74$
$\text{TlBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$	Tl-1223	110	4	Tetragonal	$a=3,85; c=15,87$
$\text{TlBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{11}$	Tl-1234	122	1	Tetragonal	$a=3,86; c=19,01$
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_6$	Tl-2201	80	2	Tetragonal	$a=3,86; c=23,22$
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	Tl-2212	108	3	Tetragonal	$a=3,86; c=29,39$
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	Tl-2223	125	1	Tetragonal	$a=3,85; c=35,9$
$\text{HgBa}_2\text{CuO}_4$	Hg-1201	94	2	Tetragonal	$a=3,87; c=9,51$
$\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$	Hg-1212	128	3	Tetragonal	$a=3,85; c=12,66$
$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	Hg1223	134	1	Tetragonal	$a=3,85; c=15,78$
$(\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x)\text{CuO}_4$	T	30	1	Tetragonal	$a=3,94; c=12,07$
$(\text{Nd}, \text{CeSr})\text{CuO}_4$	T*	30		Tetragonal	$a=3,85; c=12,48$

Yüksek sıcaklık seramikleri perovskit yapılı bileşiklerdir. Bundan dolayı yapı içerisindeki atomlar özel bir dizilime sahiptir. Perovskitlerin genel formülleri ABX_3 şeklinde verilir ve her bir perovskit hücrede metalik katyonlar olan A ve B atomları ile metalik olmayan anyonlardan X (oksijen) atomu bulunur. İki metalden büyük olan A katyonu, 12 oksijen atomu ile uyum içinde olacak şekilde cisim merkezine yerleşir. B katyonu ise, köşelere yerleşir ve son olarak oksijen atomları ya da herhangi metalik olmayan anyonlar da köşelerin merkezine gelecek şekilde yerleşirler. Perovskit yapılı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinden Y123 ve Y358 bileşiklerinin kristal yapıları ile ilgili ayrıntılı bilgi bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

2.7 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Kristal Yapısı

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ bileşiği ortorombik perovskit kristal yapılı birim hücrelerden oluşur. Kristal yapısında, c-ekseni boyunca uzanan üç temel kübik perovskit birim hücre vardır (Şekil 2.13). Her perovskit birim hücrenin merkezinde Y ya da Ba atomu bulunur. Birim hücrenin merkezi boyunca üstte Ba, ortada Y ve altta Ba atomu gelecek şekilde sıralanır. Böylelikle Y ve Ba atomları c-ekseni boyunca [Ba-Y-Ba] sırası oluşacak şekilde kümelenirler. Birim hücrenin bütün köşeleri ise Cu(1) ve Cu(2) olmak üzere oksijen bakımından iki farklı düzene sahip Cu atomları ile işgal edilmiştir. Oksijen atomları için de O(1), O(2), O(3) ve O(4) olmak üzere dört olası kristalografik konum mevcuttur. ABO_3 perovskit birim hücrelerinin üç katı alındığında oksijen atomları sayısı 9 olur. Ancak $YBa_2Cu_3O_7$ bileşiği, yapısında 2 oksijen atomu eksik olup toplam 7 oksijen atomu barındırır. 90 K geçiş sıcaklığına sahip olan $YBa_2Cu_3O_7$ bileşiğinin kristal yapısı perovskit yapıdan saptığı için oksijen eksikliği olan perovskit yapı (an oxygen-deficient perovskite structure) olarak da anılmaktadır. Oksijen atomları eksikliği, Y düzlemindeki oksijen sayısındaki azalmadan kaynaklıdır. $YBa_2Cu_3O_7$ bileşiği ideal perovskit yapılı bir bileşik olmuş olsaydı Y atomunun çevresinde sarılı 12 yerine 8 oksijen atomu bulunurdu. $YBa_2Cu_3O_7$ 'nin birim hücresinin alt ve üst düzlemlerindeki oksijen atomları sayısındaki azalma [100] yönündedir ve bu da bize [010] yönündeki Cu-O zincirlerini verir. Yine oksijen eksikliğinden dolayı Ba atomu çevresinde 12 yerine 10 oksijen atomu bulunur. Kristal yapıdaki (xy) düzlemi boyunca düzlem ve zincirlerin dizilimi şu şekildedir: (CuO)(BaO)(CuO₂)(Y)(CuO₂)(BaO)(CuO). $YBa_2Cu_3O_7$ bileşiğinin birim hücrelerinde bulunan CuO₂ düzlemleri birbirinden Y düzlemi ile ayrılır. Ayrıca yapıda bulunan Cu-O zincirleri de süperiletkenlik için önemli bir yere sahiptir. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ bileşiğinin Cu-O zincirlerine oksijen eklenerek ya da çıkarılarak

kristal yapısı değiştirilebilir. Oksijen miktarı $\delta \approx 0,15$ için, yapı ortorombik olup süperiletken özellik gösterir ve geçiş sıcaklığı maksimum değerine ($T_c=92$ K) ulaşır. $\delta \approx 0,6$ değerine ulaştığında ise, yapı ortorombikten tetragonal hale geçerek süperiletkenlik özelliğini kaybeder. $\delta \approx 1$ değerinde artık Cu-O zincirlerinde oksijen atomu bulunmadığı için $T_c=0$ 'dır. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ bileşiğinde bulunan oksijen miktarına bağlı olarak örgü parametre değerleri de değişim göstermektedir. Ortorombik yapıdaki $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ bileşiğinin örgü parametreleri: $a=3,823$ Å, $b=3,885$ Å, $c=11,7$ Å iken, tetragonal yapıdaki $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ bileşiğinin örgü parametreleri ise, $a=b=3,86$ Å, $c=11,7$ Å olarak bulunmuştur (Saxena,2012). Ayrıca, malzemedeki δ kısmi oksijen değeri, sıcaklık ve kısmi oksijen basıncı gibi malzemenin hazırlama koşullarına bağlıdır.



Şekil 2.13 (a) $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ bileşiğinin ortorombik kristal yapısının ve (b) ABO_3 perovskit kristal yapısının gösterimi.

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ bileşiğinin anizotropik bir yapıda olması, onun elektriksel özelliklerinin de anizotropik olduğunu yansıtır. Bu bileşiğin koherens uzunluğu, girginlik derinliği, akım yoğunluğu ve kritik manyetik alan değerlerinin anizotropik özellik taşıdığı Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 YBa₂Cu₃O_{7-δ}'nin elektriksel özelliklerindeki anizotropiklik. (Saxena,2012).

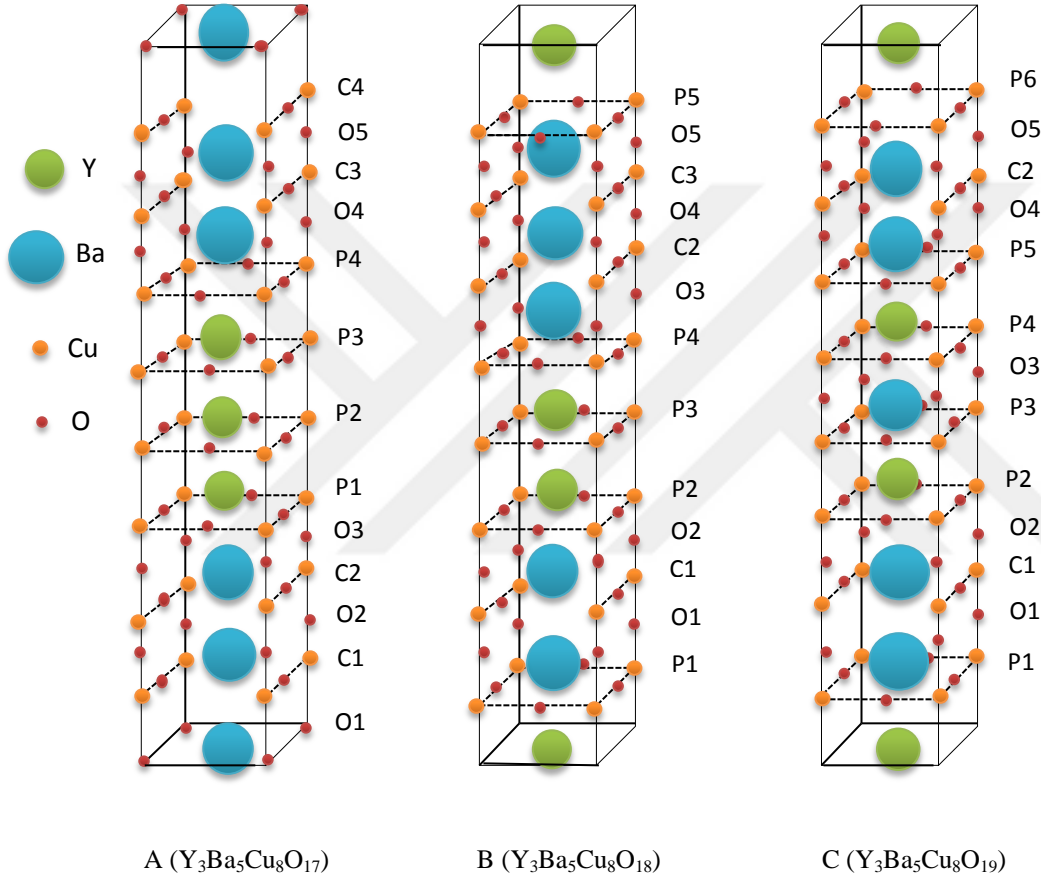
	c-eksenine paralel	ab-düzlemine paralel
ξ (Å)	~2-3	~15-20
λ (Å)	1,500	7,500
J_C (Acm ⁻² , 77K'de)	10 ⁴	10 ⁶
H_{c2}	150 T	30 T

2.8 Y₃Ba₅Cu₈O_{18-δ} Kristal Yapısı

YBCO ailesinin her bir Y-tabanlı bileşiğinin kristal yapısında farklı sayıda CuO₂ düzlemi ve CuO zinciri bulunmaktadır. Bu CuO₂ düzlemi ve CuO zincirinin sayısı, malzemenin geçiş sıcaklığını ve fiziksel özelliklerini etkiler. Örneğin, Y123 bileşiğinin yapısında bulunan iki CuO₂ düzlemi ve bir CuO zinciri ile geçiş sıcaklığı $T_c=92-94$ K değerini gösterirken, yapısında iki CuO₂ düzlemi ve bir çift CuO zinciri bulunan Y124 bileşiğinin ise geçiş sıcaklığı $T_c \approx 80$ K'dir.

2009 yılında keşfedilen YBCO ailesinin yeni üyesi Y₃Ba₅Cu₈O_{18-δ} (Y358) bileşiğinin geçiş sıcaklığı $T_c \geq 100$ K olarak bulunmuştur (Aliabadi et al., 2009). Bu bileşiğin geçiş sıcaklığını yüksek olması, kristal yapısında bulundurduğu Cu-O zincirlerindeki boşluk yoğunluğunun daha düşük miktarda olmasından kaynaklı olduğu ortaya konulmuştur (Gholipour et al., 2011). Y358 bileşiğinin yapısında beş CuO₂ düzlemi ve üç CuO zinciri bulunmaktadır ve kristal yapısında bulunan CuO₂ düzlemleri, üç CuO₂ düzlemi ve iki CuO₂ düzlemi olmak üzere iki ayrı düzen oluşturacak şekilde kendi içerisinde gruplandırılır. Burada bulunan üç CuO₂ düzlemi, diğer iki CuO₂ düzleminden BaO tabakaları ile ayrılır. Yapılan çalışmalardaki teorik hesaplamalar sonucunda Y358 sistemindeki beş CuO₂ düzleminden dördünde yük taşıyıcısı görevi gören boşluk yoğunluğu artarken, kalan bir CuO₂ düzleminde ise “apikal oksijeni eksikliği (no apical oxygen)” olarak belirtilen oksijen eksikliğinden kaynaklı olarak yük taşıyıcı yoğunluğunda azalma meydana geldiğini bulunmuştur. Bu oksijen eksikliği problemi, sisteme

üstten katkıli düzlem eklenmesiyle ortadan kaldırılabilir. Daha genel bir ifadeyle, daha yüksek geçiş sıcaklığına sahip daha iyi YBCO süperiletkenleri elde etmek için yük deposu görevi gören Cu-O zincirlerinden CuO_2 düzlemlerine yük taşıyıcıların (oksijen) pompalanması gerekir. (Tavana et al., 2010).



Şekil 2.14 A ($\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{17}$), B ($\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{18}$) ve C ($\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{19}$) bileşiklerinin kristal yapıları. C1-C4, P1-P6 ve O1-O5 sırayla Cu-O zincirlerini, CuO_2 düzlemlerini ve oksijen atomlarını göstermektedir.

Şekil 2.14'te Y358 sisteminin A, B ve C olarak adlandırdığımız sırasıyla $\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{17}$, $\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{18}$ ve $\text{Y}_3\text{Ba}_5\text{Cu}_8\text{O}_{19}$ bileşiklerinin her birinin kristal yapısı verilmiştir. Her bir bileşiğin kristal yapısı perovskit yapıda olup CuO_2 düzlemleri ve Cu-O zincirleri örgü içinde kendine özgü belli bir düzene sahiptir ve oksijen atomları sayısındaki farklılığın geçiş sıcaklığını etkilediğini daha önce

de bahsetmiştik. A bileşiğinin yapısında; dört CuO_2 düzlemi, dört Cu-O zinciri ve 17 oksijen iyonu vardır. B bileşiği ise yapısında; beş CuO_2 düzlemi, üç Cu-O zinciri ve 18 oksijen iyonu bulundurmaktadır. Son olarak da C bileşiğinin kristal örgü hücresinde; altı CuO_2 düzlemi, iki Cu-O zinciri ve 19 oksijen iyonu mevcuttur. Y358 sisteminde bulunan bileşiklerin yapılarındaki CuO_2 düzlemi ve Cu-O zinciri sayılarındaki farklılık, bu bileşiklerin örgü parametre değerlerini de etkilemektedir. Y358 sistemi için $a=3,845 \text{ \AA}$, $b=3,894 \text{ \AA}$ ve $c=31,093 \text{ \AA}$ örgü parametre değerleri referans alındığında A, B ve C bileşiklerin örgü parametre değerlerinde küçük sapmalar meydana geldiği ortaya konulmuştur (Krosroabadi et al.,2014). Ayrıca, referans alınan Y358 bileşiğinin örgü parametre değerleri, bir önceki bölümde açıkladığımız Y123 bileşiğinin örgü parametre değerleri ile karşılaştırıldığında, a ve b örgü parametre değerlerinin birbirine çok yakın değerlerde olmasına rağmen Y358 bileşiğinin c örgü parametre değeri, Y123 bileşiğininin yaklaşık üç katı değerinde olduğu görülmektedir. Bu durumun, iki bileşiğin yapısında bulundukları CuO_2 düzlemi ve Cu-O zinciri sayısının farklı olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

A bileşiğinin yapısındaki P1 ve P2 düzlemi ile B bileşiğinin yapısındaki P3 düzlemi haricindeki diğer bütün CuO_2 düzlemlerinde apikal oksijen bulunur. Bu apikal oksijen, CuO_2 düzlemleri ile Cu-O zincirleri arasındaki yük transferinde önemli bir yere sahiptir. Örneğin, apikal oksijen CuO_2 düzlemine doğru hareket ettiğinde CuO_2 düzleminde yük taşıyıcı yoğunluğu sayısı artar ve bunun bir sonucu olarak da T_c artar. Buna göre, C bileşiğinin yapısındaki oksijenlerin hepsinin apikal olmasından dolayı diğer A ve B bileşiklerine göre geçiş sıcaklığının daha yüksek olması beklenir.

3. MATERYAL VE METOT

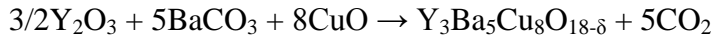
3.1 Örneklerin Hazırlanması

$Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ (Y358) saf bileşiğinin hazırlanması için ideal üretim ısıl işlem süreci belirlendi. Gerekli parametrelerin optimize edilmesi ile saf Y358 bileşiği, standart katı-hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı. Saf Y358 bileşiğine molar oranlarda $x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ olacak şekilde Ag katkılması yapılarak beş farklı katkı oranlı $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ (Ag-Y358) bileşikleri hazırlandı ve saf Y358 ile aynı ısıl işlem süreci kullanıldı. $x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ molar oranlarda Ag katkısı yapılan Y358 örneklerine sırasıyla A, B, C, D, E, F olarak isimlendirildi.

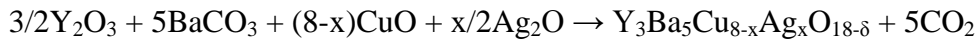
3.1.1 Katı-Hal tepkime yöntemiyle örneklerin hazırlanması

$Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ ve $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerini hazırlamak için ilk olarak, yüksek saflıktaki Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO ve Ag_2O tozları aşağıda belirtilen formüllerden yararlanarak stokiyometrik oranlarda $\pm 0,1$ mg duyarlılıktaki hassas terazide tartıldı. Kullanılan tozların molekül ağırlıkları ve saflık dereceleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Saf Y358 bileşiğinin kimyasal reaksiyon formülü:



Ag-Y358 bileşiğinin kimyasal reaksiyon formülü:



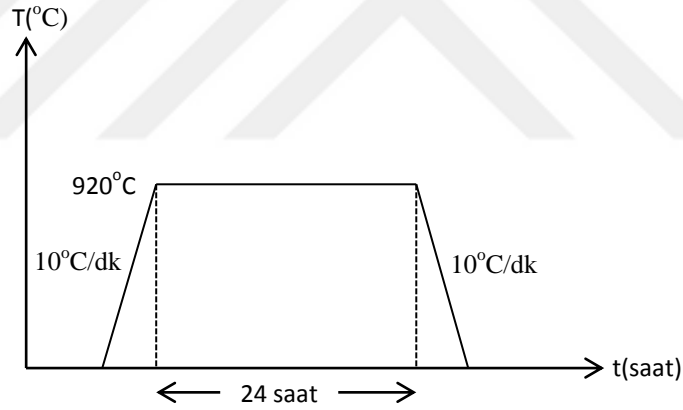
Çizelge 3.1 Kullanılan tozların isimleri, saflık dereceleri ve molekül ağırlıkları.

Tozun Adı	Sembolü	Saflık Derecesi (%)	Molekül Ağırlığı (mol/g)
İtriyum oksit	Y_2O_3	99,99	225,81
Baryum karbonat	$BaCO_3$	99,99	197,35
Bakır oksit	CuO	99,99	79,54
Gümüş oksit	Ag_2O	99,99	231,74

Stokiyometrik oranlarda tartılan tozlar agat havan içerisinde mekanik yolla karıştırılarak toz karışımı haline getirildikten sonra homojen hale gelinceye kadar (yaklaşık 3 saat) öğütüldü. Homojen hale gelen tozlar alümina (Al_2O_3) potaya yerleştirilerek ilk ısıl işlem olan kalsinasyona hazır hale getirildi.

3.1.2 Kalsinasyon işlemi

Alümina potaya konulan homojen tozları ısıl işleme tabi tutmak için Euroterm marka tüp fırına yerleştirildi. Otomatik kontrollü tüp fırın $10^{\circ}C/dk$ hızla $920^{\circ}C$ 'ye çıkarıldı ve bu sıcaklıkta 24 saat kalsine edilen tozlar $10^{\circ}C/dk$ hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Bu kalsinasyon işleminin ardından tozlar agat havanda yaklaşık 3 saat öğütülerek aynı kalsinasyon işlemi ikinci kez tekrarlanmıştır. Kalsinasyon işleminde uygulanan ısıl işlem süreci Şekil 3.1'de gösterilmektedir. II. kalsinasyon işleminin ardından tozlar 2,5-3 saatlik bir öğütme işlemi sonrasında sinterleme işlemine hazır olması için tablet haline getirilmiştir.

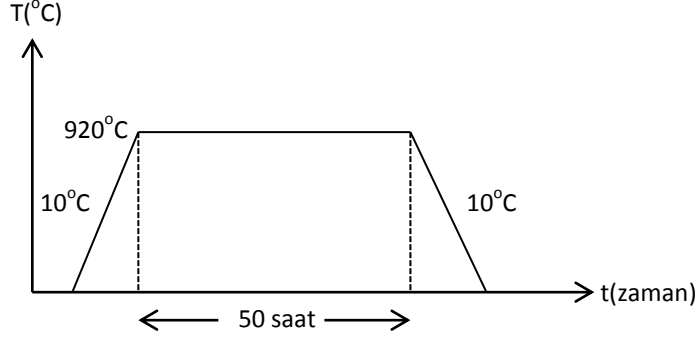


Şekil 3.1 Örnekleri hazırlanmasında kullanılan I. ve II. kalsinasyon işlemi prosesi.

3.1.3 Sinterleme işlemi

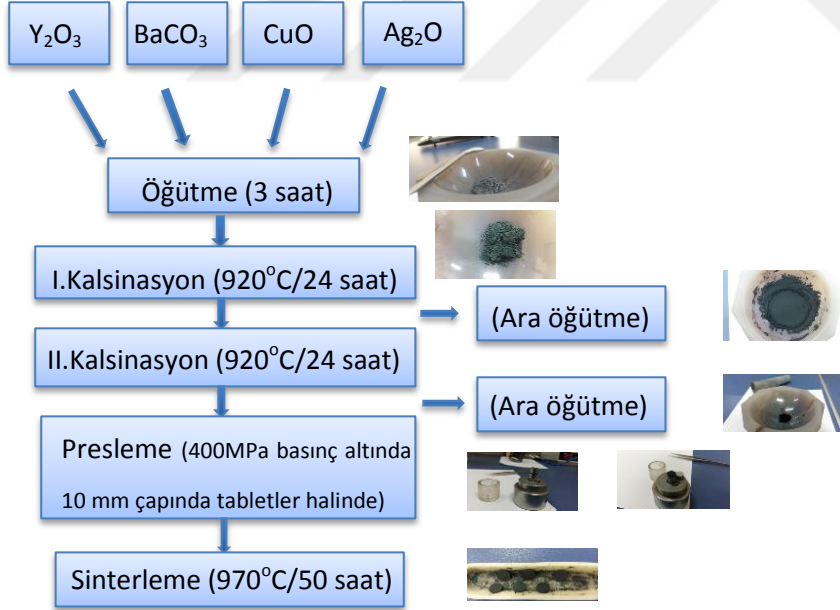
Kalsinasyon işleminin ardından öğütülen tozlar, özel kalıplar içerisinde yerleştirilerek hidrolik pres yardımı ile 400 MPa basınç altında 10 mm çapında yaklaşık 1-3 mm kalınlığında tabletler (peletler) haline getirildi. Hazırlanan tabletler alümina pota içerisinde eğik olacak şekilde sıralanır. Tüp fırına yerleştirilen tabletler $10^{\circ}C/dk$ hızla ısıtma ile $970^{\circ}C$ 'ye ısıtılarak bu sıcaklıkta 50

saat tutuldu ve ardından $10^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Sinterleme işlemi süreci Şekil 3.2’de şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.2 Örnekleri hazırlanmasında kullanılan sinterleme işlemi prosesi.

Örnekleri katı-hal tepkime yöntemiyle hazırlama sürecinin görsel özeti Şekil 3.3’te gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Örnekleri hazırlama süreci.

3.2 X-Işını Kırınım Ölçümleri

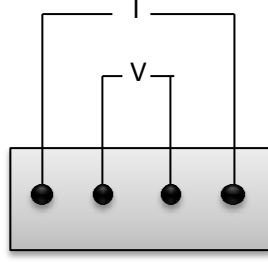
Saf Y358 ve Ag-Y358 örneklerinin X-ışını kırınım ölçümleri, Rigaku Multiflex marka difraktometresinde bakır hedefe 36 kV'luk gerilim ve 26 mA'lık akım uygulanarak elde edilen CuK_{α} ışınları gönderilmesi ile ölçülmüştür. $20^{\circ} \leq 2\theta \leq 80^{\circ}$ aralığı için $2^{\circ}/dk$ tarama hızı ile 0.02 adımlarla ölçümler alınmıştır.

3.3 AC Elektriksel Direnç Ölçümleri

Hazırlanan örneklerin direnç-sıcaklık ölçümü dört uç yöntemi ile alternatif akım kullanılarak yapıldı. Dört uç yöntemi kullanarak, kontaklar için kullanılan bakır telin direnci ve her bir bakır tel ile malzeme arasındaki kontak direnci gibi istenmeyen dirençlerin ortadan kaldırılması sağlanır. AC direnç ölçümü için, SR-530 iki kanallı Lock-in yükselteç, Lakeshore 331 sıcaklık kontrolcüsü kullanıldı.

Lock-in yükselteçler birkaç nanovolt mertebesindeki çok küçük AC sinyalleri ölçebilmektedir. Ölçmek istenilen sinyaller gürültü sinyallerinden küçük olduğu durumlarda bu yükselteçler kullanılarak ölçüm yapılabilir. Bu yükselteçler sayesinde gürültü sinyalleri elimine edilebilir. Çünkü Lock-in yükselteç, sadece ölçülmesi istenen frekansı ya da bu frekans değerine yakın frekansları ölçebilir (yani istenilen frekansa kilitlenir). Yükseltece gelen çok küçük sinyallerden referans sinyali ile aynı olan sinyallerin etkin değerini ölçerek gerilimi yükseltir ve çıkışa iletir. Ayrıca bu yükselteç, termoelektrik etki olarak bilinen sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan AC ya da DC gerilimleri de azaltır.

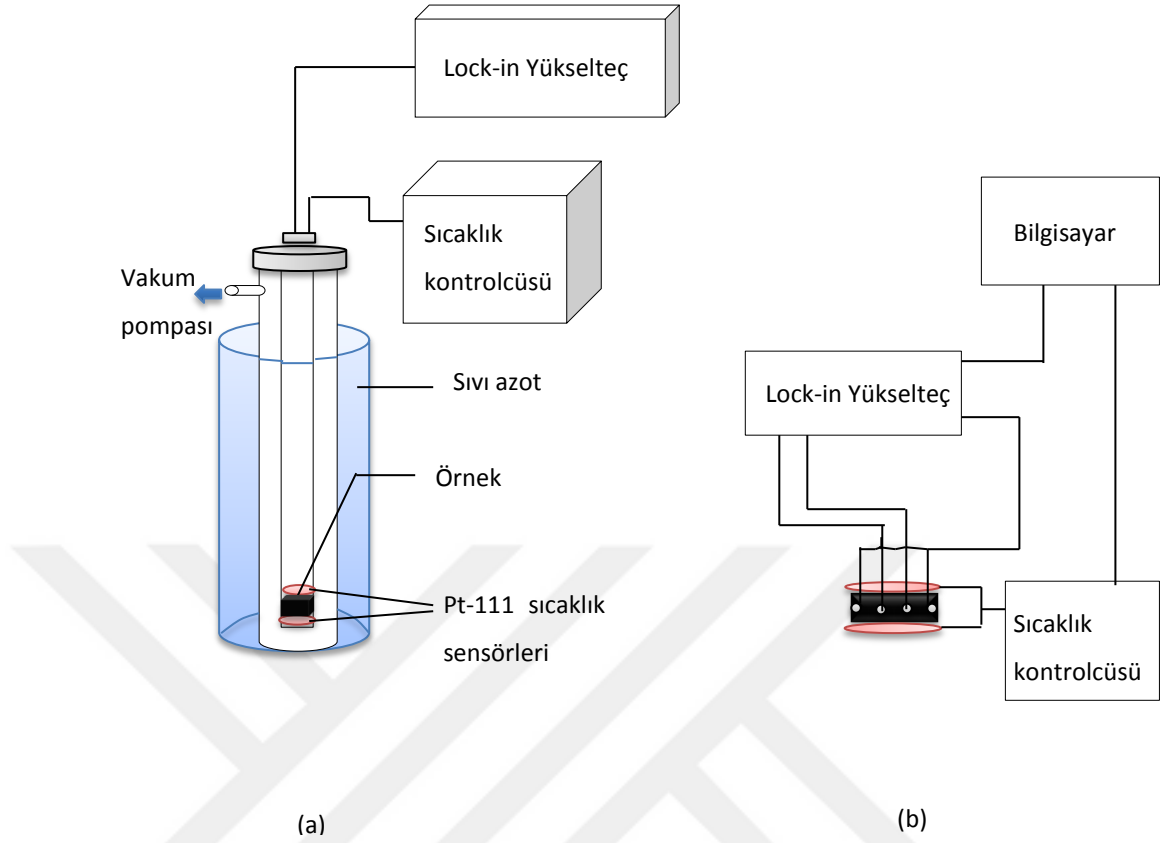
Dirençleri ölçülecek olan örnekler dikdörtgenler prizması şeklinde kesilerek zımpara kâğıdı ile inceltildi ve örnek tutucu üzerine yerleştirilmeden önce tutucunun yüzeyine gres yağı sürüldü. Ardından dört uç yöntemine uygun olacak şekilde yapılan elektriksel bağlantılar için 0.05 mm çapında bakır teller kullanıldı ve bu tellerin gümüş pasta ile örneklere yapışması sağlanarak örnek ile bakır teller arasında kontak oluşturuldu (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Dört nokta yönteminden yararlanılarak yapılan örneklerin elektriksel bağlantıları.

Hazırlanılan her bir örneğin sıcaklığa bağlı olarak dirençlerindeki değişimi gözlemek için tutucuya yerleştirilen örneğin elektriksel bağlantıları yapıldıktan sonra örnek tutucu vakumlanabilen pyreks cam kriyostat içine yerleştirilerek 15 dakikalık bir ön vakuma tabi tutulur. Ön vakumdan sonra pyreks cam kriyostat vakum altında boş bir devara yerleştirilir ve hemen ardından içinde pyreks cam kriyostatın bulunduğu devara yavaş yavaş sıvı azot konularak sistemin vakum altında kontrollü olarak soğutulması sağlanır. Böylece örneğin direncinin sıcaklık ile değişimini en hassas şekilde gözleyebilme imkânı sağlanmış olur. Örneğin akım uçlarına 10 Hz frekanslı alternatif akım uyguladı. Örneğin potansiyel uçları ise Lock-in yükseltecin A ve B sinyal girişlerine bağlandı. Örneğin potansiyel uçlarında meydana gelen gerilim farkının referans sinyali ile aynı fazlı olan kısmının etkin değeri Lock-in yükselteç aracılığıyla ölçülür ve bu değeri bir milyon kez büyütürük çıkışa iletir. Örnekten gelen sinyallerin sadece referans sinyali ile aynı fazdaki kısımlarının ölçülmesi Lock-in yükseltecin bir özelliği olup bu sayede gürültü olarak nitelendirdiğimiz farklı fazlardaki sinyallerin yaratacakları olumsuz etkiler önlenmektedir. Lock-in yükseltecin çıkışına iletilen sinyaller ve ölçüm boyunca örnek tutucuya örneğin alt ve üst sınırlarına gelecek şekilde yerleştirilmiş iki adet Pt-111 sıcaklık sensörleri yardımıyla Lakeshore 331 sıcaklık kontrolcüsü tarafından alınan sıcaklık değerleri Labview programı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır.

Şekil 3.5’de dört nokta uç yöntemi kullanılarak alınan AC direnç ölçüm sistemi ve örnek üzerindeki elektriksel bağlantılar gösterilmektedir.



Şekil 3.5 (a) AC direnç ölçüm sistemi. (b) Örnek üzerine yapılan elektriksel bağlantılar.

3.4 AC Manyetik Duygunluk–Sıcaklık Ölçümleri

Yüksek sıcaklık süperiletken malzemeleri karakterize etmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri de sıcaklığa bağlı olarak değişen AC manyetik duyunluk ölçümüdür (Youssif et al., 2000). Bu ölçüm tekniği ile örneklerin süperiletken faz geçiş sıcaklığı (T_c) belirlenebilmesinin yanı sıra örneklerin süperiletken faza geçişleri sırasında değişen manyetizasyon sinyali sayesinde örneğin yapısal özellikleri karakterize edilebilir.

Mıknatıslanan örneklerin manyetizasyonu M ;

$$M = \frac{m}{V} \quad (3.4.1)$$

olarak ifade edilir. Bağtıda yer alan m , birim hacim başına manyetik momenti belirtmektedir.

İzotropik bir malzemenin manyetik duygunluğu χ , düzgün dağılımlı bir manyetik alan içerisinde uzunlamasına yerleştirilmiş sonsuz uzunluktaki bir çubuk tarafından elde edilen manyetizasyon şiddeti olarak tanımlanabilir. Bu durumda manyetik alınganlık, M mıknatıslanmanın H manyetik alan şiddetine oranı olarak ifade edilebilir;

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (3.4.2)$$

Bu ifadeye göre manyetik duygunluk χ , malzemenin manyetik özelliğinin bir ölçüsü olup uygulanan H manyetik alanına karşı malzemenin verdiği tepkiyi gösterir.

(3.4.1) ve (3.4.2) denklemlerinden yararlanılarak AC manyetik duygunluk;

$$\chi_{ac} = \frac{dm}{dH_{ac}V} = \frac{dM}{dH} \quad (3.4.3)$$

olarak elde edilir. Aslında, AC manyetik duygunluk manyetizasyon eğrisinin (M - H) bir eğimidir.

AC manyetik duygunluğun teorisi incelendiğinde duygunluğun aslında bir karmaşık fonksiyon olduğu ve manyetik duygunluğun reel bileşeninin χ' , imajiner bileşeninin ise χ'' şeklinde ifade edildiği görülmektedir. AC manyetik duygunluğu ölçülen yeterince uzun bir levhayı ele aldığımızda bu malzemeye $f = \frac{\omega}{2\pi}$ frekanslı hem \vec{B}_{dc} dc statik manyetik alan hem de \vec{B}_{ac} ac manyetik alandan oluşan bir alan uygulanmaktadır. Bu toplam alan $\vec{B}_{dış} = \vec{B}_{dc} + \vec{B}_{ac}$ kadardır. Toplam alanın genliği \vec{B}_a olmak üzere levhaya uygulanan alternatif manyetik alan;

$$\vec{B}_{ac} = \vec{B}_a \cos(\omega t) \quad (3.4.4)$$

şeklinde olup levhanın yüzeyine paralel olarak uygulanır. Örneğin kesit alanına (A) bağlı olarak örneğin içinden geçen manyetik akı Φ_m ;

$$\Phi_m = A\bar{B} = \int_A B dA \quad (3.4.5)$$

olarak ifade edilir. \bar{B} manyetik alanın ortalama değeri, zamanın bir fonksiyonudur ve toplayıcı bobinin voltajını kontrol eder;

$$V_m(t) = -\frac{\partial \Phi_m(t)}{\partial t} = -A \frac{\partial \bar{B}(t)}{\partial t} \quad (3.4.6)$$

Akı yoğunluğuna bağlı olarak örneğin manyetizasyonu;

$$M(t) = \bar{B}(t) - B_{dış}(t) = \frac{\Phi_m(t)}{A} - B_{dış}(t) \quad (3.4.7)$$

şeklinindedir. Buna göre kompleks AC manyetik duygunluk bileşenleri;

$$\chi' = \frac{1}{\pi B_a} \int_0^{2\pi} M(\omega t) \cos(\omega t) d(\omega t) \quad (3.4.8)$$

$$\chi'' = \frac{1}{\pi B_a} \int_0^{2\pi} M(\omega t) \sin(\omega t) d(\omega t) \quad (3.4.9)$$

olarak tanımlanır. Burada χ' bileşeni manyetik alınganlığın reel bileşeni iken χ'' bileşeni de imajner bileşeni olup bu bileşen AC alanın her devrinde oluşan ısı enerjisini belirtir:

$W_q < 0$ ve $\chi'' > 0$ olmak üzere,

$$W_q = -2\pi \chi'' \frac{B_a^2}{2\mu_0} \quad (3.4.10)$$

Bu sayede ölçümler sırasında Lock-in yükselteç kullanarak AC kaybı belirleyebiliriz (Gömöry, 1997).

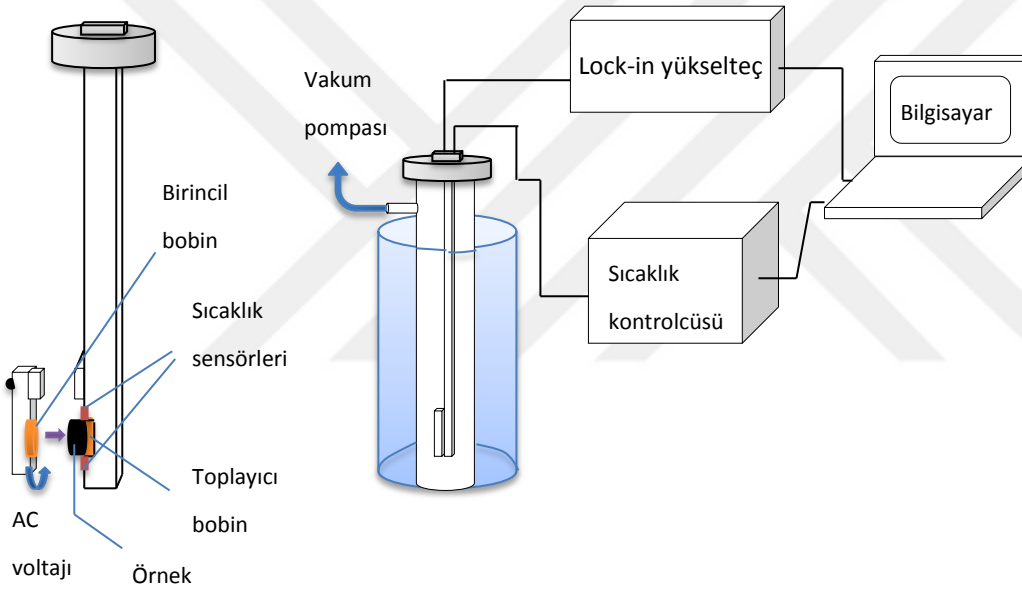
Depolanan manyetik enerjini zamana göre ortalaması ise;

$$W_m = \chi' \frac{B_a^2}{2\mu_0} \quad (3.4.11)$$

olarak verilir ve normal fazda bu değer $W_m (T > T_c) = 0$ dir.

AC manyetik duygunluk ölçüm sistemi, sıcaklık ve frekansın bir fonksiyonu olarak manyetik duygunluğu ölçebildiği gibi aynı zamanda manyetik duygunluğu, reel bileşeni χ' ve imajner bileşeni χ'' olan her bir bileşeni ölçebilme özelliğine sahiptir (Youssif et al., 2000).

Süperiletkenlerin AC manyetik duygunluk ölçümlerinde kullanılan yöntemlerin arasında en sık rastlanılan karşılıklı indüktans yöntemidir. Bu yöntemde Şekil 3.6'da görüldüğü gibi birbirleri ile karşılıklı gelecek şekilde yerleştirilen birincil ve ikincil (toplayıcı) olarak adlandırılan iki eş ve zıt sarımlı bobin kullanılır. Birincil bobin akım ile beslendiğinde karşılıklı indüktanstan kaynaklı ikincil bobinde de bir gerilim indüklenir. Süperiletken bir örnek ikincil bobinin üzerinde duracak şekilde yerleştirildiğinde ikincil bobinde indüklenen voltajın dengesi bozularak bu bobinde bir akı değişimi meydana gelir ve buna bağlı olarak ikincil bobinin uçları arasında, süperiletken örneğin mıknatıslanmasının zamana göre türevi ile orantılı bir voltaj değeri ölçülür.



Şekil 3.6 AC manyetik duygunluk sisteminin blok diyagramı.

AC manyetik duygunluk-sıcaklık ölçüm sisteminde SR-530 iki kanallı Lock-in yükselteç, Lakeshore 331 sıcaklık kontrolcüsü, karşılıklı olacak şekilde yerleştirilmiş iki bobininin ve örneğin alt ve üstünde yer alan sıcaklık sensörlerinin bulunduğu bir örnek tutucu vardır. Ayrıca, bu sistemde örnek tutucuya yerleştirilen örneğin kontrollü soğumasını sağlayan pyreks cam kriyostat ve ölçüm verilerini bilgisayara aktarmak için Labview programı kullanılmıştır. $V_{AC}=1$ V ve $f=1$ KHz frekanslı sinyalin oda sıcaklığında kriyostat sistemi içinde bulunan örnek üzerine uygulanmasının ardında örnekler 77 K sıcaklığına kadar

soğutularak normal fazda süperiletken faza geçiş sırasında meydana gelen AC manyetik duygunluk sinyalleri bilgisayar programı üzerinden kaydedildi.

AC manyetik duygunluk ölçüm verileri, AC manyetik alan genliğine ve AC frekansına bağlıdır. Büyük genlikli AC alanlarda AC kayıplarını belirten χ'' imajiner kısmında düşük sıcaklıkta geniş bir pik ve T_c civarında dar bir pik olmak üzere iki pik görülmüştür (Müller et al., 1991). Ayrıca yapılan diğer çalışmalar sonucunda AC manyetik duygunluk verilerinin özellikle polikristal yapıya sahip örneklerin yapısında bulunan safsızlıklar ve üretim koşullarına bağlı olarak imajiner ve reel kısımlarında sıcaklığa bağlı geçiş daha geniş bir alana yayıldığı ortaya çıkmıştır (Hein, 1986; Campbell et al., 1997). Ortaya çıkan bu durumlar, Bean kritik hal modelinin (Bean, 1964) ortaya atılmasının ardında P. W. Anderson (Anderson, 1962) ve T. Ishida (Ishida et al., 1981) tarafından geliştirilen bu modele göre süperiletken örnek içinde bulunan süperiletken tanecikler içi ve tanecikler arasından hareket eden akı girdapları ile açıklanabilmektedir. Buna göre, süperiletken örneğin içerisinde bulunan tanecikler (grain) tanecik sınırları boyunca zayıf bağlarla bağlıdırlar. Süperiletken bir örnek normal durumda üzerine uygulanan manyetik alanın tamamını içine nüfuz eder. Örnek soğutulmaya başlandığında ilk olarak geçiş sıcaklığı yüksek olan süperiletken taneciklerde (T_{cg1}) Meissner etkisi görülerek manyetik alanı dışlarlar ve bu durum diyamanyetik sinyalin sıcaklığa bağlı değişiminin $\chi'-T$ reel kısmında hızlı bir düşüş ve ardından gelen düz bir bölge olarak görülür. Bu düz bölge, daha düşük geçiş sıcaklığında (T_{cg2}) oluşacak ikinci bir düşüşe kadar devam eder. İlk düşüş aralığında uygulanan H_a manyetik alandan kaynaklı akı girdapları, süperiletken faza geçen tanecikler tarafından tanecikler arasına doğru itilirler ($H_{cg1} > H_a$). Bu itmeden dolayı girdap akım kaybı (eddy-current losses) olarak da bilinen bir enerji kaybı meydana gelir ve bu kayıp, $\chi''-T$ imajiner kısmında küçük bir pik olarak görülür. Sıcaklık daha da düşürüldüğünde geçiş sıcaklığı daha düşük olan tanecikler de süperiletken faza geçer ve süperiletken faza geçen taneciklerin artmasıyla Josephson ortamı olarak da anılan tanecikler arasında kalan bölgelerin de süperiletken faza geçmesi sonucunda tanecik arası etkileşim (intergrain coupling) meydana gelir. Bu durum ise, $\chi'-T$ reel kısmında daha düşük değerdeki T_{cg2} geçiş sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda hızlı bir ikinci düşüş olarak görülür. Çok daha düşük sıcaklıklarda örnek tamamen süperiletken faza geçerek uygulanan manyetik alanda kaynaklı manyetik akıyı tamamen dışarı iterler ve böylelikle $\chi'-T$ eğrisi doygunluğa ulaşır. $\chi'-T$ reel kısımda görülen ikinci düşüşten itibaren tanecik arası etkileşimin meydana gelmesi sonucunda örnek içine nüfuz eden manyetik akı örnekten tamamen dışarı itilir ve bu sırada oluşan enerji kaybı, $\chi''-T$

imajiner kısımda büyük bir pik olarak kendini gösterir. Normal fazdan süperiletken faza geçiş esnasında imajiner kısımda oluşan piklerin şiddeti ve reel kısımda görülen eğrinin keskinliği, hazırlanan malzemenin kristal yapısına ve içerdiği safsızlığa bağlı olarak değişir. Örneğin, homojen ve büyük hacimli süperiletken taneciklere sahip olan bir malzemenin manyetik duyunluğunun χ' -T reel kısmında görülen geçiş eğrisinin keskin olması, χ'' -T imajiner kısımda oluşan pikin ise düşük şiddetli ve genellikle tek bir pik olarak kendini göstermesi beklenir. Polikristal yapıya sahip bir malzemenin kristal yapısından dolayı süperiletken tanecikleri küçük ve dağınıktır. Böyle bir malzemede manyetik duyunluğun χ' -T reel kısmında tanecik içi ve tanecikler arasında görülen diyamanyetik tepki daha belirgin bir hale gelir ve geçiş eğrisinin daha geniş bir aralığa yayılmasının yanı sıra χ'' -T imajiner kısımda şiddetli iki pik oluşması beklenir.



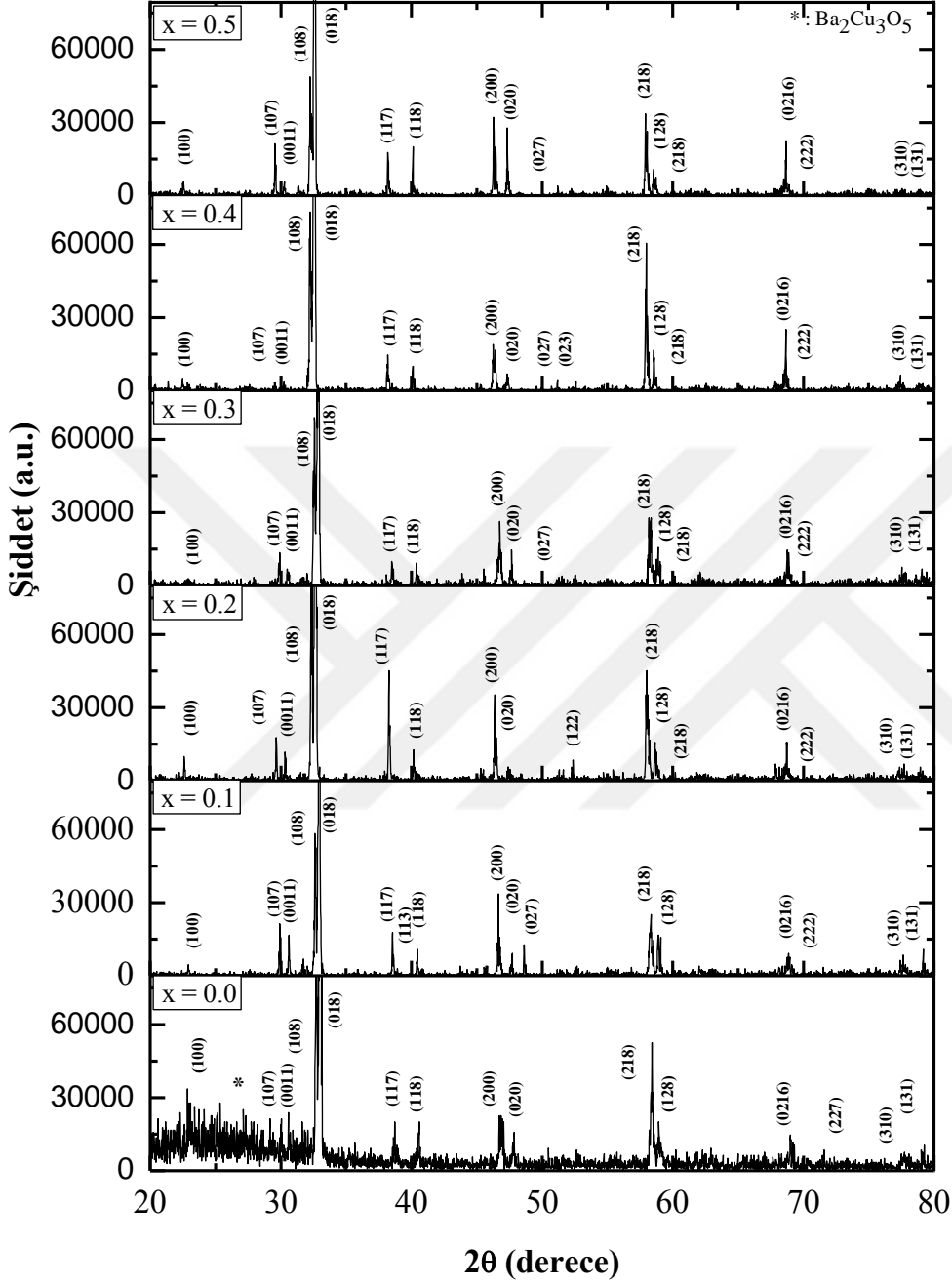
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada saf $Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ (Y358) örneğine $x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ farklı katyonik oranlarda Ag katkısı yapılması sonucunda Ag katkısının Y358 örneği üzerinde yarattığı etkileri incelendi. Öncelikle saf $Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ ve $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örnekleri standart katı-hal tepkime yöntemi kullanılarak hazırlandı. Saf Y358 örneğinin optimize edilen hazırlama ısıl işlem sürecine göre, yüksek saflıktaki Y_2O_3 , $BaCO_3$, CuO ve Ag_2O tozları molar oranlarda ± 1 mg duyarlılığa sahip hassas terazide tartılıp homojen hale gelinceye kadar öğütüldü. Ardından tozlar arada öğütme işlemi olmak kaydıyla iki kez $920^\circ C$ 'de 24 saat boyunca kalsine edildi. Kalsinasyon işleminden sonra tozlar tekrar öğütülerek özel kalıplar ve hidrolik pres yardımıyla 400 MPa basınç altında tabletler haline getirildi. Tabletler son olarak $970^\circ C$ 'de 50 saatlik bir sinterleme işlemine tabi tutuldu. $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin her biri, saf $Y_3Ba_5Cu_8O_{18-\delta}$ bileşiğine uygulanan optimize edilmiş ısıl işlem sürecine göre hazırlandı. Hazırlanan saf Y358 ve Ag-Y358 örnekleri katyonik katkı oranlarına bağlı olarak; A örneği ($x=0,0$), B örneği ($x=0,1$), C örneği ($x=0,2$), D örneği ($x=0,3$), E örneği ($x=0,4$) ve F örneği ($x=0,5$) olarak adlandırıldı.

Hazırlanan örneklerin X-ışını kırınım desenleri ile kristal yapısında bulunan malzemeye ait fazlar ve diğer safsızlık fazları belirlendi. Ayrıca X-ışını kırınım desenindeki (hkl) indisleri ve düzlemler arası mesafe (d) kullanılarak her bir örneğin a, b ve c örgü parametreleri hesaplandı ve literatürde verilen değerlerle karşılaştırıldı. AC direnç ölçümleri ile örneklerin sıcaklığa bağlı olarak dirençlerindeki değişimler incelenerek süperiletken geçiş sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu ölçüm ile örneklerin normal fazdan süperiletken faza geçişi boyunca Ag katkı oranının saf Y358 malzemesinin direncini nasıl etkilediği gözlenerek yorumlanmıştır. Son olarak ise AC manyetik duygunluk ölçümleri ile örneklerin faz geçişi sırasındaki manyetik sinyallerinde meydana gelen değişimler sayesinde Ag katkısının Y358 malzemesinin süperiletkenlik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

4.1 X-Işını Kırınım Ölçümleri

Saf Y358 ve Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin, Rigaku Multiflex marka $Cu-K_\alpha$ difraktometresinde alınan X-ışını desenleri Şekil 4.1.1'de gösterilmektedir.



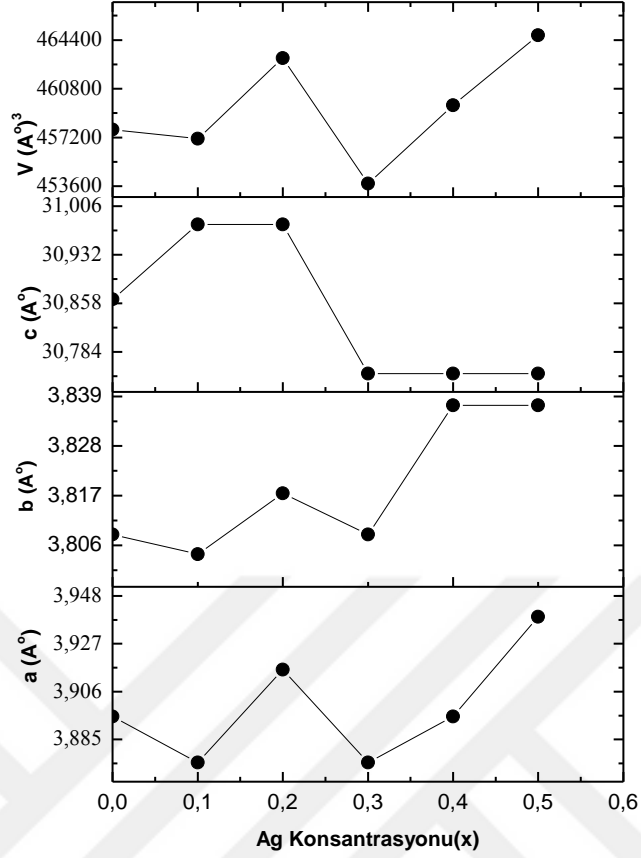
Şekil 4.1 Saf Y358 ve $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin X-ışını kırınım desenleri.

Saf Y358 ve Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin X-ışını kırınım desenlerine bakıldığında (100), (107), (0011), (108), (018), (117), (118), (200), (020), (218), (128), (2016), (310), (131) pikleri literatür ile uyumlu olan saf Y358 örneğinin pikleridir (Aliabadi, 2009). Ancak, kristal yapıda $Ba_2Cu_3O_5$ ve bazı bilinmeyen safsızlık piklerinin bulunduğu gözlenmiştir. 46.83° ile 47.70° 'de görülen (200) ve (020) ikiz pikleri bize Y-358 ve Ag-Y358 örneklerinin ortorombik yapıda olduğunu gösterir. Kırınım desenlerinde yer alan pikler literatür ile karşılaştırılarak her bir pike karşılık gelen (hkl) Miller indisleri belirlenmiştir. Bu indislerin yanı sıra hesaplanan d düzlemler arası mesafe değerleri yardımıyla a, b ve c kristal örgü parametreleri ve birim hacimleri hesaplanmıştır. Her bir örnek için hesaplanan a, b ve c örgü parametreleri, birim hacimleri ve örneklerin ortorombikliği Çizelge 4.1'de verilmektedir. Hesaplanan örgü parametreleri değerlerine bakıldığında Y358 bileşiğinin literatürdeki a, b ve c örgü parametreleri ile uyum içinde olduğu ve Y358'in a, b örgü parametreleri literatürde verilen Y123 süperiletkenin a ve b örgü parametreleriyle yaklaşık değerde olmasına rağmen c örgü parametrelerinin ise Y358 bileşiğinin Y123'ün yaklaşık üç katı olduğu doğrulanmıştır (Aliabadi et al., 2009; Srinivasan et al., 2011). Literatürde yer alan $100(b - a)/(b + a)$ bağıntısı ile her bir örneğin ortorombikliği hesaplanmıştır (Gholipour et al., 2012; Kruaeng, 2014). Elde edilen sonuçlar ve her bir örnek için hesaplanan örgü parametreleri incelendiğinde Y358 örneklerinin Ag katkısının etkisiyle ortorombik yapıdan çok küçük bir sapma olduğunu göstermektedir. Bu durum, Ag-Y358 bileşiklerindeki Cu atomlarının Ag atomları ile yer değiştirmesinden kaynaklı bir etki olabilir. Ancak bu öneri hakkında literatürde pek çok tartışmalar bulunmaktadır (Azambuja et al., 2009; Gangopadhyay et al., 1991; Joo et al., 1992).

Çizelge 4.1 Saf Y358 ve $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin hesaplanan a, b ve c örgü parametreleri, ortorombiklikleri ve birim hacimleri.

Süperiletken örnek	Örgü parametreleri (Å)			Örneğin ortorombikliği	Birim hücre hacmi (Å ³)
	a	b	c		
x = 0,0 (Örnek A)	3,8951	3,8084	30,8640	% 2,3	457,780
x = 0,1 (Örnek B)	3,8749	3,8040	30,9782	% 1,7	457,111
x = 0,2 (Örnek C)	3,9156	3,8175	30,9782	% 2,5	463,056
x = 0,3 (Örnek D)	3,8749	3,8084	30,7507	% 1,7	453,793
x = 0,4 (Örnek E)	3,8951	3,8370	30,7507	% 1,5	459,584
x = 0,5 (Örnek F)	3,9388	3,8370	30,7507	% 2,6	464,741

Her bir örnek için hesaplanan a, b, c örgü parametreleri ve birim hücre hacimlerinin Ag katkı miktarı ile değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’ye göre, Y358 örneğine Ag katılama ve bu katılanan Ag konsantrasyonundaki artış, genel anlamda a, b örgü parametrelerinin ve birim hücre hacminin artmasına neden olmaktadır. Birim hücrede meydana gelen artış, Y358 bileşiğinin yapısındaki tanecikler içine Ag’nin nüfuzunun bir göstergesidir. Ag katkısı c örgü parametresi üzerinde ise ters bir etki yaratarak c parametresi değerlerinin azalmasına neden olduğu açıkça görülmektedir.



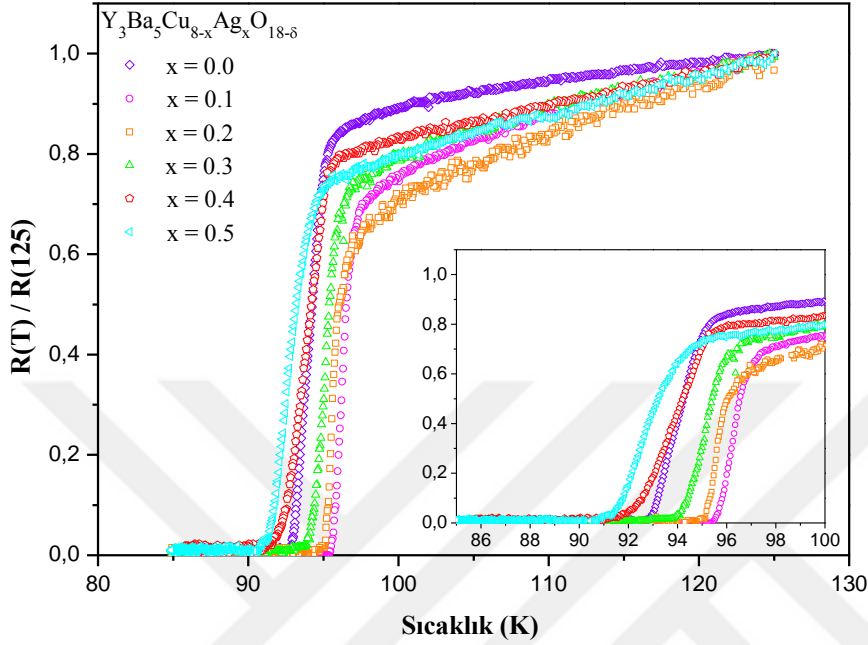
Şekil 4.2 Saf Y358 ve bunun üzerine yapılan Ag katkı oranlarına ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) bağlı olarak a, b, c örgü parametreleri ve birim hücre hacimlerindeki değişimler.

4.2 AC Elektriksel Direnç Ölçümleri

Süperiletkenlerin en temel karakterizasyon özelliklerinden biri olan kritik sıcaklık olarak da bilinen süperiletken faz geçiş sıcaklığı (T_c) değerleri, elektriksel direncin sıcaklığa bağlı değişiminin ($R-T$ değişimi) incelenmesiyle bulunabilir. Ayrıca sıcaklığa bağlı direnç değişimlerinden yararlanılarak süperiletken bir malzemeye yapılan yabancı atom katkısının, malzemenin normal ve süperiletken fazı üzerindeki etkisi incelenebilir. Böylelikle süperiletken faza geçiş sıcaklıklarının her aşaması ($T_{c,on}$; $T_{c,mid}$; $T_{c,off}$) tespit edilip malzemenin süperiletken faz geçiş aralığı genişliğinden yararlanılarak malzemenin kalitesi belirlenebilir.

Dört nokta yöntemi aracılığıyla kontakların oluşturulmasının ardından 80–125 K sıcaklık aralığında 1 V ve 10 Hz referans sinyali kullanılarak alınan Saf

Y358 ve Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin elektriksel dirençlerinin sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Saf Y358 ve $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-d}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin normalize edilmiş AC elektriksel direnç–sıcaklık değişimleri.

Şekil 4.3’de yer alan direnç–sıcaklık eğrilerini daha iyi karşılaştırabilmek için normalize edilmiştir ve bu R–T grafiğinden elde edilen her bir örneğin $T_c^{(on)}$, $T_c^{(mid)}$, $T_c^{(off)}$ geçiş sıcaklık değerleri Çizelge 4.2’de verilmektedir.

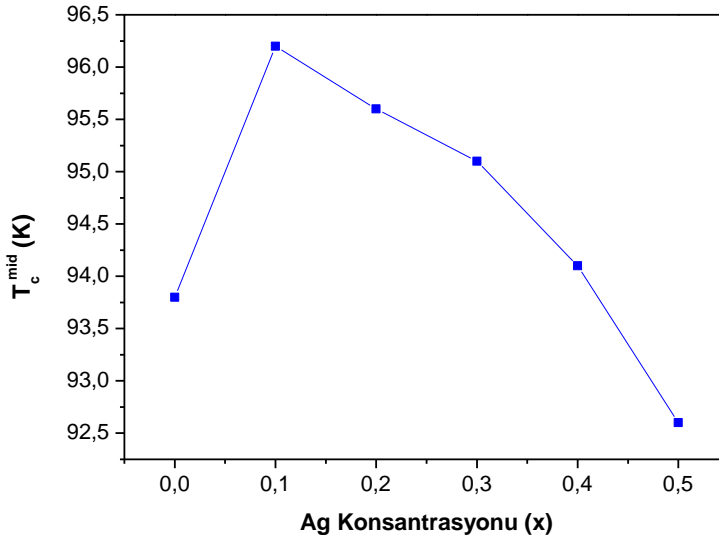
Çizelge 4.2 Süperiletken faza geçişte Ag katkısının ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) geçiş sıcaklıkları üzerindeki etkisi.

Süperiletken Örnek	$T_c^{(on)}$ (K)	$T_c^{(mid)}$ (K)	$T_c^{(off)}$ (K)	ΔT_c (K)
$x = 0,0$ (Örnek A)	95,6	93,8	93	2,6
$x = 0,1$ (Örnek B)	97,4	96,2	95,5	1,9
$x = 0,2$ (Örnek C)	96,5	95,6	95,1	1,4
$x = 0,3$ (Örnek D)	96,4	95,1	94,1	2,3
$x = 0,4$ (Örnek E)	95,3	94,1	91,5	3,8
$x = 0,5$ (Örnek F)	94,7	92,6	91,4	3,3

Çizelge 4.2'yi incelediğimizde saf Y358 örneğinin (A örneği) 95.6 K'de süperiletken faza geçmeye başlayarak 93 K'de direncini tamamen kaybettiği görülmektedir. Saf Y358 örneğine yapılan Ag katkısının belirli bir orana kadar süperiletken geçiş sıcaklığını (kritik sıcaklık) artırarak süperiletkenlik özellikleri üzerinde olumlu bir etki yarattığı ortaya çıkmıştır. $x=0,1$ katkılı Ag-Y358 örneği (B örneği) ele alındığında süperiletken faza 97,4 K'de geçmeye başlayarak kritik sıcaklık değerinde 1,8 K'lik bir artışa neden olmaktadır. Ancak B örneği, süperiletken faza geçiş aralığının (ΔT_c) geniş olmasından dolayı en yüksek geçiş sıcaklığına sahip iyi bir örnek olarak nitelendirilemez. En yüksek geçiş sıcaklığına sahip örnek $x=0,2$ katkılı AgY358 örneği (C örneği) olup geçiş sıcaklığı $T_c^{\text{mid}}=95,6$ K'dir. $x=0,2$ katkı değerinin üzerindeki katkı oranlarına sahip örneklerin ($x=0,3; 0,4; 0,5$ sırasıyla D, E,F örneği) geçiş sıcaklarının daha düşük değerlerde olduğu ve buna bağlı olarak fazla Ag katkısının süperiletkenlik özellikleri olumsuz yönde etkilediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Hatta $x=0,4$ ve $x=0,5$ katkılı E ve F örneklerinin katkısız A örneğinkinden daha düşük $T_c^{\text{(off)}}$ değerlerinde süperiletken faza geçtiği görülmektedir (E örneği için $T_c^{\text{mid}}=94,1$ K, F örneği için $T_c^{\text{mid}}=92,6$ K). Ayrıca E ve F örneğinin R-T eğrilerine bakıldığında diğer eğrilere göre küçük bir adım oluşturduğu görülmektedir. Bu durum tanecik sınırında meydana gelen düşük sıcaklığa sahip süperiletken fazlardan ve elektron çiftlenim uzunluğunun (koherens uzunluğu) yalıtkan tabakaların büyüklüğünden daha küçük olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir (Baytosun, 2007). O halde $x=0,4$ ve $x=0,5$ oranlarında yapılan fazla miktardaki katkının süperiletkenlik özellikleri olumsuz yönde etkilediği bir kez daha ortaya konulmuştur.

Örneklerin normal fazdaki davranışlarına bakıldığında, belirli bir orana kadar yapılan Ag katkısının ($x=0,1-0,2$) normal fazdaki lineer bölgenin eğiminde artışa neden olarak daha düşük dirençlerde süperiletken faz geçişinin başladığı görülmektedir. Anca Ag katkısı yetreli miktarı aştığında ($x=0,3-0,5$) lineer bölgenin eğiminin azaldığı ve süperiletken faz geçişinin daha yüksek direnç değerlerinde başladığı gözlenmektedir. Bu gözlemler doğrultusunda yeterli miktarda Ag katkısının sadece süperiletken değil aynı zamanda metalik özellikler üzerinde de olumlu yönde katkı sağlarken, gereğinden fazla Ag katkısı ise, bu özellikler üzerinde olumsuz yönde bir etkiye neden olmaktadır.

Y358 bileşiğine Ag katkısının süperiletken geçiş sıcaklığı üzerindeki etkisi aşağıda yer alan Şekil 4.4'de verilmektedir.



Şekil 4.4 Saf Y358 bileşiğine $x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ oranlarında yapılan Ag katkısının etkisi.

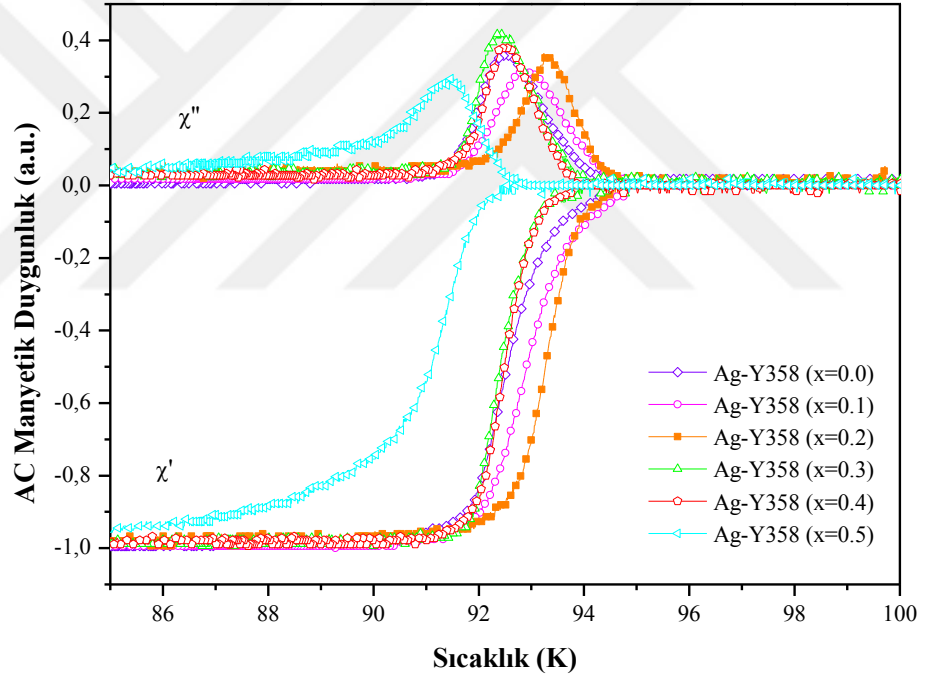
Sonuç olarak, Y358 malzemesine belirli miktarda Ag katkısı, malzemeleri hazırlama sürecinde eriyik hale gelen gümüşün malzemenin kristal yapısındaki gözenekleri doldurarak yapıda bulunan mikro-çatlakları iyileştirerek tanecikler içerisinde oluşan akı iğneleme merkezleri üzerinde güçlendirici bir rol oynar. Ancak, Ag katkı oranı 0,2 değerini aştığında malzemenin kristal yapısında yer alan taneciklerin büyümesinde baskılayıcı bir rol oynar ve daha küçük boyutlara sahip bu tanecikler rastgele yönelimli oldukları için yüksek akım uygulamalarında performans düşüklüğüne yol açarlar.

4.3 AC Manyetik Duygunluk Ölçümleri

Süperiletken malzemelerin manyetik özellikleri, kristal yapısındaki tanecikler arası zayıf bağların etkisi, taneciklerin büyüklüğü gibi örneklerin mikro-yapısını incelemek için AC manyetik duygunluğun sıcaklığa bağlı değişiminden yararlanılır. Saf Y358 ve Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin AC manyetik duygunluk ölçümleri 77–300 K sıcaklıkları arasında, $V_{AC}=1$ V ve $f=1$ KHz frekans altında alındı. Ölçüm için SR-530 iki kanallı Lock-in yükselteç ve Lakeshore 331 sıcaklık kontrolcüsü kullanıldı ve vakum altında sıvı azot aracılığıyla örnekler soğutuldu. Örnekler oda sıcaklığında manyetik alan uygulanmasının ardından sıvı azot yardımıyla soğutulmaya başlandı ve faz dönüşümü sırasında meydana gelen manyetik sinyallerdeki değişim reel ve imajiner kısım olarak iki ayrı veri olarak kaydedildi. Sonuçları daha iyi

karşılaştırabilmek için kaydedilen manyetik sinyalin reel kısmı 80 K sıcaklığındaki manyetik duygunluk değerine göre normalize edilmiştir.

Saf Y358 ve Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin AC manyetik duygunluklarının sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.3.1'de verilmiştir. AC manyetik duygunluk ölçümlerinde χ' -T reel kısım iki adımdan oluşur ve birinci adım tanecik içi diyamanyetizmayı gösterirken ikinci adım tanecikler arası diyamanyetizmayı ifade etmektedir. χ'' -T imajiner kısmı ise, χ' -T reel kısmın ikinci adımında görülen tanecikler arası etkileşimden dolayı örnek içine nüfuz eden manyetik akının örnekten tamamen dışarı itilmesi sonucunda oluşan enerji kaybını belirtmektedir.



Şekil 4.5 Saf Y358 ve $Y_3Ba_5Cu_{8-x}Ag_xO_{18-\delta}$ ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örneklerinin AC manyetik duygunluk-sıcaklık değişimi.

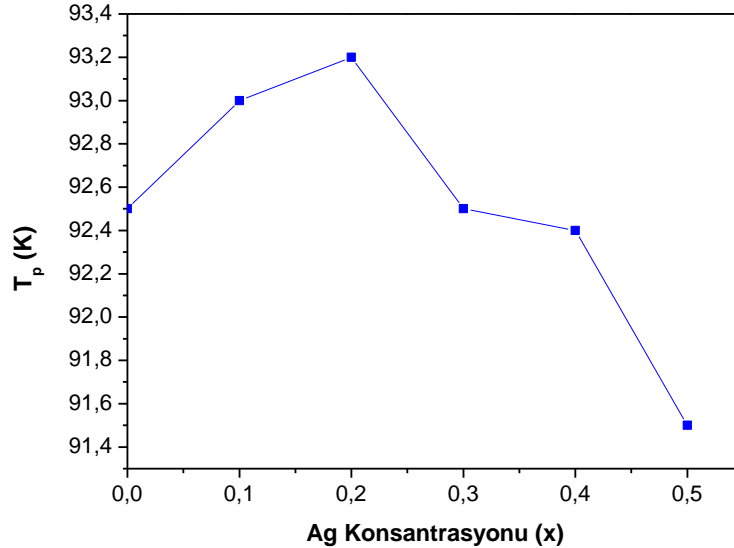
Şekil 4.5'de yer alan AC manyetik duygunluk ölçümlerine bakıldığında bütün örneklerin χ' -T eğrisinde I. diyamanyetik (tanecik içi) geçiş gözlenmeyip sadece II. diyamanyetik geçiş olan tanecikler arası diyamanyetik geçiş görülmektedir. Bu durumun nedeni, uygulanan B_a manyetik alanın, taneciğin kendi alt kritik manyetik alanından (B_{cg1}) daha küçük olmasıdır ($B_a < B_{cg1}$). Bu

durumda tanecikler mükemmel diyamanyetizm özelliği göstererek uygulanan manyetik alanı tamamen dışlarlar ve tanecikler arasına iterler, kısacası I. tip süperiletken gibi davranırlar. Tanecik içine herhangi bir manyetik akı nüfuzu olmadığı için, örneklerin AC manyetik duygunluk ölçümlerinde görülmesi beklenen tanecik içi diyamanyetik geçişi ve buna bağlı ortaya çıkan enerji kaybını (histerisiz kayıp) belirten piki görememekteyiz. Josephson ortamı olarak da adlandırılan tanecikler arasında $B_{c1} > B_a$ olduğu için manyetik akının girdaplar şeklindeki nüfuzuna bağlı olarak, örneklerin AC manyetik duygunluk ölçümlerinde sadece tanecikler arası geçiş ve bu sırada oluşan enerji kaybı gözlemlenebilmektedir.

Katkısız A örneğinin $\chi''-T$ eğrisinde $T_p=92,5$ K sıcaklığında oluşturduğu pik, uygulanan manyetik alanın örneğin merkezine ulaşmasıyla birlikte bu pikin altında kalan alanda yer alan tanecikler arası kısımda oluşan histerisiz kaybı vermektedir (Koçoğlu, 2003). $x=0,1$ ve $x=0,2$ katkılı örneklerin tanecikler arası geçiş sıcaklıkları sırasıyla 93,7 K ve 94 K olup 93 K ve 93,3 K sıcaklıklarında imajiner kısımda pik göstermektedirler. $x=0,3$ katkılı örneklerin tanecikler arası diyamanyetik geçiş sıcaklığı 94 K'dir ve $\chi''-T$ imajiner kısımda 93,2 K'de pik görülmektedir. $x=0,3$ değeri üzerindeki katkı değerlerine sahip diğer $x=0,4$ ve $x=0,5$ katkılı E ve F örneklerinde ise tanecikler arası geçiş sıcaklığında ve pik sıcaklıklarında azalma olmaktadır. E ve F örneğinin tanecik geçiş sıcaklıkları birbirine çok yakın değerlerde olup sırasıyla 92,3 K ve 92,2 K'dir. Bu örneklerin pik sıcaklıkları da sırasıyla 92,4 K ve 91,5 K değerindedir. Şekil 4.5'i daha ayrıntılı olarak incelediğimizde, tanecik içi enerji kaybı olarak adlandırılan $\chi''-T$ reel kısmın birinci adımında süperiletken faza geçen taneciklerin manyetik akıyı tanecikler arasına itmesi sonucunda tanecikler arasına manyetik alanın nüfuz etmesinden dolayı oluşan histerisiz kaybı belirten $\chi''-T$ imajiner kısımdaki küçük pik, tanecik içinde $B_a < B_{c1}$ olduğundan dolayı reel kısımda oluşması beklenen I. diyamanyetik geçiş gözlenemediği için görülmemektedir. Buna göre, örneklerin daha büyük kritik manyetik alana sahip olduklarını ve aynı zamanda daha homojen ve büyük hacimli bir tanecikli yapıya sahip olduklarını söyleyebiliriz. AC manyetik duygunluk-sıcaklık eğrilerinin $\chi''-T$ kısmında $x=0,2$ katkılı C örneği, diğer örneklerin arasından en dar faz geçişinin görüldüğü örnektir ve bu geçişin yüksek sıcaklığa doğru kaydığı görülmektedir. Bu örneğin $\chi''-T$ kısmında gösterdiği pik, katkısız A örneğine göre daha küçük bir piktir. Bu bilgiler ışığında en yüksek süperiletken geçiş sıcaklığına ve en iyi tanecikler arası etkileşime sahip örneğin $x=0,2$ katkılı C örneği olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. $x=0,4$ ve $x=0,5$ katkılı E ve F örneklerinin $\chi''-T$ kısmındaki faz geçiş genişliklerinin ve $\chi''-T$

kısmında gösterdikleri piklerin katkısız A örneğinkinden daha büyük olduğu ve düşük sıcaklıklara doğru kaydığı görülmektedir. Bu durum bize fazla miktarda Ag katkısı yapıldığında Ag atomlarının tanecikler arasına yerleşerek süperiletkenlik özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini bir kez daha gözler önüne sermektedir. $x=0,3$ katkılı D örneğinin reel kısımdaki ($\chi'-T$) faz geçiş genişliği C örneğine çok yakın olup dar bir geçiş gösterdiğini söyleyebiliriz. Ancak bu örneğin imajiner ($\chi''-T$) kısmında görülen pikin diğer bütün piklerden daha büyük olması, örnekteki tanecikler arası etkileşiminin iyi olmamasının bir sonucu olarak enerji kaybı üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. $x=0,1$ katkılı B örneği ise $\chi'-T$ kısmındaki faz geçişi oldukça geniş bir aralığa yayılarak daha yüksek sıcaklığa doğru kaymıştır ve $\chi''-T$ kısmında küçük fakat geniş bir pik göstermektedir. Bu da tanecikler arası etkileşimin göreceli olarak C örneği kadar iyi olmadığına bir göstergesidir. Sonuç olarak, reel kısımda yüksek sıcaklığa doğru kayan dar bir geçiş göstermesi ve imajiner kısımdaki pikin göreceli olarak katkısız örnekten daha küçük olması nedeniyle en iyi süperiletken özellik gösteren örneğin $x=0,2$ katkılı C örneği olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 4.6'da örneklerin pik sıcaklıklarının (T_p) Ag konsantrasyonuna bağlı değişimi verilmiştir. Bu değişimden fazla miktarda Ag katkısının süperiletken özellikler üzerinde yarattığı olumsuz etki daha net görülebilmektedir.



Şekil 4.6 Her bir örneğin T_p sıcaklığının Ag katkı miktarına ($x=0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) bağlı olarak değişimi.

5. GENEL SONUÇLAR

YBCO sisteminin süperiletken özelliklerini geliştirmek için bileşiğe yabancı atom katkılama ve hazırlama sürecinde kullanılan ısıl işlemleri değiştirme gibi pek çok yöntem kullanılmaktadır. Biz bu yöntemler arasından bileşiğe Ag atomu katkısının bileşik üzerindeki etkisini detaylı olarak inceledik. Metalik Ag ya da Ag_2O tozunun katılacak bileşiğin tozu ile karıştırma ya da elektrokimyasal işlemler gibi çeşitli hazırlama yöntemleri kullanılarak elde edilebilen Ag-YBCO örneklerinde Ag atomlarının YBCO bileşiğine nasıl nüfuz ettiğine dair literatürde iki farklı öneri bulunmaktadır (Petrisor et al., 1993; Ropers et al., 1992; Matsumoto et al., 1997). Bu önerilerden biri, Ag ve Cu elementleri periyodik tablonun aynı grubunda bulunmasından dolayı Ag atomlarının Cu atomları ile yer değiştirmesi sonucunda Y123 bileşiğinin mikro-yapısını değiştirdiği düşünülmektedir (Taylor et al., 1994; Parthasarathy, 2016). Bir diğer öneri ise, gümüşün yapıdaki tanecikler içine nüfuz etmeyip örneklerin hazırlanma aşamalarında tabii tutuldukları ısıl işlemler sırasında fazlalık eriyik haldeki Ag atomların örneğin gözeneklerini doldurduğu ileri sürülmektedir (Nguyen-van-Huong et al., 1997; Hanic et al., 2001; Malik et al., 1988). Bu önerilere ilişkin tartışmalar hala devam etmektedir.

Biz bu çalışmada yüksek sıcaklık süperiletkeni olan YBCO ailesinin yeni üyesi Y358 bileşiğinin Cu atomuna yapılan Ag katkısının, bileşiğin manyetik, yapısal ve elektriksel özellikleri üzerinde nasıl bir etkisi olduğu X-ışını kırımı, AC manyetik duygunluk ve AC elektriksel direnç ölçümleri vasıtasıyla inceledik.

Saf Y358 ve farklı katyonik oranlarda katılanan Ag-Y358 ($x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$) örnekleri standart katı-hal tepkime yöntemi ile hazırlandı. Örneklerin elektriksel özelliklerini belirlemek için dört nokta yöntemi ile yapılan kontakların ardından SR-530 Lock-in yükselteç ve Lakeshore 331 sıcaklık kontrolcüsü kullanılarak vakum atmosferinde 300–77 K sıcaklık aralığında AC elektriksel dirençleri ölçüldü ve verileri daha iyi karşılaştırabilmek için 125 K sıcaklığa göre direnç değerleri normalize edildi. Bu R-T değişimlerinden örneklerin süperiletken faza geçiş sıcaklıkları T_c^{mid} , geçiş aralığı (ΔT_c) belirlendi ve normal fazdaki elektriksel özellikleri incelendi. Örneklerin manyetik özelliklerini, geçiş sıcaklıklarını ve mikro-yapısını incelemek için karşılıklı indüktans yöntemi yardımıyla SR-530 Lock-in yükselteç ve Lakeshore 331 sıcaklık kontrolcüsü kullanılarak AC manyetik duygunluğun sıcaklığa bağlı değişimi incelendi. Bu yöntem sayesinde örneklerin yapısındaki tanecik içi ve tanecikler arası etkileşimler incelenebilmektedir. Örneklerin kristal yapılarında bulunan

süperiletken ve safsızlık fazlarını belirlemek için Rigaku Multiflex marka Cu-K α difraktometresinde alınan X-ışını kırınım ölçümlerinden yararlanıldı. Ayrıca X-ışını kırınım desenleri ile örneğin kristal yapısında bulunan kendisine ait piklere karşılık gelen Miller indislerinin belirlenmesiyle a, b ve c örgü parametrelerinin yanı sıra birim hücre hacmi ve yapının ortorombikliği hesaplanabilmektedir.

Saf Y358 ve Ag-Y358 (x=0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) örneklerinin direnç-sıcaklık değişiminden elde edilen süperiletken faza geçmeye başladığı andaki T $_c^{on}$ değerleri sırasıyla; 95,6 K; 97,4 K; 96,5 K; 96,4 K ve 95,3 K'dir. Süperiletken geçiş sıcaklıkları ise; 93,8 K; 96,2 K; 95,6 K; 95,1 K; 94,1 K ve 92,6 K olarak belirlenmiştir. R-T eğrilerinde ΔT_c geçiş aralığının dar olması örneğin daha homojen bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Ayrıca normal fazdaki lineer değişim eğrisinin eğiminin fazla olması süperiletken özellikler üzerinde olumlu bir etkisi olduğunun bir işaretidir. Örneklerimizin R-T sonuçlarına bakıldığında Ag katkısının x=0,2 oranına kadar ΔT_c geçiş aralığında daralma görülmüştür ve en dar geçiş x=0,2 katkılı C örneğinde meydana gelmektedir. Ag katkısı x=0,2 oranını aştığında ΔT_c geçiş aralığının genişlediği görülmektedir. Örneklerin normal fazdaki lineer değişimleri incelendiğinde ise, gümüşün x=0,2 katkı oranına kadar lineer değişim eğrilerinin eğimlerinin artması sonucu normal fazdaki direnç değerinin düşmesine neden olmaktadır. Ancak bu katkı oranı aşıldığında x=0,3; x=0,4 ve x=0,5 katkılı örneklerinde katkı oranındaki artışla orantılı olarak lineer değişim eğrilerinin eğiminde azalma (normal fazdaki dirençte artış) görülmektedir. Genel bir yorum yapabilmemiz için R-T ölçümü yetersiz kalmaktadır. Çünkü yüksek sıcaklık süperiletkenleri R-T ölçümleri sırasında malzemedan geçen akım, malzeme içerisinde yer alan daha düşük dirençli bölgelerden geçmeyi tercih edecektir ve bu durumda R-T ölçümü süperiletken malzemenin hacimsel olarak nasıl bir sonuç gösterdiği konusunda yetersiz kalmaktadır. Bu doğrultuda süperiletken örnekleri daha iyi karakterize edebilmek için AC manyetik duygunluğun sıcaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Ölçüm sonuçları, bütün örneklerin χ' -T kısmında tanecik içi diyamanyetik geçişe ve bu geçişin bir sonucu olarak χ'' -T kısmında gözlenen tanecik içi enerji kaybını ifade eden küçük pikin rastlanmadığını gösterir. Tanecik içi enerji kaybının gözlenmemesi, örneklerin yapısındaki taneciklerin daha büyük hacimli olduklarını ve H $_{cg1}$ tanecik içi manyetik alanın örneğe uygulanan dış B $_a$ manyetik alandan daha büyük değerde olduğunu gösterir. x=0,1 ve x=0,2 katkılı örneklerin χ' -T kısmında gösterdikleri tanecikler arası diyamanyetik geçişin daha dar bir sıcaklık aralığında meydana geldiği ve buna bağlı olarak ortaya çıkan χ'' -T kısmındaki pikin ise Ag katkısının etkisiyle daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durum bize örneklerin daha homojen ve büyük tanecikli bir yapıda olduğunu gösterir. Genel

olarak ise, $x=0,1$ ve $x=0,2$ katkılı B ve C örneklerinin diyamanyetik geçiş eğrilerinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı belirlenmiştir. $x=0,3$; $x=0,4$ ve $x=0,5$ katkılı D, E ve F örneklerinin diyamanyetik geçiş sıcaklıklarının düşük sıcaklıklara doğru kaydığı ve özellikle $x=0,4$ ve $x=0,5$ örneklerinin geçiş sıcaklıklarının katkısız A örneğinkinden daha düşük sıcaklık değerlerine doğru bir kayma sergiledikleri görülmektedir. Bu örneklerin χ' -T kısmındaki tanecikler arası geçiş eğrilerini daha geniş bir sıcaklık aralığına yayıldığı ve bu geçişe bağlı olarak görülen χ'' -T kısmında oluşan pikin ise sadece $x=0,3$ ve $x=0,4$ örneklerinde daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu piklerin büyük olması tanecikli yapının yeterince homojen olmadığına bir göstergesidir.

Örneklerin kristal yapılarını incelemek için alınan X-ışını kırım ölçümlerinden yararlanılarak hesaplanan a, b ve c örgü parametre değerleri ile katkısız Y358 örneğinin a ve b örgü parametrelerinin Y123 bileşiğinkilere yakın değerde olmasına karşın c örgü parametresinin ise Y123 bileşiğinin yaklaşık 3 katı olduğuna dair literatürde yer alan sonuçlar doğrulanmıştır (Amado et al., 2015). Ag katkısının a, b ve c örgü parametreleri üzerinde çok küçük bir değişime neden olmasına rağmen ortorombik yapısında bir sapma olmadığı görülmüştür. Örgü parametre değerlerindeki küçük değişimin bileşikteki Cu atomlarının Ag atomlarıyla yer değiştirmesinden kaynaklı bir durum olduğu düşünülmektedir.

Örneklerin yapısal özellikleri incelendiğinde Y358 örneğine yapılan farklı oranlarda ($x=0,1-0,5$) Ag katkısının ortorombik yapısını bozmadığı ortaya çıkmıştır. Örneklerin elektriksel özellikleri ve mikro-yapısı incelendiğinde ise genel bir ifadeyle; saf Y358 bileşiği üzerine $x=0,2$ oranına kadar yapılan Ag katkısının taneciklerin hacimlerini ve yönelimlerini geliştirerek tanecikler arası oluşan zayıf bağlara güçlendirici bir etki yapmaktadır. Böylelikle süperiletken özellikleri geliştirmeye yönelik yönde katkı sağladığını söyleyebiliriz. Ancak Ag katkı oranı $x=0,2$ oranını aştığında süperiletken örnekleri olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Tanecik sınırında oluşan Ag kristalleşmesinin taneciklerin büyümesinde engelleyici bir rol oynar ve tanecikler arası zayıf bağları artırarak süperiletken faza geçiş sıcaklığının düşmesine neden olur.

Sonuç olarak, Y358 örneğine Ag katkısının süperiletken özellikler üzerindeki etkisi ile Y123 örneğine yapılan Ag katkısının süperiletken özelliklerine etkisi karşılaştırılmış ve her iki bileşik üzerinde Ag katkısının benzer sonuçlar verdiği görülmüştür (Diko et al., 2001; Tepe et al., 2004; Azambuja et al., 2008; Matsumoto et al., 1997; Salamati et al., 2001; Kozłowski et al., 1991).

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abrikosov, A. A.**, 1957, On the Magnetic Properties of Superconductors of the Second Group, *Zh. Eksp. Teor.* 32, pp. 1442–1452, Engl. transl.: *Sov. Phys. JETP* 5, 1174– 1182.
- Aliabadi, A., Frashchi, Y. A. and Akhavan, M.**, 2009, A New Y-Based HTSC with T_c Above 100 K, *Physica C* 469, 2012-2014.
- Amado, J., and Sarmago, R.**, 2015, AC Magnetic Susceptibility and Morphological Development of YBCO HTS Formed from Y: Ba: Cu= 1: 2: 3 and 3: 5: 8, *J. Supercond. Nov. Magn.*, 28(12), 3455-3461.
- Anderson, P.**, 1962, Theory of Flux Creep in Hard Superconductors, *Phys. Rev. Lett.*, 9(7), 30921.
- Azambuja, P. D., Rodrigues Júnior, P., Jurelo, A. R., Serbena, F. C., Foerster, C. E., Costa, R. M., Souza, G. B. D., Lepienski, C. M. and Chinelatto, A. L.**, 2009, Effects of Ag Addition on Some Physical Properties of Granular $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Superconductor, *Braz. J. Phys.*, 39(4), 638-644.
- Bardeen, J., Cooper, L.N. and Schrieffer, J.**, 1957, Theory of Superconductivity, *Phys. Rev.*, (108):1175-1204.
- Baytosun, F.**, 2007, (Bi,Pb)-Sr-Ca-Cu-O Süperiletken Bilesiginin 110K Fazina Termo-mekaniksel Islemlerin Etkisi, *Yuksekk Lisans Tezi*, Ege Universitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 55p.
- Bean, C.P.**, 1964, Magnetization of High-Field Superconductors, *Rev. Mod. Phys.*, (36): 31-39.
- Bednorz, J.G. and Müller, K.A.**, 1986, Possible High T Superconductivity in the Ba-La-Cu-O System, *Z. Phys. B64* (2): 189–193.
- Berkley, D. D., Skelton, E. F., Moulton, N. E., Osofsky, M. S., Lechter, W. T., Browning, V. M. and Liebenberg, D. H.**, 1993, Pressure Dependence of the Superconducting Transition Temperature in Single Crystals of $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-x}$, *Phys. Rev. B*, 47(9), 5524.
- Campbell A. M. and Cardwell D. A.**, 1997, Bulk High Temperature Superconductors for Magnet Applications, *Crogenics* 37, 567-575.
- Cava, R. J., Santoro, A., Johnson Jr, D. W. and Rhodes, W. W.**, 1987, Crystal Structure of the High-Temperature Superconductor $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ Above and Below T_c , *Physical Review B*, 35(13), 6716.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R.L., Gao, L. and Huang, Z.J.,** 1987, Superconductivity at 52.5K in the Lanthanum-Barium-Copper-Oxide System, *Science*, 235 567-569.
- Chu, C. W., Bechtold, J., Gao, L., Hor, P. H., Huang, Z. J., Meng, R. L., Wang, Y. Q. and Xue, Y. Y.,**1988, Superconductivity up to 114 K in the Bi-Al-Ca-Sr-Cu-O Compound System Without Rare-Earth Elements, *Phys. Rev. Lett.*, 60(10), 941.
- Chu, C. W., Gao, L., Chen, F., Huang, Z. J., Meng, R. L. and Xue, Y. Y,** 1993, Superconductivity Above 150 K in $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ at High Pressures, *Nature (London)* 397, 45.
- Diko, P., Krabbes and G., Wende, C.,** 2001, Influence of Ag Addition on Crystallization and Microstructure of Melt-Grown Single-Grain $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ Bulk Superconductors, *Supercond..Sci. Technol.*, 14(7), 486.
- Fosheim, K. and Sudbø, A.,** 2004, *Superconductivity Physics and Applications*, John Wiley & Sons, Ltd., Pub.,427p.
- Frolich, H.,** 1950, Theory of the Superconducting State. I. The Ground State at the Absolute Zero of Temperature, *Physical Review*, 79, 5 845-856.
- Gao, L., Xue, Y. Y., Chen, F., Xiong, Q., Meng, R. L., Ramirez, D. and Chu, C. W.,** 1994, Superconductivity up to 164 K in $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{m-1}\text{Cu}_m\text{O}_{2m+2+\delta}$ ($m= 1, 2,$ and 3) Under Quasihydrostatic Pressures. *Physical Review B*,50(6), 4260.
- Gholipour, S., Daadmehr, V., Rezakhani, A. T., Khosroabadi, H., Tehrani, F. S. and Akbarnejad, R. H.,** 2012, Structural Phase of Y358 Superconductor Comparison with Y123, *J. Supercond. Nov. Mag.*, 25(7), 2253-2258.
- Gholipour, S., Daadmehr, V., Rezakhani, A. T., Khosroabadi, H., Tehrani, F. S. and Akbarnejad, R. H.,** 2011, Y358 Against Y123 Structural Phase in a Y-Based Superconductor, arXiv preprint arXiv: 1110.0893.
- Ginzburg, V.L. and Landau, L.D.,** 1950, On the Theory of Superconductivity, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 20:1064.
- Ginzburg V.L. and Kirzhnits D. A.,** 1977, *High Temperature Superconductivity*, Nauka, Moscow, (Engl. Transl. Consultants Bureau, New York, 1982).
- Gömöry, F.,** 1997, Characterization of High-Temperature Superconductors by AC Susceptibility Measurements, *Supercond. Sci. Technol.* 10, 523-542.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hanic, F., Cigáň, A., Buchta, Š., Maňka, J. and Zrubec, V.,** 2001, Identification of Single-Domain Structures in the System $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}\text{-Ag}$ by Magnetization Measurements, *Meas. Sci. Rev.*, 1(1).
- Hazen, R. M., Finger, L. W., Angel, R. J., Prewitt, C. T., Ross, N. L., Hadidiacos, C. G., Heaney, P. J., Veblen, D. R., Sheng, Z. Z., El Ali, A. and Hermann, A. M.,** 1988, 100-K Superconducting Phases in the Tl-Ca-Ba-Cu-O System, *Phys. Rev. Lett.*, 60(16), 1657.
- Hein, R. A.,** 1986, AC Magnetic Susceptibility, Meissner Effect, and Bulk Superconductivity, *Phys. Rev. B* 33, 7539-7549.
- Ihara, H., Hirabayashi, M., Tanino, H., Tokiwa, K., Ozawa, H., Akahama, Y. and Kawamura, H.,** 1993, The Resistivity Measurements of $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$ and $\text{HgBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{10+x}$ Superconductors Under High Pressure, *Japanese Journal of Applied Physics*, 32(12A), L1732.
- Iqbal, Z., Datta, T., Kirven, D., Lungu, A., Barry, J.C., Owens, F.J., Rinzler, A.G., Yang, D. and Reidinger, F.,** 1994, Superconductivity Above 130 K in the Hg-Pb-Ba-Ca-Cu-O System, *Phys. Rev. B*, 49(17), 12322.
- Ireson, G.,** 2012, *Discovering Superconductivity An Investigation Approach*, John Wiley & Sons, Ltd., Pub., 182p.
- Ishida, T. and Mazaki, H.,** 1981, Superconducting Transition of Multiconnected Josephson Network, *J. Appl. Phys.*, 52(11), 6798-6805.
- Jeandupeux, O., Schilling, A., Büchi, S., Guo, J.D. and Ott, H.R.,** 1994, Specific-Heat of Polycrystalline $(\text{Hg, Pb})\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+d}$ Near T_c , *Physica C* 235-240, 1745-1746.
- Joo, J., Singh, J. P., Poepfel, R. B., Gangopadhyay, A. K. and Mason, T. O.,** 1992, Effect of Silver Solubility on Microstructure and Superconducting Properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Ag}_x\text{O}_{7-\delta}$ Superconductors, *J. Appl. Phys.*, 71(5), 2351-2355.
- Josephson, B.D.,** 1962, Possible New Effects in Superconductive Tunnelling, *Phys. Lett*, 1 (7): 251–253
- Khare, N.,** 2003, *Handbook of High-Temperature Superconductor Electronics*, CRC Press, New York, 456p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Khosroabadi, H., Rasti, M. and Akhavan, M.,** 2014, Structural Analysis of $Y_3Ba_5Cu_8O_{19-\delta}$ High- T_c Superconductor by ab Initio Density Functional Theory, *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 497, 84-88.
- Koçoğlu, H.,** 2003, YBCO Superiletken Bileşiğine Yabancı Atom Katkısının Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 77p.
- Kozłowski, G., Rele, S., Lee, D. F. and Salama, K.,** 1991, Grain Growth Enhancement in Silver-Doped $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Superconductor, *J. Mater. Sci.*, 26(4), 1056-1060.
- Kruaehong, T.,** 2014, Electrical Properties and Crystal Structure of Y123, Y358 and Y257/Y211 Composite Bulk Superconductors, *Int. J. Phys. Sci.*, 9(16), 360-367.
- London, F. and London, H.,** 1935, The Electromagnetic Equations of the Supraconductor, *Proc. R. Soc. London A*, 149 (866): 71–88.
- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi and M., Asano, T.,** 1988, A New High- T_c Oxide Superconductor Without A Rare Earth Element, *Japanese Journal of Applied Physics*, 27(2A), L209.
- Malik, M. K., Nair, V. D., Biswas, A. R., Raghavan, R. V., Chaddah, P., Mishra, P. K., Kumar, G. R. and Dasannacharya, B. A.,** 1988, Texture formation and enhanced critical currents in $YBa_2Cu_3O_7$, *Appl. Phys. Lett.*, 52(18), 1525-1527.
- Matsumoto, Y., Koinuma, M., Yamamoto, H. and Nishimori, T.,** 1997, Electrochemical Ag Doping Into $YBa_2Cu_3O_y$, *Ceramics Using Ag- β "- Al_2O_3 Ionic Conductor*, *Solid State Ionics*, 95(3), 309-314.
- Maxwell, E.,** 1950, Isotope Effect in The Superconductivity of Mercury, *Physical Review*, 78(4), 477.
- Meissner, W. and Ochsenfeld, R.,** 1933, Ein neuer Effekt bei Eintritt der Supraleitfähigkeit, *Naturwissenschaften*, 21(44), 787-788.
- Michel, C., Hervieu, M., Borel, M. M., Grandin, A., Deslandes, F., Provost, J. and Raveau, B.,** 1987, Superconductivity in the Bi—Sr—Cu—O System, *Ten Years of Superconductivity: 1980–1990* (pp. 300-302), Springer Netherlands.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Müller, K. H., Collocott, S. J., Driver, R. and Savvides, N.,** 1991, AC Susceptibility of Granular Superconductors, *Supercond. Sci. Technol.* 4, 325-327s.
- Nguyen-van-Huong, C., Crampin, E., Laval, J. Y. and Dubon, A.,** 1997, Incorporation of Silver in Ceramics. Correlation Between Superconducting Properties and Microstructure, *Supercond. Sci. Technol.*10(2), 85.
- Onnes, H. K.,** 1911, The Superconductivity of Mercury, *Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden*, 122, 124.
- Onnes, H. K.,** 1913, The Sudden Disappearance of the Ordinary Resistance of Tin, and the Superconductive State of Lead, *Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden*, 133, 61-68.
- Parthasarathy, R.,** 2016, Effect of Silver Substitution Threshold on the Superconducting Properties of IG Processed Bulk YBCO/Ag Composite Superconductors, *Int. J. Adv. Appl. Phys. Research*, 6-12.
- Petrisor, T., Giurgiu, A. and Ciontea, L.,** 1993, Magnetic Field Dependence of Critical Current in YBCOAg Composite System, *Appl. Supercond.*,1(7), 1219-1225.
- Putilin, S. N., Antipov, E. V., Chmaissem, O. and Marezio, M.,** 1993, Superconductivity at 94 K in $\text{HgBa}_2\text{CuO}_{4+\delta}$, *Nature* 362, 226–228.
- Reynolds, C. A., Serin, B., Wright, W. H., and Nesbitt, L. B.,** 1950, Superconductivity of Isotopes of Mercury. *Physical Review*, 78(4), 487.
- Ropers, B., Carmona, F. and Flandrois, S.,** 1992, Phenomenological Approach to the Resistive Transition of YBaCuO-Ag Superconducting Random Composites, *Physica C: Superconductivity*, 204(1), 71-78.
- Salamati, H., Babaei-Brojeny, A. A. and Safa, M.,** 2001, Investigation of Weak Links and the Role of Silver Addition on YBCO Superconductors, *Supercond. Sci. Technol.*, 14(10), 816.
- Saxena, A.K.,** 2010, High-Temperature Superconductors, Springer Series in Materials Science, 125, 208p, ISBN: 978-3-642-00711-8 (Print).
- Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J. D. and Ott, H. R.,** 1993, Superconductivity Above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O System, *Nature*, 363(6424), 56-58.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sheng, Z.Z. and Hermann, A.M.**, 1988, Superconductivity in the Rare-earth-free Tl-Ba-Cu-O System Above Liquid-Nitrogen Temperature, *Nature*, 332(6159), 55-58.
- Sheng, Z. Z., Hermann, A. M., El Ali, A., Almasan, C., Estrada, J., Datta, T. and Matson, R. J.**, 1988, Superconductivity at 90 K in the Tl-Ba-Cu-O System, *Phys. Rev. Lett.*, 60(10), 937.
- Srinivasan, K., George Thomas, C. and Padaikathan, P.**, 2011, Fluorine Doping Effect in the New Superconducting $Y_3Ba_5Cu_8O_y$ Compound, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 10(14), 1277.
- Tarascon, J. M., Greene, L. H., McKinnon, W. R., Hull, G. W. and Geballe, T. H.**, 1987, Superconductivity at 40 K in the Oxygen-Defect Perovskites $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-y}$, *Science*, 235(4794), 1373-1376.
- Tavana, A. and Akhavan, M.**, 2010, How T_c Can Go Above 100 K in the YBCO Family, *Eur. Phys. J. B* 73, 79-83.
- Taylor, C. R. and Greaves, C.**, 1994, The Synthesis and Structural Characterisation of Ag-Doped $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, *Physica C: Superconductivity*, 235, 853-854.
- Tepe, M., Avci, I., Kocoglu, H., and Abukay, D.**, 2004, Investigation of the Variation in Weak-Link Profile of $YBa_2Cu_{3-x}Ag_xO_{7-\delta}$ Superconductors by Ag Doping Concentration, *Solid State Commun.*, 131(5), 319-323.
- Uchida, S. I., Takagi, H., Kitazawa, K. and Tanaka, S.**, 1987, High T_c Superconductivity of La-Ba-Cu Oxides, *Japanese Journal of Applied Physics*, 26(1A), L1.
- Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q. and Chu, C. W.**, 1987, Superconductivity at 93 K in A New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure, *Phys. Rev. Lett.*, 58(9), 908.
- Youssif, M.I., Bahgat, A.A. and Ali, I.A.**, 2000, AC Magnetic Susceptibility Technique for the Characterization of High Temperature Superconductors, *Egypt J. Sol.*, 23: 231-250.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Zhao, Z., Chen, L., Yang, Q., Huang, Y., Chen, G., Tang, R., Liu, G., Cui, C., Chen, L., Wang, L., Guo, S., Li, S. and Bi, J., 1987, Cooper Oxide Superconductors (C. P. Poole, Jr., T. Datta, and H. A. Farach, Eds.), p. 274, Wiley, New York.



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında İzmir’de doğdu. İlköğretimi Ödemiş Zafer İlköğretim Okulunda (şu anda ilkokul olarak değiştirilmiştir) okudu. Ödemiş Lisesinde üç yıllık lise öğreniminin ardından 2008 yılında Ege Üniversitesi Fizik Bölümüne kayıt oldu. 2013 Haziran ayındaki mezuniyetin sonrasında Ocak 2014 yılında Ege Üniversitesi Fizik Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başlamış olup hala burada öğrenimini devam ettirmektedir.

