

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YBCO (123) SİSTEMİN Co/Mo KATKILI KALIN FİLM ÜRETİMİ
VE GENEL KARAKTERİZASYONU**

Nurcan DOĞAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**MALATYA
Temmuz-2005**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından Fizik Anabilim dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof.Dr.Yıldırım AYDOĞDU

(İmza)

Üye

Yrd.Doç.Dr.Yakup BALCI

Üye

Prof.Dr.M.Eyyüphan YAKINCI

(İmza)

(İmza)

ONAY

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.

...../...../.....

Prof.Dr.Ali ŞAHİN

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YBCO (123) SİSTEMİN Co/Mo KATKILI KALIN FİLM ÜRETİMİ VE GENEL KARAKTERİZASYONU

Nurcan DOĞAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

70+ix sayfa

2005

Danışman: Prof. Dr. M. Eyyüphan YAKINCI

Bu çalışmada katkısız YBCO, kobalt ve molibden katkılanmış YBCO örnekler katıhal reaksiyon yöntemi kullanılarak önce bulk olarak hazırlanmış ve sonrada bulk yapı mekanik olarak zımparalanarak kalın film haline getirilmiştir. Katkılamaların hazırlanan örneklerin fiziksel, elektriksel ve manyetik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Katkısız YBCO kalın film ve bulk örnekler için optimum özellikler elde edilmiştir. Ancak Co ve Mo katkılanması belli bir kritik katkılama değerinden sonra YBCO sistem üzerinde farklı bir yapılaşma meydana getirmiştir.

Bu çalışmanın sonucu olarak, katkılama işlemlerinden sonra YBCO'nun elektriksel, manyetik ve mikro-yapısı üzerinde bir iyileştirme yapmadığı bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Süperiletkenlik, YBCO sistemi, Katıhal reaksiyon yöntemi,
Süperiletken film

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THICK FILM FABRICATION OF Co/Mo SUBSTITUTED YBCO (123) SYSTEM AND GENERAL CHARACTERISATION

Nurcan DOĞAN

İnönü University
Graduate School of Naturel and Applied Sciences
Department of Physics

70+ix sayfa

2005

Supervisor: Prof. Dr. M. Eyyüphan YAKINCI

In this work, undoped YBCO, Cobalt and Molybdenum doped YBCO samples have been prepared in a bulk form initially by using solid-state technique and then mechanically rubbed and thick film form have been obtained. The effects of doping on physical, electrical and magnetic properties of the samples prepared have been investigated.

We obtained optimum properties for undoped YBCO thick film and bulk samples. However, after a critical doping value, Co ve Mo doped samples were produced a different formation on the YBCO system.

As a result of this work, we found no improvement on the electrical, magnetic and micro-structural properties of YBCO after doping process.

KEYWORDS: Superconductivity, YBCO System, Solid State Method, Superconductor film

TEŞEKKÜRLER

Bu Tez çalışmamız İnönü Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi 2004/11 nolu projesi kapsamında yapılmış olup bu projenin maddi olanakları kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarım ve tezim süresince ilgi, alaka ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. M. Eyyüphan YAKINCI'ya;

Deneysel sonuçların yorumlanmasında bana destek olan hocalarım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yakup BALCI ve Sayın Dr. M. Ali Aksan'a;

Magnetometre ölçümlerinde yardımcı olan Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Selçuk ATALAY ve manyetizma laboratuvarı görevlisi Sayın Murat GÜNEŞ'e;

X-Işınları ölçümlerinde bana yardımcı olan Sayın Uzman Kadir TOY'a;

SEM ve EDX analizlerinde bana yardımcı olan Sayın Uzman Murat ÖZABACI'ya;

Tezimin hazırlanması sırasında bana manevi olarak destek olan arkadaşlarım Sayın Emine BAYAZIT, Sayın Serkan ALAGÖZ ve Sayın Serdar ALTIN'a;

Tezim süresince bana maddi-manevi olarak destek olan ve moral veren Sevgili annem Edibe DOĞAN ve babam Sayın Ramazan DOĞAN ve kardeşlerim Hasan, Deniz, Hakan ve Besime'ye sonsuz

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜRLER.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. SÜPERİLETKENLERDE TEMEL KURAMLAR.....	3
2.1. Barden, Cooper ve Schrieffer, (BCS) Teorisi.....	3
2.2. HT _c Süperiletkenlerde Teorik Yaklaşımlar.....	4
2.3. Süperiletkenlik Parametreleri.....	5
2.3.1. Kritik Geçiş Sıcaklığı (T _c).....	5
2.3.2. Kritik Akım Yoğunluğu (J _c).....	6
2.3.3. Kritik Manyetik Alan (H _c).....	7
2.3.4. Mükemmel Diamanyetizma-Meissner Etkisi.....	7
2.3.5. Sızma Derinliği (Penetration Depth).....	9
2.3.6. Uyum Uzunluğu (Coherence Length).....	9
2.3.7. I. ve II. Tip Süperiletkenlik.....	10
2.3.8. Ginzburg-Landau Parametresi.....	11
2.3.9. İzotop Etkisi.....	11
2.4. Süperiletken Sistemler.....	12
2.4.1. Metal ve Metal Alaşım Süperiletkenler.....	12
2.4.2. Oksit bazlı ve HT _c Süperiletken Sistemler.....	12
2.4.3. YBCO Süperiletken Sistemi.....	14
2.4.4. Süperiletken Sistemlerin Teknolojik Uygulamaları.....	18
2.4.5. Literatürde YBCO Süperiletken Sistemi.....	19
3. DENEYSEL TEKNİKLER.....	24
3.1. Örneklerin Hazırlanması.....	24
3.2. Isıl İşlemler.....	24
3.3. X-Işınları Analizleri (XRD).....	25
3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri (SEM).....	25
3.5. Elektriksel Ölçümler (R-T).....	26
3.6. Manyetik Ölçümler (M-T, M-H) ve Kritik Akım Yoğunluğu Hesaplamaları (J _c).....	26
4. DENEYSEL ÖLÇÜM SONUÇLARI.....	27
4.1. Örneklerin X-Işınları Kırınım Sonuçları (XRD).....	27
4.1.1. Katkısız YBCO Örneğin X-Işınları Kırınım Sonucu (XRD).....	27
4.1.2. Co Katkılı (Y _{1-x} Co _x Ba ₂ Cu ₃ O _z) Örneklerin (XRD) Sonuçları.....	28
4.1.3. Mo Katkılı (Y _{1-x} Mo _x Ba ₂ Cu ₃ O _z) Örneklerin XRD Sonuçları.....	30
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Sonuçları.....	32
4.2.1. Katkısız YBCO Örneğin SEM Sonuçları.....	32
4.2.2. Cobalt Katkılı Örneklerin SEM Sonuçları.....	33
4.2.3. Molibden Katkılı Örneklerin SEM Sonuçları.....	40
4.3. Elektriksel Ölçüm Sonuçları.....	47
4.3.1. Katkısız YBCO Örneğin R-T Sonuçları.....	47
4.3.2. Co Katkılı Örneklerin R-T Sonuçları.....	47
4.3.3. Mo katkılı Örneklerin R-T Sonuçları.....	49

4.4.	Manyetik Ölçüm Sonuçları.....	50
4.4.1.	Katkısız YBCO Örneğın Manyetik Ölçüm Sonuçları.....	50
4.4.2.	Cobalt Katkılı ($Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$) Örneklerin Manyetik Ölçüm Sonuçları....	52
4.4.3.	Molibden Katkılı ($Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$) Örneklerin Manyetik Ölçüm Sonuçları.....	55
5.	SONUÇLARIN YORUMU VE GENEL TARTIŞMA.....	62
5.1.	Örneklerin Hazırlanma Koşulları.....	62
5.2.	XRD Sonuçları.....	62
5.3.	SEM Sonuçları.....	63
5.4.	Elektriksel Ölçüm Sonuçları.....	65
5.5.	Manyetik Ölçüm Sonuçları ve J_c Değerleri.....	65
	KAYNAKLAR.....	67
	ÖZGEÇMİŞ.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Süperiletkenlerin keşif tarihleri ve kritik geçiş sıcaklıkları.....	2
Şekil 2.1.	Saf YBCO süperiletkenine ait direnç-sıcaklık eğrisi ve ΔT_c aralığı.....	6
Şekil 2.2.	Meissner etkisinin deneysel gösterimi.....	8
Şekil 2.3.	a) I.Tip süperiletkenlerin uygulanan dış manyetik alanla manyetizasyonun değişimi, b) Uygulanan dış manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı.....	10
Şekil 2.4.	a) II.Tip süperiletkenlerin uygulanan manyetik alanla manyetizasyonun değişimi, b) Uygulanan dış manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı.....	11
Şekil 2.5.	YBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} sisteminin a) Ortorombik, b)Tetragonal kristal yapısı [41]....	15
Şekil 2.6.	YBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} 'nun kristal yapısı. Cu atomları oksijenle zincir ve düzlem oluşturmaktadır [42].....	17
Şekil 4.1.	Katkısız YBCO örneğine ait XRD kırınım deseni.....	27
Şekil 4.2.	Katkısız YBCO sistemi ve katkılı Y _{1-x} Co _x Ba ₂ Cu ₃ O _z sisteminin XRD kırınım deseni.....	29
Şekil 4.3.	Katkısız YBCO sistemi ve katkılı Y _{1-x} Mo _x Ba ₂ Cu ₃ O _z sisteminin XRD kırınım deseni.....	31
Şekil 4.4.	Katkısız, zımparalanmamış ve parlatılmamış YBCO kalın filmin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 2000 büyültme, b) 500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları.....	32
Şekil 4.5.	Zımparalanmış ve parlatılmış katkısız YBCO örneklerinin SEM görüntüleri a) 1000 büyültme ve b) 500 büyültmede elde edilen görüntüler. Her iki resimde siyah bölgeler parlatma sırasında oluşan çukur şeklindeki bozukluklardır.....	33
Şekil 4.6.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış Y _{0.9} Co _{0.1} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 2500 büyültme, b) 500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları.....	34
Şekil 4.7.	Zımparalanmış ve parlatılmış Y _{0.9} Co _{0.1} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerinin SEM görüntüleri a) 1000 büyültme ve b) 500 büyültmede elde edilen görüntüler.	35
Şekil 4.8.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış Y _{0.7} Co _{0.3} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 10000 büyültme, b) 2500 büyültmede ve c) 1000 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları.....	36
Şekil 4.9.	Zımparalanmış ve parlatılmış Y _{0.7} Co _{0.3} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerden alınan SEM görüntüsü.....	37
Şekil 4.10.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış Y _{0.5} Co _{0.5} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları.....	38
Şekil 4.11.	Zımparalanmış ve parlatılmış Y _{0.5} Co _{0.5} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerden alınan SEM görüntüsü.....	38
Şekil 4.12.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış Y _{0.3} Co _{0.7} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 10000 büyültme, b) 2500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları.....	39
Şekil 4.13.	Zımparalanmış ve parlatılmış Y _{0.3} Co _{0.7} Ba ₂ Cu ₃ O _z örneklerden alınan SEM görüntüsü.....	40

Şekil 4.14.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c)1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları.....	41
Şekil 4.15.	Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğin SEM fotoğrafı..	41
Şekil 4.16.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c)1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları.....	42
Şekil 4.17.	Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğin SEM analizi.....	43
Şekil 4.18.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c)1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları.....	44
Şekil 4.19.	Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneğin SEM fotoğrafı...	44
Şekil 4.20.	Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c)1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları.....	45
Şekil 4.21.	Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin SEM fotoğrafı.....	46
Şekil 4.22.	Katkısız YBCO örneğinin R-T eğrisi.....	47
Şekil 4.23.	0.1 Cobalt katkılı örneklerin R-T değerleri.....	48
Şekil 4.24.	0.3 Cobalt katkılı R-T değerleri.....	49
Şekil 4.25.	Katkısız YBCO örneğinin M-T eğrisi.....	51
Şekil 4.26.	Katkısız YBCO örneğinin M-H eğrileri.....	51
Şekil 4.27.	0.1 Co katkılı $Y_{0.9}Co_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi.....	53
Şekil 4.28.	0.1 Co katkılı $Y_{0.9}Co_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri.....	53
Şekil 4.29.	0.3 Co katkılı $Y_{0.7}Co_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi.....	54
Şekil 4.30.	0.3 Co katkılı $Y_{0.7}Co_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri.....	55
Şekil 4.31.	0.1 Mo katkılı $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi.....	56
Şekil 4.32.	0.1 Mo katkılı $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri.....	57
Şekil 4.33.	0.3 Mo katkılı $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi.....	58
Şekil 4.34.	0.3 Mo katkılı $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri.....	58
Şekil 4.35.	0.5 Mo katkılı $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi.....	59
Şekil 4.36.	0.5 Mo katkılı $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri.....	60
Şekil 4.37.	0.7 Mo katkılı $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi.....	60
Şekil 4.38.	0.7 Mo katkılı $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri.....	61

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Tetragonal ve Ortorombik fazların parametreleri.....	14
Tablo 2.2.	Ortorombik $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ bileşimindeki atomik konumlar ve atomların birim hücredeki sayıları.....	16
Tablo 4.1.	Katkısız YBCO referans maddesinin hesaplanan kristalografik Parametreleri.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR

B	Manyetik indüksiyon
B_c	Kritik manyetik alan
M	Manyetizasyon
H	Dış manyetik alan
H_c	Kritik manyetik alan
T	Sıcaklık
T_c	Kritik sıcaklık
T_{sifir}	Sıfır direnç sıcaklığı
ΔT_c	Geçiş sıcaklık bölge genişliği
J	Akım yoğunluğu
J_c	Kritik akım yoğunluğu
ξ	Uyum (koherens) uzunluğu
ξ_0	Özuyum uzunluğu
ρ	Öziletkenlik
v_f	Fermi enerjisindeki elektronların hızı
E_g	Yasak enerji aralığı
V	Hacim
N_s	Süperiletimi meydana getiren elektronların yoğunluğu
λ	Sızma derinliği
κ	Ginzburg-Landau parametresi

1. GİRİŞ

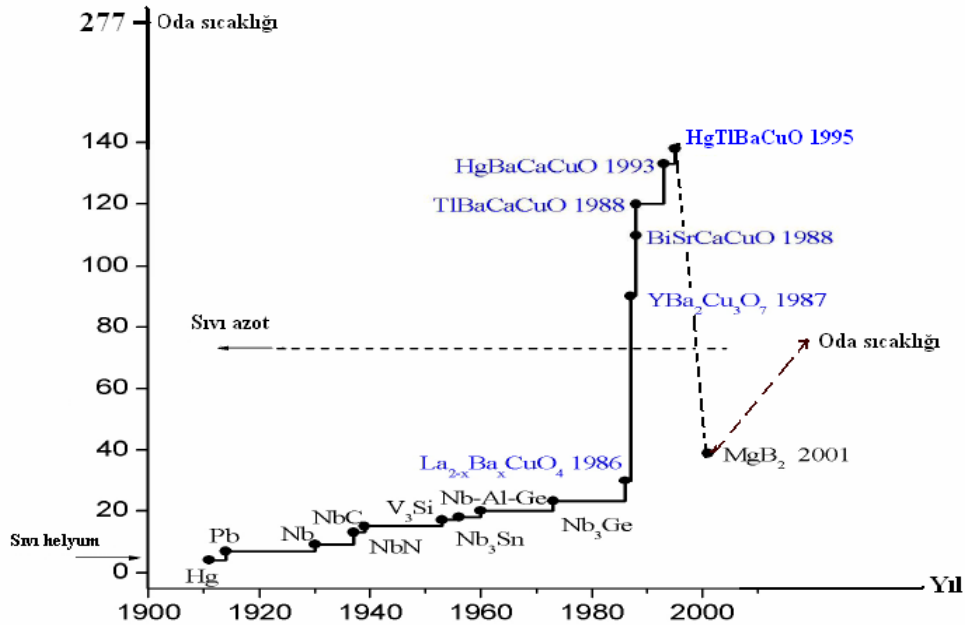
Mutlak sıfıra yaklaştıkça metallerin elektriksel direncinin kaybolacağı yıllardır bilinmektedir. Öyle ki, Onnes 1911 yılında cıvanın elektriksel özelliklerini incelerken 4.15 K'de elektriksel direncinin sıfıra düştüğünü buldu [1]. Onnes cıvanın daha önce bilinen özelliklerinden farklı olarak yeni bir duruma geçtiğini anlamış ve bu yeni durum süperiletkenlik durumu olarak adlandırılmıştır.

Daha sonra birçok süperiletken malzeme keşfedilmiştir. Onnes'in ilk süperiletken maddeyi keşfinden sonra süperiletken numunelere yüksek manyetik alan uygulandığında numunenin elektriksel direncinin normale döndüğü gözlenmiştir. Böylece süperiletken maddelerin manyetik davranışları da çalışılmaya başlanmıştır [2]. Örneğin, 1933 yılında W. Meissner ve R. Ochsenfeld süperiletken maddelerin uygulanan manyetik alanı dışarıladığını keşfetmişlerdir. Bu olay Meissner etkisi olarak adlandırılmaktadır [3]. 1935 yılında C. Gorter ve H.B.G. Casimir "İki-Sıvı Model"ini ortaya atmışlar ve süperiletkenlerde normal ve süperiletken olmak üzere iki tür elektronun olduğunu ve bunların sıvılar gibi karışık olduğunu, maddenin süperiletkenlik özelliklerinin de bu ikisinin oranına bağlı olduğunu öne sürmüşlerdir [4]. 1935 yılında Heintz ve Fritz London kardeşler "dışarıdan uygulanan manyetik akı bir süperiletkene sızabilir" şeklindeki açıklamalarıyla sızma derinliğini ortaya çıkarmışlardır [5]. 1950 yılında Ginzburg ve Landau kuantum mekaniğini kullanarak süperiletkenlerin elektriksel davranışını açıklamaya çalışmışlardır [6]. 1957 yılında Bardeen, Cooper ve Schrieffer I. tip süperiletkenlerin davranışını BCS teorisiyle açıklamışlardır [7]. 1962'de bir yalıtkan maddeyle birbirinden ayrılmış süperiletkenler arasında elektron çiftlerinin tünelleme yaparak hareket edeceği Brian Josephson tarafından bulunmuş ve ertesi yıl Rowell ve Anderson ilk Josephson kavşağını dizayn etmişlerdir [4].

1986 yılında ise, Müller ve Bednorz'un, İsviçre IBM Araştırma Laboratuvarında çalışırken, La-Ba-Cu-O elementlerinden oluşan ve 35 K'de süperiletken olan seramik bileşiği bulması ile yüksek sıcaklık süperiletkenler devri de başlamıştır. Bundan önce bilim adamları normal sıcaklıkta iyi yalıtkan olan seramiklerin süperiletken olabileceğini göz önüne almamışlardır [8]. Ancak devam eden yıllarda araştırmacılar daha yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletken bulmak ümidiyle farklı seramik bileşikler üzerinde yoğun çalışmalar yapmışlardır. 1987'de Bi-Sr-Cu-O sisteminin 20 K'de süperiletken olduğu Mitchell tarafından keşfedilmiştir [9]. 1987 yılı içerisinde Wu ve arkadaşları Lantan yerine Yitrium koyarak 92 K geçiş sıcaklığına sahip YBCO

süperiletken ailesini bulmuşlardır [10]. 1988 yılının başlarında ise Maeda ve arkadaşları Bi-Sr-Cu-O sistemine Ca ekleyerek geçiş sıcaklığını 80 K'ne yükseltmeyi başarmışlardır. Daha sonra CuO₂ tabakasının sayısına bağlı olarak n=1, 2 ve 3 olmak üzere BSCCO sisteminin geçiş sıcaklığının sırasıyla 10, 85 ve 110 K olduğunu gözlenmiştir [11]. Oksitli bileşikler üzerine yapılan çalışmalar devam ederken 1989 yılında Hazen ve arkadaşları tarafından Tl-Ba-Ca-Cu-O sisteminin 120 K'de süperiletken olduğu keşfedilmiştir [12].

1991 yılına gelindiğinde ise C₆₀ türü fullerene bileşiklerinin süperiletken olduğu keşfedilmiştir. C₆₀ ile yapılan K₃C₆₀ bileşiğinin 18 K civarında süperiletken olduğu bulunmuştur [13]. 1993'te ise civa bazlı seramik oksit süperiletken Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminin atmosferik basınç altında 133-135 K geçiş sıcaklığına sahip olduğu fakat yüksek basınç altında ise geçiş sıcaklığının 160 K üzerine çıktığı belirlenmiştir [14]. Bilim adamları oksitli süperiletkenlerin geçiş sıcaklığını daha yukarıya çıkarmaya çalışırken MgB₂ metal alaşımı 2001 Ocak ayında süperiletkenlik ailesine çarpıcı bir şekilde katılmıştır. MgB₂'nin geçiş sıcaklığı ise 39.8 K olarak belirlenmiştir [15]. Günümüzde de oda sıcaklığında süperiletken arayışları tüm dünyada büyük bir hızla devam etmektedir. Süperiletkenlerin keşif yılları ve kritik geçiş sıcaklıkları Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Süperiletkenlerin keşif tarihleri ve kritik geçiş sıcaklıkları

2. SÜPERİLETKENLERDE TEMEL KURAMLAR

Düşük sıcaklık süperiletkenlerin (saf metal ve metal alaşımlar) tanımını ve süperiletkenlik özelliklerini kapsamlı bir şekilde açıklayan teori BCS teorisidir. Yüksek sıcaklık süperiletkenleri için ise teorik yaklaşımlar vardır ancak net bir teori henüz mevcut değildir.

2.1. Barden, Cooper ve Schrieffer, (BCS) Teorisi

1957 yılında süperiletkenliğin ilk mikroskobik teorisi Bardeen, Cooper ve Schrieffer tarafından geliştirilmiş ve BCS teorisi olarak adlandırılmıştır. Bu teori fermi yüzeyine yakın dar bir enerji aralığında bulunan elektronlar arasındaki net bir çekim etkileşmesinin varlığı üzerine kuruludur [16]. Bu teori saf metaller ve alaşımlar için günümüzde geçerliliğini koruyan tek teoridir.

BCS teorisine göre bir elektron örgü içinde hareket ettiğinde elektron yolu üzerindeki pozitif iyonları kendine doğru çekecek ve örgü hafifçe şekil bozukluğuna uğrayacaktır. Bu şekil bozukluğu pozitif yükün çok olduğu bir bölge oluşturur. Bu kutuplanmış bölgede başka bir elektron hareket ederse pozitif yükler tarafından çekilecektir. Çekme işlemi eğer elektronlar arasındaki itmeden daha kuvvetli ise, elektronlar şekil değişikliğine uğramış örgünün aracılığıyla Cooper çifti halinde hareket ederler.

Bir Cooper çiftinin yasak enerji aralığı, E_g , 10^{-3} eV mertebesindedir ve $h\nu \geq E_g$ olduğu zaman Cooper çiftleri birbirinden kopar.

BCS teorisine göre 0 K'de yasak enerji aralığı kritik sıcaklığa ;

$$E_g(0) = 3.53kT_c \quad (2.1)$$

ile bağlıdır.

Bir Cooper çiftinde elektronların spinleri zıt dolayısıyla da çiftin toplam spini sıfırdır. Bunun sonucunda süperiletkendeki elektron çiftleri (1/2 spine sahip ve

fermiyon olan birincil elektronların tersine) birer bozon olup aynı anda aynı kuantum durumunda bulunabilirler.

Bu şartlar altında BCS teorisinin başarılı olabilmesi için [17]:

- i. Serbest elektron gazı olması gerekir ki bağlı boson durumuna ulaşılsın.
- ii. Cooper çiftleri arasındaki uzaklık ≈ 100 nm boyutunda olmalıdır.
- iii. İletim elektron yoğunluğu gereklidir aksi takdirde çekici coulomb etkileşmeleri elektron-fonon-elektron etkileşmesini perdeleyebilir.
- iv. Süperiletken bir halkadan geçen manyetik akı kuantumlanmıştır ve etkin yük birimi bir elektron yerine iki elektron olur. BCS teorisinde taban durumu elektron çiftlerini öngörür. Böylece çiftlerin iki elektron yükü cinsinden akı kuantumlanması teorisinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkar.

2. 2. HT_c Süperiletkenlerde Teorik Yaklaşımlar

HT_c süperiletkenliğini açıklayacak tam bir teori bulunmamakla birlikte birkaç önemli yaklaşım yapılmıştır. Örneğin; Abrikosov'un süperiletken elektronik sıvı yoğunluğunu (Abrikosov'a göre soğutulan bir gazda oluşan sıvı damllarına elektronik sıvı denir ve bu sıvı süperiletkendir) bir dalga fonksiyonu vasıtasıyla hesaba katan süperiletkenlik tanımıdır. Abrikosov, süperiletken elektronik sıvıda oluşan girdapların matematiksel olarak dalga fonksiyonuyla nasıl tanımlanabileceğini ve dış manyetik alanın bu girdaplar boyunca malzemeye nasıl nüfuz edebileceğini açıklamaya çalışmıştır. Abrikosov ayrıca manyetik alan şiddeti artarken girdap sayısının nasıl arttığını ve girdap korlarının üst üste binmesi halinde malzemedeki süperiletkenlik özelliklerinin nasıl kaybolacağını da göstermiştir [18]

Diğer bir yaklaşım ise Anderson tarafından geliştirilen ve Rezonans-Valans-Band Teorisi (RVB) olarak adlandırılan teoridir [19]. Bu teoriye göre tek elektron spinleri örgü noktalarında lokalize olurlar ve bir diğeri ile etkileşerek antiferromanyetik düzenleme oluştururlar. Atomlar arası uygun yer değiştirme, ara bölgeye girme veya yük perdelenmesi gibi uygun örgü durumlarında komşu elektronlar arasında net bir çekim oluşturur. Bu da lokalize olmuş durumlarda elektron çiftlerinin net sıfır spine sahip olacağını yani, bozon türü bir şekillenim oluşturacağını söyler. Eğer bu örgüye bir

alıcı iyon yerleştirilirse, holler (boşluklar) lokalize elektron çiftleri ağında ortaya çıkacaktır. Dolayısıyla, bu modelin temelinde cooper çiftleri örgü yerlerinde lokalize olurlar ve bundan dolayı da termodinamik bakımdan örgü kararlı halde bulunur.

Diğer bir yaklaşım ise C.V. Varma tarafından yapılmıştır [20]. Bu teoride ise çok bileşenli malzemeler için geçerli olabileceği ortaya atılan ve diğer teorikçiler tarafından da desteklenen teorinin esasını Marjinal Fermi Sıvısı modeli oluşturmuştur. Bu modelde her HT_c maddeler için doğru sonuç vermediği safsızlık oranları arttıkça değişik problemler ortaya çıktığı için bir teori olarak kalmıştır. Bunlarla birlikte bir çok yaklaşım yapılmıştır. Ancak bu yaklaşımlar genelde çok fazla kabul görmemiştir.

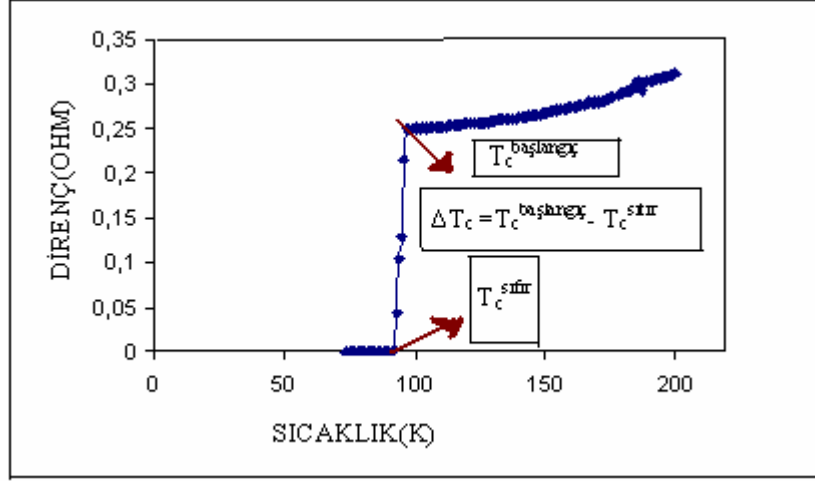
2.3. Süperiletkenlik Parametreleri

Süperiletkenlerin tanımlanmasında kullanılan önemli parametreler ve özellikler vardır. Fakat bunlar içerisinde kritik sıcaklık (T_c), kritik akım yoğunluğu (J_c) ve kritik manyetik alan (H_c) değerleri bir maddenin süperiletken olarak tanımlanması için gerekli ana parametreler olarak bilinir.

2.3.1. Kritik Geçiş Sıcaklığı (T_c)

Süperiletkenlikte kritik sıcaklık, T_c , materyalin metalik özelliklerinin değişmeye başladığı en yüksek sıcaklığın başlangıcı olarak açıklanır. Kritik geçiş sıcaklığından sonra materyalin direnci sıfıra düşer. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi eğrinin son noktası ve başlangıç noktası arasındaki fark $\Delta T_c = T_c^{\text{başlangıç}} - T_c^{\text{sıfır}}$ olarak hesaplanır.

Bu aralığın geniş olması örneğin saf bir süperiletken olmadığı (II.tip süperiletken) aralığın dar olması ise örneğin saf, kaliteli, homojen yada tek kristal yapıda olduğunu gösterir. Geçiş aralığı saf metallerde 10^{-3} - 10^{-5} K iken geçiş metalleri ve alaşımlarda ise $\sim 0,1$ K, seramik süperiletken oksitlerde ise 1-2 K'lik bir genişliğe sahiptir.



Şekil 2.1. Saf YBCO süperiletkenine ait direnç-sıcaklık eğrisi ve ΔT_c aralığı

2.3.2. Kritik Akım Yoğunluğu (J_c)

Süperiletkenliği bozan sadece kuvvetli bir manyetik alan değildir. Bunun yanı sıra bir süperiletkende akım yoğunluğu J_c olarak adlandırılan kritik akım değerini geçtiği zaman da süperiletkenlik ortadan kalkar. J_c 'nin değeri $T=T_c$ de sıfır değerinden 0 K'de maksimum J_c değerine kadar artma eğilimi gösterir. J_c değeri genelde deneysel ve yarı-teorik olmak üzere iki yöntemle bulunabilir. Bunlardan birincisi akım-gerilim (I-V) karakteristiklerinden hesaplanabilen yöntem diğeri ise kritik akım yoğunluğunun bulunmasında en çok kullanılan M-H histerisis eğrileridir. Histerisis eğrilerinden yararlanarak yarı teorik akım yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılan denklemler;

$$J_c = \frac{30\Delta M}{d} \quad (2.2)$$

$$J_c = \frac{20\Delta M}{\left(1 - \frac{a}{3b}\right)a} \quad (2.3)$$

olup Bean formülü olarak bilinirler [21]. Burada $\Delta M=M_+-M_-$ örneğin manyetizasyonu, a ve b örneğin boyutları ve d ise tanecik boyutlarıdır. İlk denklem genel olarak tanecik boyutlarına bağlı ölçümlerde, ikincisi ise örneğin boyutlarına göre hesaplamalar için kullanılır. Bu denklemler sonucunda ortaya çıkan değerler daha çok yarı teorik olarak kabul edilirler ve kritik akım yoğunluğunun hesaplanmasında en fazla kullanılan denklemler olarak bilinmektedirler. Ancak, J_c teorik olarak da London denlemlerinin uzantıları kullanılarak hesaplanabilmektedir.

2.3.3. Kritik Manyetik Alan (H_c)

Süperiletkenliğin önemli bir özelliği de kritik alandır. Süperiletken numunelerde bir kritik manyetik alan değeri vardır. Bu alana kadar örnek dışarıdan uygulanan manyetik alanı dışlar ancak bu alan değerinden daha yüksek alanlar uygulanırsa süperiletkenlik özelliği bozulur. Bu kritik değer altındaki manyetik alanlarda ise örnek süperiletkenlik özelliğini korur. Kritik manyetik alan $H_c(T)=H_c(0)[1-(T/T_c)^2]$ şeklinde ifade edilir [22] ve hem örneğin geçiş sıcaklığı T_c 'ye hem de ortamın sıcaklığına bağlıdır. Bu manyetik alan değeri süperiletken malzemenin yapısını bozmadan uygulanabilecek maksimum manyetik alan değeridir. Kritik alan değeri malzemenin yapısına, manyetik alanın uygulanış yönüne de bağlı olarak değişebilir

2.3.4. Mükemmel Diamanyetizma-Meissner Etkisi

Bir süperiletken malzeme normal durumda manyetik bir materyal değildir. Süperiletken madde kritik sıcaklığın üzerindeki bir sıcaklıkta manyetik alana konulduğunda manyetik alan madde içerisinden nufuz eder. Kritik sıcaklığın altında, Süperiletken durumda, ($T < T_c$) madde yüzeyinde uygulanan manyetik alana zıt bir manyetik alan oluşur ve yüzeyde oluşan alan bu dışardan uygulanan alanı maddeden dışlar. Bu olay mükemmel diamanyetizma veya Meissner etkisi olarak adlandırılmaktadır, Şekil 2.2.



Şekil 2.2. *Meissner etkisinin deneysel gösterimi.*

Süperiletken bir madde içindeki manyetik alan şiddeti;

$$B_{iç} = B + \mu_0 M \quad (2.4)$$

ile verilir. Burada B dış manyetik alan, M örneğin manyetizasyonudur. $B < B_{iç}$ için ortamın magnetizasyonu $M = -B/\mu = \chi B$ olur. $\chi = -1/\mu_0$ olup manyetik duygunluk olarak adlandırılır ve süperiletken madde dış manyetik alanın etkisini yok edecek yönde manyetize olur.

Bir süperiletkenin yüzeyinde oluşan manyetik alan ($B_{yüz}$) dışardan uygulanan manyetik alan ($B_{dış}$) ile orantılıdır.

$$(B_{yüz}) \propto (B_{dış}) = B_c(T) \quad (2.5)$$

Kritik alan değeri $B_c(T)$, $B_{yüz}$ 'e bağlıdır, bu kritik değer geçilirse örnek normal durumuna (dirençli hale) geçer [23-25].

2.3.5. Sızma Derinliği (Penetration Depth)

Süperiletken malzemelerde belirli bir kritik alan değerinden sonra numunenin süperiletkenlik özelliği kaybolmaktadır. Bu kritik alan değerine kadar uygulanan manyetik alan numune içerisinde belirli bir derinliğe kadar üstel olarak azalarak ilerler. Bu ilerleme miktarı sıcaklığa ve numunenin türüne bağlı olarak değişir. İşte bu ilerleme miktarına Sızma Derinliği (Penetration Depth) denir, λ . Matematiksel olarak

$$\lambda = (mc^2 / 4\pi n_s e^2)^{1/2} \quad (2.6)$$

verilir [26]. Burada m elektronun kütlesi, c ışık hızı ve n_s ise çiftlenmiş elektron yoğunluğudur. Yüksek sıcaklık süperiletkenler için sızma derinliği 1200-1400 Å arasında olduğu belirlenmiştir [27]. YBCO'nun sızma derinliği $\lambda_{ab} \approx 140$ nm ve $\lambda_c \approx 600$ -1800 nm civarındadır.

2.3.6. Uyum Uzunluğu (Coherence Length)

Uyum uzunluğu, süperiletkenliğin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Süperiletkenliğin oluşabileceği en küçük boyut yada Cooper çiftlerinin bir arada bulunabileceği mesafe olarak tanımlanır [23]. Uyum uzunluğu aynı zamanda uygulanan manyetik alanla değişen enerji band aralığının, E_g , bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Uyum uzunluğu ile öz uyum uzunluğu arasındaki ilişki ise ;

$$\zeta \approx (\zeta_0 \ell)^{1/2} \quad (2.7)$$

olarak verilir. Burada ℓ , Cooper çiftlerinin aldığı yoldur ve ζ_0 ise saf süperiletkendeki öz uyum uzunluk olup değeri BCS teorisine göre

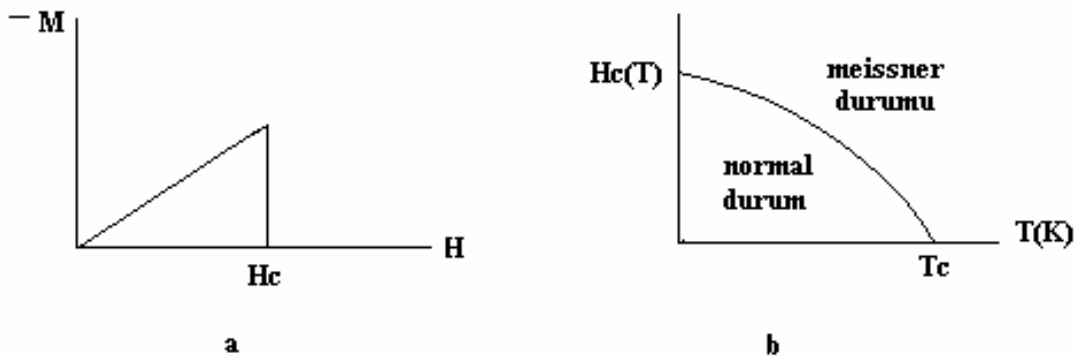
$$\zeta_0 = 0.39 \hbar v_f / \pi E_g \quad (2.8)$$

olarak verilmektedir. Burada v_f Fermi enerjisindeki elektronların hızı, E_g ise BCS teorisinde tanımlandığı gibi $E_g = [(h^2/2m)k_f q_0]$ olarak tanımlanır. BSCCO ve YBCO'nun uyum uzunluk değerleri sırasıyla 2.2 Å ve 4.2 Å olarak belirlenmiştir [27-29]. Yüksek

sıcaklık süperiletkenlerdeki uyum uzunluk değeri metal ve metal alaşım süperiletkenler ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmüştür .

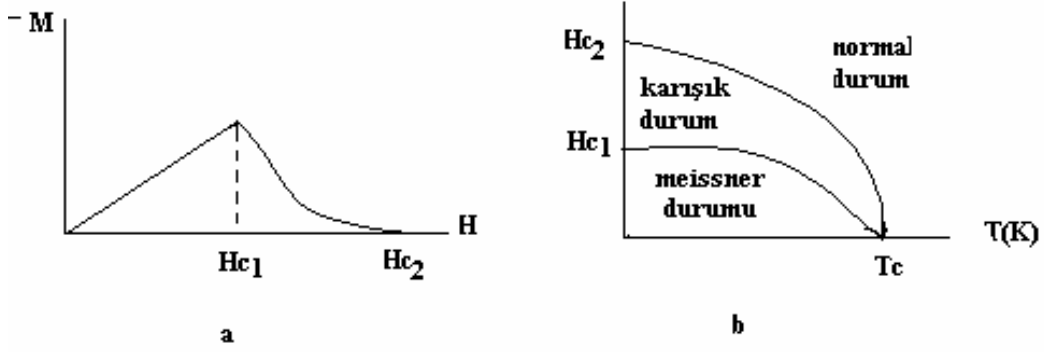
2.3.7. I. ve II. Tip Süperiletkenlik

Bir süperiletken malzeme kritik sıcaklığın altında ($T < T_c$) iken manyetik alan uygulandığında, malzeme kritik alan (H_c) değerine kadar uygulanan manyetik alan çizgilerini dışlar ve mükemmel bir diamagnet özelliği gösterir. Kritik manyetik alanın üzerindeki manyetik alanlarda ($H > H_c$) ise madde normal hale döner ve manyetik alan çizgileri madde içerisine girer. Manyetik alanı tamamen dışlayan süperiletkenlere I.tip süperiletkenler denir. I. tip süperiletkenler saf metaller alaşımlar olup bunlar Meissner etkisiyle karakterize edilirler, Şekil 2.3.



Şekil 2.3. a) I. Tip süperiletkenlerin uygulanan dış manyetik alanla manyetizasyonun değişimi, b) Uygulanan dış manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı

Bazı metal alaşımlar ve HT_c materyaller II. tip süperiletkenler olarak adlandırılır ve artan alan ile H_{c1} değerine kadar tam bir meissner etkisi gösterir. H_{c1} 'in üzerinde örneğe kısmen manyetik akı işler, bununla birlikte süperiletkenlik durumunun özelliği olan kayıpsız akım taşıma özelliği korunur. H_{c2} değerine gelindiğinde manyetik alan çizgileri numuneye tamamen girmeye başlar ve süperiletkenlik yok olur. H_{c1} ve H_{c2} aralığında süperiletken içerisinde öbekler halinde manyetik akı, Şekil 2.4, oluşur ve bu bölgeye karışık durum (mixed-state) denir [23-25].



Şekil 2.4. a) II.Tip süperiletkenlerin uygulanan manyetik alanla manyetizasyonun değişimi, b) Uygulanan dış manyetik alanın sıcaklığa bağlılığı

2.3.8. Ginzburg-Landau Parametresi

Ginzburg-Landau parametresi süperiletkenlik türünün belirlenmesinde kullanılan bir parametredir ve sızma derinliğinin uyum uzunluğuna oranına eşittir, $\kappa = \lambda / \zeta$. Eğer $\kappa < 1/\sqrt{2}$ ise örnek I.tip süperiletken ve eğer $\kappa > 1/\sqrt{2}$ ise örnek II.tip süperiletken olarak kabul edilir [25, 30].

2.3.9. İzotop Etkisi

Süperiletken numunelerin geçiş sıcaklığının, T_c , izotop kütlesiyle değiştiği bilinmektedir. İzotop serileri için deneysel sonuçlar $M^\alpha T_c = \text{sabit}$ bağıntısıyla uyumludur. Burada M atomik kütle ve T_c kritik sıcaklıktır. T_c 'nin izotop kütlesine bağlılığı, örgü titreşimleri ve elektron örgü etkileşimlerinin süperiletkenlikte önemli bir etkisi olacağını göstermektedir.

$\alpha > 1/2$ olduğunda yapıda genellikle elektron-fonon veya elektron-elektron çiftlenimi olduğu, $\alpha < 1/2$ olduğu durumlarda ise fonon çiftleniminin olduğu kabul edilmektedir. Saf metaller ve alaşımlar için $\alpha = 1/2$ olacağı belirlenmiştir [29].

2.4. Süperiletken Sistemler

Süperiletken sistemler saf metal, metal alaşım ve oksit bazlı Süperiletken sistemler olmak üzere iki sınıfa ayrılarak incelenebilir.

2.4.1. Metal ve Metal Alaşım Süperiletkenler

Süperiletkenler üzerine ilk çalışmalar metallere başlamış olup bu çalışmalar metal alaşımlarla devam etmiştir. Onnes'in çalışmaları sırasında metalik civanın süperiletken olduğunun bulunmasından sonra 1913 yılında kurşunun 7.2 K'de süperiletken olduğu 1930 yılında ise Niobium'da süperiletkenlik bulunmuştur (9.2 K) [31]. Ancak çalışmalar bu metallere sınırlı kalmamıştır. Birçok metalin süperiletkenlik özelliği günümüze kadar incelenmiştir. Fakat bunların çoğunun süperiletkenlik değerinin mutlak sıfır sıcaklığı civarında olduğu görülmüştür.

Çalışmalar sadece saf metaller üzerine yapılmamıştır. Metaller ile birlikte alaşımlar üzerinde de çalışmalar yoğunlaşmış ve bir çok alaşımda süperiletkenlik gözlenmiştir. Bunlar içerisinde 1972'de Nb₃Ge'nin 23.2 K'de süperiletken olduğu keşfedilerek en yüksek T_c değerine ulaşılmıştır [31]. Metal alaşımlar içerisinde en yüksek geçiş sıcaklığına sahip olan MgB₂ alaşımını 2001 yılında süperiletkenlik ailesine katılmıştır. MgB₂'nin geçiş sıcaklığı ise 39,8 K olarak belirlenmiştir. Genel olarak metal ve metal alaşımları I. tip süperiletken özellik gösterirler. Bu süperiletkenlerin basit bir kristalografik özellikleri vardır. Bu olumlu özelliklerinin yanı sıra çabuk oksitlenmeleri ve bazılarının yüksek saflıkta elde edilememeleri bu tip süperiletkenlerin dezavantajları olarak göze çarpmaktadır.

2.4.2. Oksit bazlı ve HT_c Süperiletken Sistemler

Oksit Bazlı Süperiletkenler aslında 1986 yılına kadar çok fazla incelenmemiş materyallerdir. Ancak 1986 yılından itibaren LaBaCuO sisteminin keşfi ile birlikte aslında seramik özellik gösteren fakat elektriksel olarak metalik özellikte olan bu malzemeler üzerinde çalışmalar başlamıştır. LaBaCuO sisteminin 35 K'de süperiletken olduğu bulunmuştur [32]

Devam eden yıllarda araştırmacılar daha yüksek geçiş sıcaklığına sahip seramik bulmak için çeşitli çalışmalar yapmışlardır. 1987 yılında Wu ve arkadaşları La yerine Y koyarak 92.4 K geçiş sıcaklığına sahip YBCO sistemini keşfetmişlerdir. Bu sistemin keşfine kadar süperiletken materyalleri geçiş sıcaklığının altına kadar soğutmak için yalnızca sıvı helyum kullanılıyordu fakat bu keşiften sonra sıvı azot kullanılmaya başlanmıştır.

1988 yılının sonlarına doğru $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$ sisteminin 3 farklı faza sahip olduğu bulunmuştur. Bu fazlar ve geçiş sıcaklıkları $n=1, 2$ ve 3 için sırasıyla 20, 85 ve 110 K olduğu bulunmuştur [11]. CuO bu sistemde düzlemsel yapıdadır ve n sayısına göre değişmektedir. $n=3$ olduğunda 3 tane CuO düzlemi oluşur ve BSCCO sistemini en yüksek geçiş sıcaklığına taşır ve sistemde CuO düzlemi arttıkça kritik sıcaklık artmaktadır.

1988 yılında bulunan diğer bir süperiletken sistem ise Tl sistemidir [33] Talyum ve oksijen miktarına bağlı olarak $\text{TlBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+3+y}$ ve $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$ şeklinde iki farklı temel yapısının olduğu bulunmuştur. Tl sisteminin çok bileşenli, karmaşık, toksik madde içermesi ve hazırlanmasının oldukça zor olmasından dolayı uygulamada çok az kullanılmaktadır. $\text{TlBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+3+y}$ sisteminde $n=1, 2, 3, 4$ ve 5 olmak üzere toplam 5 tane CuO düzlemi var iken $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+y}$ sisteminde ise $n=1, 2$ ve 3 olmak üzere 3 tane CuO düzlemi bulunmaktadır. $\text{TlBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+3+y}$ sisteminde $n=1, 2, 3, 4$ ve 5 sırasıyla $T_c=5-7$ K, 90 K, 110 K, 122 K ve 115 K geçiş sıcaklıklarına sahip olduğu keşfedilmiştir. İkinci yapıda ise en yüksek geçiş sıcaklığının $n=3$ için $T_c=125$ K civarında olduğu belirlenmiştir.

En son olarak bulunan oksit bazlı süperiletken sistem ise 1993 yılında bulunan Hg-Ba-Ca-Cu-O sistemidir [34]. Bu sistem en yüksek geçiş sıcaklığına sahip olup talyumlu sistem gibi $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+y}$ ve $\text{Hg}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+y}$ olmak üzere iki farklı temel yapıya sahiptir. Birinci sistemde $n=1,2$ ve 3 için geçiş sıcaklıkları sırasıyla $T_c=95$ K, 125 K ve 136 K olmaktadır. Bu yapıda $n=3$ olduğu sisteme çok yüksek basınç uygulandığında geçiş sıcaklığının 164 K'ne kadar arttırılabileceği bulunmuştur. İkinci temel yapı için ise geçiş sıcaklığı 80-120 K arasında değişmektedir. Bu sistem Hg içerdiğinden dolayı Tl sistemi için geçerli olan dezavantajlar burada da geçerli olmaktadır.

2.4.3. YBCO Süperiletken Sistemi

YBCO Süperiletken sistemi sıvı azot sıcaklığının (77 K) üzerinde kritik sıcaklığa sahip olan ilk süperiletken bileşiktir. YBCO'nun kristal yapısı, süperiletkenlik özellikleri oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ kimyasal formülü ile tanımlanır.

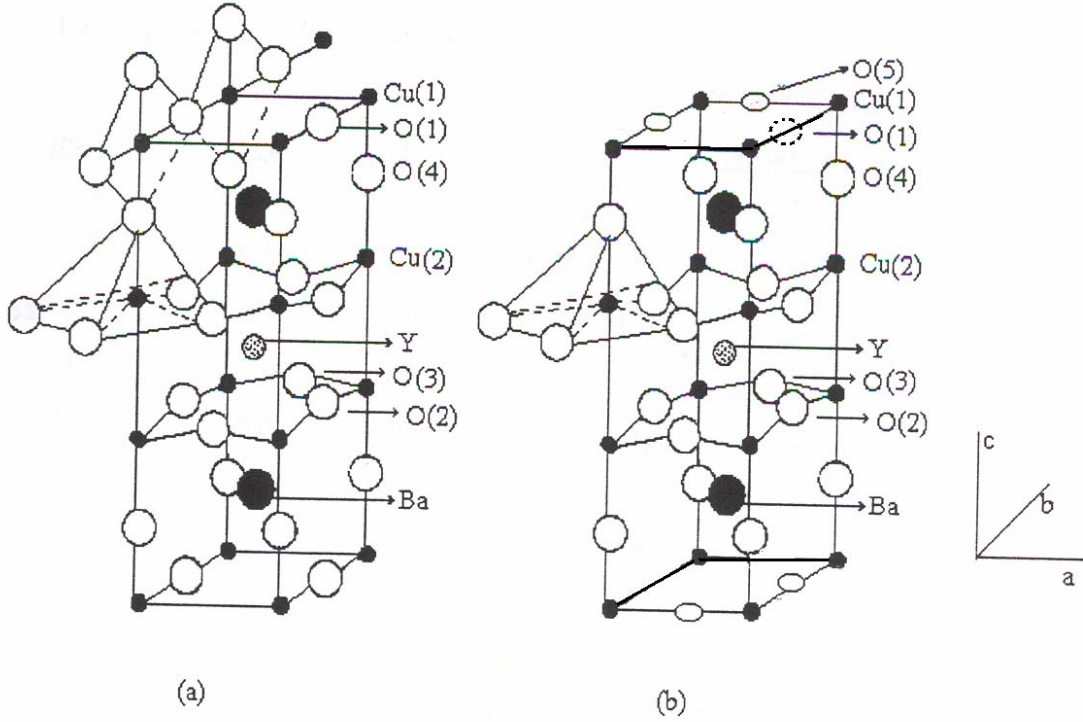
$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ sistemi tabakalı bir yapıya sahip olup oksijen miktarının değiştirilmesi yapıda ortorombik-tetragonal faz dönüşümlerine sebep olmaktadır. Bu faz dönüşümü ise kristal örgüdeki oksijen atomu boşlukları ile bu boşlukların yapıda düzenlenmesinden kaynaklanmaktadır.

$YBa_2Cu_3O_6$ tetragonal yapıda ($a=b \neq c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$) olup P4mmm uzay grubundadır ve kristal yapısı Şekil 2.5'teki gibidir. Birim hücre boyutları ise $a=b=3,9018 \text{ \AA}$, $c=11,9403 \text{ \AA}$ ve $V=181,781 \text{ \AA}^3$ 'tür [35]. Ortorombik YBCO Pmmm uzay grubunda olup birim hücre boyutları $a=3,8591\text{\AA}$; $b=3,9195\text{\AA}$; $c=11,8431\text{\AA}$ ve $V=179,137 \text{ \AA}^3$ 'tür [35], Tablo 2.1.

Sonuç olarak $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$; δ miktarı 0,6 veya daha az olunca sistem yalıtkan olarak kalır. İlave edilen oksijen miktarı 0,6 değerine yaklaştığı zaman kristalde iki önemli değişim meydana gelir. Kristal yapının simetrisi tetragonalden ortorombik yapıya dönüşür ($a \neq b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$) ve bir yalıtkan-metal geçişi meydana gelir.

Tablo 2.1. Tetragonal ve Ortorombik fazların parametreleri

Yapı	a(Å)	b(Å)	c(Å)	V(Å ³)	uzay grubu
Tetragonal	3,9018	3,9018	11,9403	181,781	P4mmm
Ortorombik	3,8591	3,9195	11,8431	179,137	Pmmm



Şekil 2.5. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ sisteminin **a)** Ortorombik, **b)** Tetragonal kristal yapısı [41]

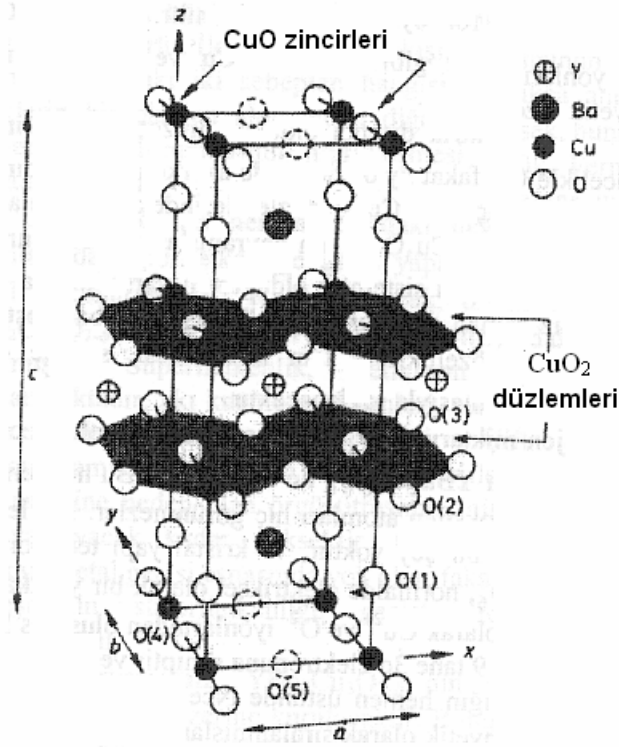
$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ sisteminde 5 ayrı oksijen bölgesi belirlenmiştir. $\delta=0,1$ için O(4) bölgesi hemen hemen doludur ve O(5) bölgesi boştur [36-39]. Ortorombik YBCO’da, bakır atomları Cu(1) ve Cu(2) olarak adlandırılan iki farklı konuma sahiptir. Bunlardan Cu(1); O(4) ve O(1) konumlarındaki oksijen atomlarıyla birim hücrenin alt ve üst kısmında oluşturdukları kare düzlemsel yapının köşelerinde yerleşmiştir ve Cu(1)-O(1) uzunluğu $\sim 1,9429\text{Å}$; Cu(1)-O(4) ise $1,846\text{Å}$ ’dır. Ayrıca Cu(1) ve O(1) ortorombik yapıda b-örgü parametresi boyunca uzanan zincir yapıyı oluşturmaktadır, Şekil 2.6. O(1) konumlarında rasgele görülen oksijen boşlukları sonucu bu zincir yapı kesilmektedir.

Cu(2) ise 4 oksijen atomu ile çevrilmiştir. Bunlardan ikisi O(2), diğer ikisi de O(3), konumlarındaki oksijen atomlarıdır Cu(2)- O(2) bağ uzunluğu $1,9299\text{Å}$, Cu(2)-O(3) bağ uzunluğu ise $1,9607\text{Å}$ ’dur [40]. Bu dört atom hemen hemen kare düzlemsel yapıdadır. Fakat Cu(2) konumundaki Cu O(4) konumuna doğru $0,28\text{Å}$ kaymıştır. Yitriyum Cu-O düzlemlerinin arasında $(1/2, 1/2, 1/2)$ konumunda bulunmaktadır, Tablo 2.2.

Tablo 2.2. *Ortorombik $YBa_2Cu_3O_7$ bileşimindeki atomik konumlar ve atomların birim hücredeki sayıları*

<u>Atom</u>	<u>x</u>	<u>y</u>	<u>z</u>	Birim hücredeki Atom sayısı
Y	0,5	0,5	0,5	1
Ba	0,5	0,1895(3)	0,5	2
Cu(1)	0,0	0,0	0,0	1
Cu(2)	0,0	0,3574(3)	0,0	2
O(1)	0,0	0,5	0,0	0,65(2)
O(2)	0,5	0,0	0,3767(4)	1,89(2)
O(3)	0,0	0,5	0,3804(5)	2
O(4)	0,0	0,0	0,1542(5)	2
O(5)	0,0	0,0	0,0	0,06(2)

İki baryum atomu ise bu düzlemlerin alt ve üst kısımlarında bulunmaktadır. 10 oksijen ile komşuluğa sahip olan baryum 4 oksijen ile kare düzlemsel bir yapı göstermektedir. Baryum Yitrium'a göre daha büyük olduğundan Cu-O düzlemlerini Yitrium'a doğru itmektedir. Bu nedenle Cu-O düzlemleri a-b düzlemine göre bir açı yapmaktadır. O(2) ve O(3) ile kare düzlemsel yapıya sahip Cu(2) O(4)'ün eklenmesiyle piramidal bir yapı göstermektedir. Ba-O(2), O(3) bağ uzunluğu 2,9 Å, Ba-O(4) bağ uzunluğu ise 2,7 Å'dur. Y^{+3} ise 2,4Å uzunlukta bulunan 8 oksijen komşuluğuna sahiptir ve Y^{+3} tabakaları oksijen içermemektedir [41].



Şekil 2.6. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 'nin kristal yapısı. Cu atomları oksijenle zincir ve düzlem oluşturmaktadır [42]

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ bileşiğinde yapılan bant çalışmalarına göre oksijenin yapıdan çıkması ile iletim elektronlarının sayısı artmaktadır ve fermi seviyesi yükselmektedir. Fermi düzeyindeki bu artış iyonik görüntüdeki ortalama bakır değerliğinde azalmaya sebep olur. Fermi düzeyindeki durum yoğunluğu düşükse, δ sıfırdan 0,5 değerine yükseldiği zaman durum yoğunluğu $\frac{1}{2}$ çarpanı kadar azalmaktadır [43]. Bu da azalan oksijen miktarı ile kritik sıcaklığın düşüşü için yeterli bir nedendir. Böylece oksijen boşlukları bir boyutlu Cu-O zincirlerini bozmakta ve yüksek durum yoğunluğuna neden olan bir boyutlu bant yapısının zincirlerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır .

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ önemli derecede bir anizotropi göstermektedir. Manyetik ve elektriksel ölçümler ile elektron mikroskobu çalışmalarında gözlenen anizotropi daha çok yönlendirilmiş örneklerde görülmektedir. Anizotropi özellikle c eksenine dik ve paralel ölçülen kritik akım yoğunluğu, öz direnç, düşük ve yüksek kritik manyetik alanlarda belirgin bir şekilde kendini göstermektedir. Örneğin, $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ üzerine yapılan çalışmalarında c eksenine dik ve paralel uygulanmış manyetik alanlar

$H_{c\perp}=0,4\text{KOe}$, $H_{c//}=6\text{KOe}$ olarak bulunmuştur [44]. Benzer şekilde akım yoğunluklarında da büyük bir anizotropi görülmektedir yani kritik akım yoğunluğu c eksenine dik ve paralel yöndeki kritik akım yoğunlukları; $J_{c//}=2.1\times 10^5\text{A/cm}^2$, $J_{c\perp}=4.6\times 10^4\text{A/cm}^2$ olarak ölçülmüş böylece kritik akım yoğunluklarındaki anizotropi ($J_{c//}/J_{c\perp}$)=4.6 olarak bulunmuştur [44]. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 'nin normal haldeki elektriksel direncide oldukça anizotropiktir. Direnç, akım z yönünde akarken çok daha yüksek, fakat xy düzleminde akarken daha azdır. Bu durum normal olarak iletimin baskın biçimde CuO_2 düzlemlerindeki taşıyıcılardan kaynaklandığının göstermektedir.

2.4.4. Süperiletken Sistemlerin Teknolojik Uygulamaları

DeneySEL çalışan bilim adamlarından bazıları 1989 yılından itibaren 77 K sıcaklığında çalışabilen HT_c teller kullanılarak hazırlanmış olan güç kabloları konusuna yönelmişlerdir. Bu kablolar güç kaybını önlemekte ve düşük voltaj seviyelerinde yüksek güç sağlamaktadır. Son yıllarda HT_c 'de bu konu ile ilgili önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Örneğin PIT metodu ile hazırlanmış olan (Bi,Pb) 2223 fazından elde edilen kablolardan önemli sayılabilecek sonuçlar bulunmuştur [45-49]. Günümüzdeki çalışmalarda amaç 77 K sıcaklığında yüksek kritik akım (I_c) taşıma kapasitesine sahip kabloların dizayn ve üretimidir. Bu bağlamda oksit bazlı süperiletkenleri teknolojik uygulamada cazip hale getiren onların sadece yüksek T_c ye sahip olmaları değil aynı zamanda yüksek J_c 'ye de sahip olmalarıdır ki bu da klasik elektromıknatıslardan daha uygun bir durum oluşturur. Bundan da öte özellikle manyetik enerji depolama, fırçasız motor yapımı gibi uygulamalar için çok önemli bir kritik parametre olan irreversibility field (geri dönüşümsüz alan) B_{irr} 'in yüksek bir değerde olması gerekir.

Dar yalıtkan bir bölge ile ayrılan iki süperiletken arasında tünellemenin varlığı, Josephson olayı, süperiletkenliğin anlaşılmasında çok önemli katkıları olmuştur ve geniş bir alana sahip olan ticari uygulamalara yol açmıştır. Josephson eklemleri, yüksek frekans osilatörleri ve dedektörler dahil pek çok uygulama alanına sahiptir. 1 veya 2 psn gibi çok kısa bir sürede süperiletken halden normal hale geçtikleri için bunlar süperiletken bilgisayar gibi yüksek hızlı dijital teknolojiye kullanılmaktadır. Josephson eklemlerinin en yaygın uygulamaları SQUID'lerinde kullanıldığı alanlardır [50]. SQUID, manyetik alanların algılanması ve ölçümü için uygun olan en duyarlı alettir. SQUID'ler tıbbi teşhis, jeolojik tahminler, ölçüm aletleri ve aynı zamanda gravite

dalgalarının araştırılması gibi temel fizik konularını kapsayacak biçimde çok çeşitli uygulama alanlarına sahiptir [51]. SQUID'lerin potansiyel kullanım alanlarının en önemlilerinden birisi tıptaki tahribatsız tanıdır. Beyin ve kalp gibi organlar çok büyük manyetik alanlar oluşturur [52]. Dolayısıyla SQUID'ler kullanılarak organ tarafından meydana getirilen manyetik alanın uzaysal değişiminin haritasını çıkarmak mümkündür ve buradan da anormalliğin bulunduğu bölge yakalanmış olur. SQUID sensörlerle insan beyni ve kalbindeki aktivitelerin "invivo" yöntemle saptanabileceği ilk kez 1970 yılında düşük sıcaklık süperiletkenleri (LTS) ile gerçekleştirilmiştir [53].

Niobyum (genelde NbT ve Nb₃Sn) düşük sıcaklık süperiletkeniyle yapılan bu ilk sensörler daha sonra Daalmans vd. tarafından 1990'lı yıllara kadar geliştirilerek biyomanyetizmanın ölçülebileceği "çok kanallı SQUID sistemleri" elde edilmiştir. HT_c'lerin bu şekilde tıpta kullanımına 1995'lerde başlanmıştır [54-60]. HT_c'lerin keşfinden sonra elektriksel güç uygulamalarında da kullanılması üzerine çalışmalar başlamıştır. Motorlar, Jeneratörler, iletişim telleri, transformatörler, fault-current limiterler ve fly-wheel gibi aletlerde kullanımı üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmıştır [61-63].

Süperiletkenlerin manyetik akı tuzaklanması süperiletken geçişi yakınlarında elektrik alanla akım yoğunluğu arasındaki nonlineer davranış yeni tip motor ve fault-current limiting devrelerinin gelişmesi için oldukça önemlidir. HT_c süperiletkenlerin diğer uygulama alanları ise; manyetik koruyucular [64], teller [65], çeşitli yüksek hızlı mikro elektronik düzenekler [66, 67], magnet yapımında [68], sarmal resonatorler [69], flux-flow transitörler [70-72] ve MAGLEV hızlı trenler [73, 74] olarak sıralanabilmektedir.

2.4.5. Literatürde YBCO Süperiletken Sistemi

Süperiletken sistemler keşfedildiği günden itibaren her bir süperiletken sistemine katkılama veya doping yapılarak malzemelerin süperiletkenlik özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. YBCO'ya özellikle alkali toprak metalleri ve 3d geçiş metalleri sırasıyla Y, Ba, Cu yerine katkılanması ile bunların sistem üzerine etkisi incelenmiştir. Genel olarak aşırı katkılama durumunda kristal yapının bozulduğu belirlenmiştir. Oluşan safsızlık fazları tuzaklama merkezleri olarak hareket etmişlerdir. Bazen de katkı

maddesinin yapıya girmeyip lokal bir şekilde kaldığı gözlenmiştir. YBCO sistemine yapılan farklı katkılar, dopingler veya oksijen içeriğindeki değişimler genel olarak taşıyıcı konsantrasyonunda değişmeye neden olmaktadır. Örneğe yapılan katkıların türü ve miktarına göre örneğin simetri grubu değişebilmektedir. Katkı maddesi kristal büyüme yönünü de etkilemektedir. YBCO sistemine yapılan katkıların genel özeti aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

YBCO'ya Zn eklendiğinde, Zn^{+2} , T_c değerinin düştüğü görülmüştür. Düşük Zn katkılamalarında, J_c değerinde artış olduğu gözlenmiştir. Zn miktarı arttıkça yapıdaki tuzaklama merkezlerinin artması ile J_c değerinde düşme olduğu bulunmuştur [75]. U. Kölemen vd. Zn katkılama malzemenin sertliğine olan etkilerini incelemişlerdir. 40 K'deki sertliğin oda sıcaklığındakine göre iki kat arttığı ve %1 oranında Zn katkısının YBCO'nun sertliğini arttırdığı gözlenmiştir [76].

Yapıya Ca katkılanması ise birçok grup tarafından çalışılmıştır. Ca genellikle Yitrium yerine katılmıştır. Ca'un Y ile yer değiştirmesi sonucu bir yük geçişi söz konusu olmakta ve süperiletkenlik özellikleri bozulmaktadır [77].

D. Seron vd. [78] kalsiyumu Yitriumun yerine katkılamalarıyla elde ettikleri YBCO ince filmleri üzerine yapılan çalışmada taşıyıcı sayısının arttığı bundan dolayı da J_c değerinin yükseldiği gözlenmiştir. İnce filmlerin T_c değeri 89 K olarak bulunurken J_c değeri 77 K'de 3×10^4 A/cm² olarak bulunmuştur. C. H. Cheng vd. [79] YBCO içine Fe ve Ca ayrı ayrı katkılanması incelendiğinde ise her iki elementin katkısı ile c-ekseninde bir uzama olduğu tespit edilmiştir. Ca ve Fe katkılanmış örneklerin T_c değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Katkı miktarına bağlı olarak T_c değeri 60-80 K arasında değişmektedir. Ca katkılanmış örneğin diyamanyetik sinyali Fe katkılanmış olan örneklerden daha büyük elde edilmiştir. Bu çalışmada sıcaklığın J_c üzerine olan etkisi de incelenmiştir. YBCO'ya Cu yerine Mg katkılanmasıyla T_c değerinin katkı miktarıyla azaldığı ve katkı seviyesi %4 olunca 45 K olduğu görülmüştür. Hazırlanan örneklerin SEM fotoğraflarına incelendiğinde YBCuMgO yapısında Mg lokal kalıp, yapıya girmediği görülmüştür [80].

YBCO sisteminde Ba yerine Ag katkılanması ile J_c değeri artmış, bununla birlikte T_c sıcaklıkları 50-60 K'ne düşmüştür [81]. YBCO sisteminde Ba yerine KClO₃ katkılanması yapıldığında düşük katkı seviyelerinde c-birim hücre parametresinde azalma olduğu belirlenmiştir. KClO₃- katkılı sistemdeki akı tuzaklamalarının katkısız

sisteminkine göre daha güçlü olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda, katkılamının sistemdeki tanecik büyüklüğünü artırdığı görülmüştür [82]. Yapıya Cu yerine Sn katkılı olduğunda ise $T_c(0)$ değerinin 89.5 K'den büyük olduğu bulunmuştur. SEM fotoğraflarından düzenli bir mikro-yapı elde edildiği görülmüştür. Katkı miktarı $x=0.2$ olduğunda $T_c(0)$ değerinin 94 K olduğu belirlenmiştir [83].

C. Harnois [84] YBCO'ya % 0,5 Cs ve % 5 oranında Ag birlikte katkıladığında gümüşün yapıda YBCO tanecikler arasında lokal olarak kaldığı ve çatlaklar arasında köprü şeklinde davrandığı gözlemlenmiştir. Gümüş miktarını %10 olarak katkıladığında ise gümüşün yapıya homojen olarak dağıldığını gözlemlemiştirlerdir H. Babu vd. YBCO sistemine uranyum katkılamaları sonucunda Uranyumun küçük küresel yüzeyli parçacıklar şeklinde yapıda lokal kaldığı, Uranyum katkılı örneğin T_c değeri 90.8 K olduğu, akı tuzaklama merkezlerinin yapıda katkılamayla arttığı bunun sonucu olarak ta J_c değerinin 10^4 - 10^7 A/cm² arasında değiştiği görülmüştür.

$Y_{0,6}Ho_{0,4}Ba_2Cu_3O_z$ nominal kompozisyonlu sistemde yapıda 211 fazına ilaveten çok sayıda etkili tuzaklama merkezlerinin oluştuğu ve çift Cu-O zinciri gibi yeni düzenlemelerin meydana geldiği görülmüştür. J_c değerinin 77 K de 1 T altında 7.6×10^4 A/cm² olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada manyetik alanın uygulanış yönünün J_c üzerine olan etkisi incelenmiş ve manyetik alan c -eksenine paralel uygulandığında J_c değeri 4×10^4 A/cm²'nin üstünde olurken, alan a - b eksenine paralel uygulandığında 2×10^4 A/cm²'nin altında olduğu bulunmuştur [85].

X. S. Su vd. [86] sisteme La-eklediklerinde La'un Ba yerine geçtiğini tespit etmişlerdir. Çeşitli sıcaklıklarında hazırlanan örneklerin R-T grafiğinde sıcaklık arttıkça örneklerin direncinin arttığı ve soğutma sıcaklığı sabit kalmak koşuluyla katkı miktarı arttıkça yine direncin arttığı, birim hücre hacminin ise artan La miktarıyla azaldığı görülmüştür. Ayrıca YBCO sisteminde Cu yerine Ga katkılanması 81 K gibi yüksek bir T_c değerinde bile ortorombik-tetragonal faz geçişine neden olduğunu belirlemişlerdir.

N. J. Montgomery vd. [87] yaptığı çalışmada bakır yerine cobalt katkılayarak LaAlO₃ taban üzerinde hazırlanmış filmleri incelemişlerdir. XRD sonuçlarından $YBa_2Cu_{2,97}Co_{0,03}O_z$ 'nin c -ekseni yönünde büyüdüğü görülmüştür. Yapıda Ba ve Cu içeren safsızlık fazları ortaya çıkmıştır. T_c değeri 81 K olarak bulunmuştur. $x=0.02$ - 0.03 aralığında c -ekseni uzarken kristal simetrisinde ortorombik tetragonal faz dönüşümü olduğunu belirlemişlerdir. M. Murugesan vd. [88] hazırladığı Co katkılı LaO tabanlı

YBa(CuCo)O kalın filmlerde ise Co katkılanmasının artması ile T_c 'nin azaldığı bulunmuştur. Co katkılanmasıyla taşıyıcı konsantrasyonu (hole konsantrasyonu) azalmıştır. Ayrıca bu filmlerin yüzey dirençlerindeki katkıyla arttığı belirlenmiştir. L. Liu vd. [89] sisteme $x=0-0.5$ seviyelerinde Fe ve Co katarak elde ettikleri malzemelerdeki oksijen miktarını volumetrik metot ile belirlemişlerdir. $YBa_2Cu_{3-x}M_xO_y$ ($M=Fe, Co$). Co katılarak hazırlanan örneklerde x miktarı 0.1 olana kadar kristal yapı ortorombik iken 0,1 değerinden sonra tetragonal simetriye dönüşüm olmuştur. Ortorombik sistemde safsızlık fazı olarak 211 fazı gözlenmiştir. Fe- x katkı sistemde katkı oranı $x=0.15$ oluncaya kadar kristal yapı ortorombik iken bu değerden sonra tetragonal olmuştur.

G. Yong [90] Cu yerine Co katarak ederek elde ettiği ince filmlerde $T_c(0)$ değerinin 53 K olduğunu tespit etmiştir. W. J. Webster vd. [91] yaptıkları çalışmada ise yapıya cobalt katkılanması sonucu örgü içinde ekstra manyetik alınganlığın hangi düzlemde meydana geldiği belirlenmeye çalışılmış ve ekstra manyetik alınganlığın Cu-O zincirinde oluştuğu görülmüştür.

Porch vd. [92] ise YBCO'ya Co katkılarak anizotropideki değişimi incelemişlerdir. Saf malzemenin manyetik sızma derinliği $\lambda_{ab}(0)$ yaklaşık 140 nm ve $\lambda_c(0)$ ise yaklaşık 1040 nm iken cobalt katkılanması sonucu bunların oranı olan anizotropi değerinin $[\lambda_c/\lambda_{ab}]$ arttığı belirlenmiştir.

S. Elizabeth vd. [93] sisteme Cu yerine Co katkılarak yapıdaki değişimi incelemişlerdir. $x<0.5$ seviyesine kadar olan Co katkılanması ile T_c değeri artarken bu katkıyla miktarından sonra T_c değerinde düşme olduğu bulunmuştur. $x\geq 0.5$ olunca kristal simetride ortorombikten tetragonale bir faz dönüşümü olmuş ve artık malzemelerin süperiletken olmadıkları tespit edilmiştir. Ayrıca katkıyla beraber oksijen miktarının etkisi incelenmiştir. Burada yüksek oksijen basıncı altında T_c 'nin arttığı görülmüştür. Co- x katkılanması yapıldığında Co, Cu(1) yerine geçmeyi Cu(2) yerine geçmekten daha çok tercih ederek süperiletkenlik özelliklerini etkilemiştir.

H. S. Obhi vd. [94] YBCO sisteminde Cu yerine Fe, Co ve Zn katkılanmalarının süperiletken özelliklere olan etkilerini incelemişlerdir. Zn katıldığında örneğin direncinin keskin bir şekilde düştüğü Fe ve Co katkılanmasında ise bu düşmenin yavaş olduğu görülmüştür. Fe ve Co katkılanması ile yapıdaki düzensizlik artarken Zn katkılanmasında bu görülmemiştir. Co ve Fe katkılanmasında elementlerin Cu(1) yerine

yerleştikleri ve bunun sonucu O(4)'ün süperiletkenliğin oluşmasında etkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Katkı miktarı arttıkça T_c değerinin azaldığı belirlenmiştir. Katkılamanın diğer bir etkisi CuO₂ tabakaları arasındaki çiftlenimin karakterini değiştirmesidir. U.Çevik vd. [95] 600-850 °C sıcaklık aralığında cobaltı elektro-difüzyon yoluyla yapıya difüz ettirerek elde ettikleri malzemelerin süperiletkenlik özelliklerini incelemişlerdir. Bu örneklerin T_c değeri ise 88 K'dir. T_c 'deki azalma cobalt difüzyonu ile CuO₂ düzlemlerinin elektronik yapısındaki bozulmalardan kaynaklandığı bulunmuştur. Co katkılı örneklerin XRD sonuçlarında ana pikler 123 fazına aitken yapıda ayrıca 211 fazı ve CuO fazına ait safsızlık pikleri de gözlenmiştir. 90-200K aralığında Co katkılı örneklerin R-T eğrisi yarıiletken bir davranış sergilemiştir. Örneklerin J_c değerleri ise saf numune için 40 A/cm² iken difüzlü örneğin J_c değerinin 16 A/cm² olduğu dolayısıyla elektro-difüzyonun T_c ve J_c de bir azalmaya sebep olduğu görülmüştür.

YBCO sisteminde Cu yerine Mo katkılması ile serbest taşıyıcı konsantrasyonunda azalma olduğu bulunmuştur. CuO₂ düzlemi ise bozulmaya uğramıştır. Mo iyonlarının süperiletkenliği etkili bir şekilde bastırıldığı belirlenmiştir [96]. D. G. Kuberkar vd. [97] Cu yerine $0 < x < 0.04$ miktarlarında Mo katkılanan örneklerde Mo'in Cu konumlarına yerleşmesinden akı merkezlerinin doğduğu ve bunların bir tuzaklama merkezi gibi davrandığı belirlenmiştir. Örneğin J_c değerinin $x=0.01-0.04$; H=5 kOe ve $T_c=15$ K manyetizasyon ölçümleri için serbest taşıyıcı konsantrasyonuna sebep olan Mo konsantrasyonunun artmasıyla azaldığı belirlenmiştir.

3. DENEYSEL TEKNİKLER

Bu çalışmada katihal reaksiyon yöntemi kullanılarak baz olarak saf YBCO, cobalt ile molibden katkılı YBCO örnekleri hazırlanmış daha sonra 500 µm kalınlıkta olacak şekilde inceltilecek kalın film haline getirilmiştir. Kalın film haline getirilen örneklerimizin R-T, M-T, XRD ve SEM-EDX analizleri yapılarak karakterize edilmiştir.

3.1. Örneklerin Hazırlanması

Deneylelerimiz boyunca başlangıç maddeleri olarak %99.9 saflıkta Y_2O_3 , $BaCO_3$, ve %99 saflıkta CuO kimyasal tozları belirlenen stokiometride mümkün olduğunca homojen bir karışım elde edilinceye kadar mermer havanda karıştırılıp öğütülmüştür. Ardaşık 3 kalsinasyon işleminden sonra, $1^{\circ}C/dakika$ ile $970^{\circ}C$ 'ye çıkılmış ve 18 saat beklendikten sonra $1^{\circ}C/dak.$ ile oda sıcaklığına düşülmüştür. Hazırlanan karışıma sırasıyla CoO ve MoO_3 katılarak son bir kalsinasyon ($1^{\circ}C/dakika$ ile $970^{\circ}C$ 'de 18 saat beklemiş ve $1^{\circ}C/dak.$ ile oda sıcaklığına düşülmüştür) basamağı uygulanmıştır. Tekrar öğütülen malzeme 10 dakika süresince 7 tonluk basınç altında pelet haline getirilip oksijen ortamında tavlama üzere dijital kontrollü tüp fırınlara konulmuştur. Son ısıl işleminden sonra peletler elmas zımpara ile inceltilecek $\sim 500\mu m$ kalınlığında film haline getirilmiştir.

3.2. Isıl İşlemler

Çalışmalarımızda tüm ısıl işlemler üç bölge ısıtmalı 6 cm çaplı 110 cm uzunluğunda dijital kontrollü tüp fırınlar (Alser-Proterm, $1200^{\circ}C$) içerisinde gerçekleştirilmiştir. Fırınların içerisindeki quartz cam tüpün bir ucu gaz akış kontrol kaplarına, diğer ucu ise oksijen tüpüne bağlanarak ısıl işlemler boyunca oksijen gazı sürekli olarak ortamdan geçirilmiştir.

Saf YBCO'ya ait kalsinasyon işlem sıcaklığı $970^{\circ}C$ olup tavlama sıcaklığı ise $975^{\circ}C$ şeklinde uygulanmıştır. Cobalt ve Molibden katkılı numuneler için kalsinasyon sıcaklığı Yitrium miktarının azalmasından dolayı gözlenen erime olayının engellenmesi için 700-900 arasında değiştirilerek uygulanmıştır. Cobalt için tavlama sıcaklığı $700^{\circ}C$, molibden için ise $900^{\circ}C$ olarak uygulanmıştır. Kalsinasyon basamağında tüm örnekler

için 1⁰C/dakika ile yüksek sıcaklıklara çıkılmış ve bu sıcaklıklarda 18 saat beklendikten sonra fırın 1⁰C/dakika ile oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Tavlama sıcaklığına ise 5⁰C/dakika ile yüksek sıcaklığa çıkılıp, tavlama sıcaklığında 12 saat beklendikten sonra fırın 5⁰C/dakika ile oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

3.3. X-Işımları Analizleri (XRD)

Hazırlanan numunelerin kristalografik analizleri bilgisayar kontrollü Rigaku RadB-DMAX-II x-ışını difraktometresi ile, kristal çözümleri ise “Jade 6.0+ Crystal Refinement” programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler için örnekler toz haline getirilip cam tutucular üzerine tutturulduktan sonra cihaza yerleştirilmişlerdir. Tüm ölçümler CuK_α (λ=1.5405 Å dalga boylu) radyasyonu kullanılarak ve 2θ=3-60⁰ arasında sabit 0.6⁰/dak. tarama hızıyla alınmıştır. Toplanan datalar Jade 6.0+kristal çözümlenme programı ile analiz yapılarak numunenin kristal yapısı, uzay grubu ve birim hücre parametreleri belirlenmiştir.

3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizleri (SEM)

SEM çalışmalarımız LEO EVO-40XVP elektron mikroskobu ile 10-20 KV çalışma aralığında gerçekleştirilmiştir. Örneklerimizin öncelikle yüzeyinde herhangi bir işlem uygulanmadan farklı büyültmelerde SEM analizleri yapılmış, sonra olabildiğince düzgün yüzey elde edebilmek için parlatma işlemi yapılarak birkez daha SEM’de incelenmiştir. Örneklerin hızlı bir şekilde oksitlenmesinden dolayı parlatma işleminden hemen sonra yüzeyleri karbon ile kaplanmıştır. Örneklerimizin EDAX analizi de SEM işlemi ile birlikte Röntech X-flash dedektör kullanılarak stokiyometrilere hakkında bilgi elde edilmiştir.

3.5. Elektriksel Ölçümler (R-T)

Elektriksel ölçümler için örneklerin sıcaklığa karşı direncindeki değişim gözlenerek incelenmiştir. R-T ölçümleri için dört kontak yöntemi ve kontaklar için de iletken gümüş boya kullanılmıştır. Deneylerimiz Leybol LT-10 kapalı devre He cryostat sisteminde Keithley-224 programlanabilir akım kaynağı, Keithley-182 nanovoltmetre, Lakeshore-330 sıcaklık kontrol ünitesi ve bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Tüm ölçümler oda sıcaklığından 23 K' ne kadar olan sıcaklık bölgesinde gerçekleştirilmiştir.

3.6. Manyetik Ölçümler (M-T, M-H) ve Kritik Akım Yoğunluğu Hesaplamaları

(J_c)

Örneklerin manyetizasyonunun uygulanan alanla değişimi de VSM sisteminin manyetik ölçüm aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

M-H ölçümlerinde, manyetik alan pozitif bir maksimum değerinden başlanarak aynı negatif değerine ulaşana kadar değişerek numuneye uygulanmıştır. Daha sonra bu minimum değerden tekrar pozitif alan değerine kadar değiştirilerek bir histeresiz ilmeği oluşturulmuştur. Ölçümler alınırken sıcaklık 20, 40 ve 60 K değerlerinde sabit tutulmuştur. Böylece örneklerin sabit sıcaklıkta M-H eğrileri incelenmiştir.

Bu M-H eğrilerinden elde edilen ΔM manyetizasyon değeri ve Bean [21] formülü kullanılarak süperiletken olan numunelerin kritik akım yoğunluğu değerleri hesaplanmıştır. M-T analizleri ise sabit 2mT manyetik alan altında örnekler soğutulduktan sonra ısıtılarak ölçülmüştür.

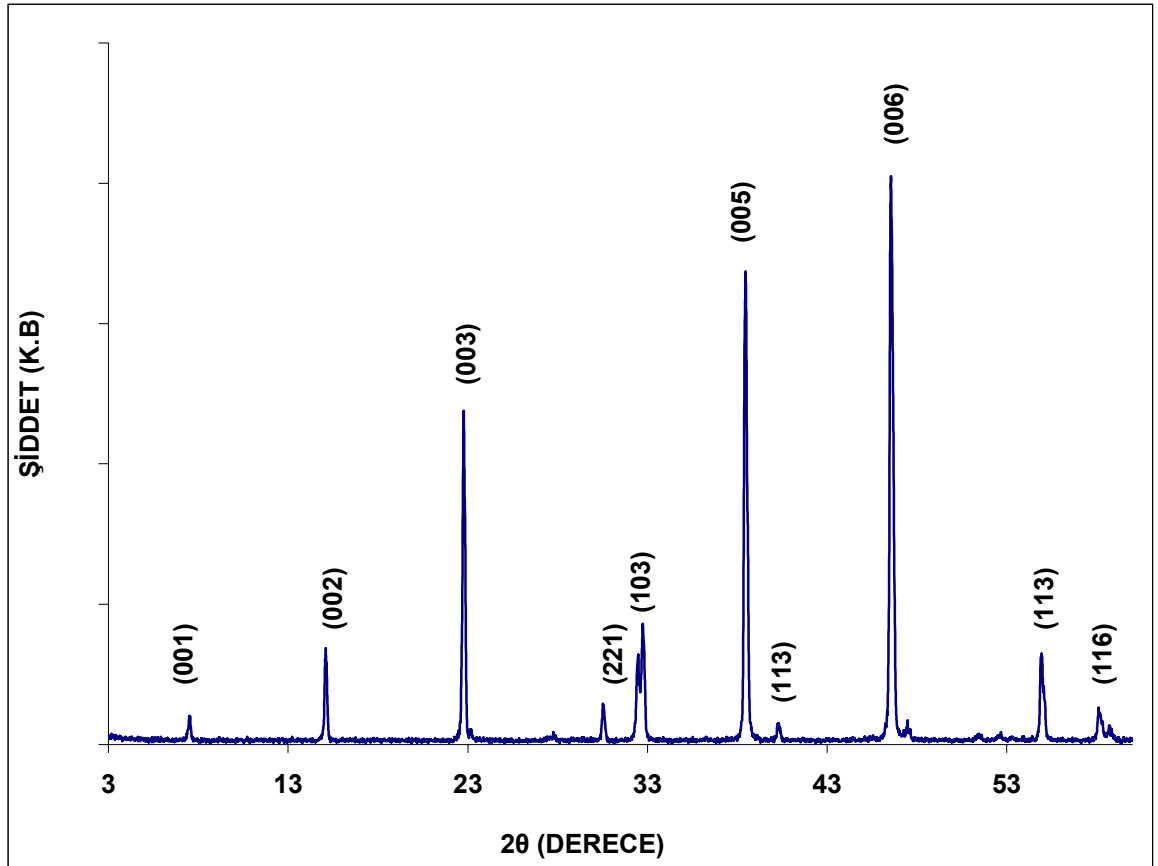
4. DENEYSEL ÖLÇÜM SONUÇLARI

Deneysel ölçümlerimiz için öncelikli olarak XRD ile başlamış sonra SEM-EDX analizleri yapılmıştır. Bundan sonra ise elektriksel ve manyetik ölçümler yapılmıştır.

4.1. Örneklerin X-Işınları Kırınım Sonuçları (XRD)

4.1.1. Katkısız YBCO Örneğin X-Işınları Kırınım Sonucu (XRD)

X-ışınları analizleri ilk önce referans numunesi olarak hazırlanmış olan, %99,9 saflıkta Y_2O_3 , $BaCO_3$ ve CuO bileşiklerinden $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ stokiyometrisinde hazırlanan katkısız örnek ile başlanmıştır. Bu örneğe ait x-ışınları kırınım deseni Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Katkısız YBCO örneğine ait XRD kırınım deseni

Bu sonuca göre hazırlanan örneğin saf ve tek fazlı YBCO olduğu, kristal yöneliminde c-ekseni doğrultusunda ağırlıklı olduğu bulunmuştur. Bu kalın film örneğin kristal simetrisinin ortorombik, uzay grubunun Pmm (47), kristal örgü parametrelerinin ise $a=3,84 \text{ \AA}$, $b=3,910 \text{ \AA}$ ve $c=11,850 \text{ \AA}$ olduğu hesaplanmıştır. Örneğin hesaplanan (hkl) değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

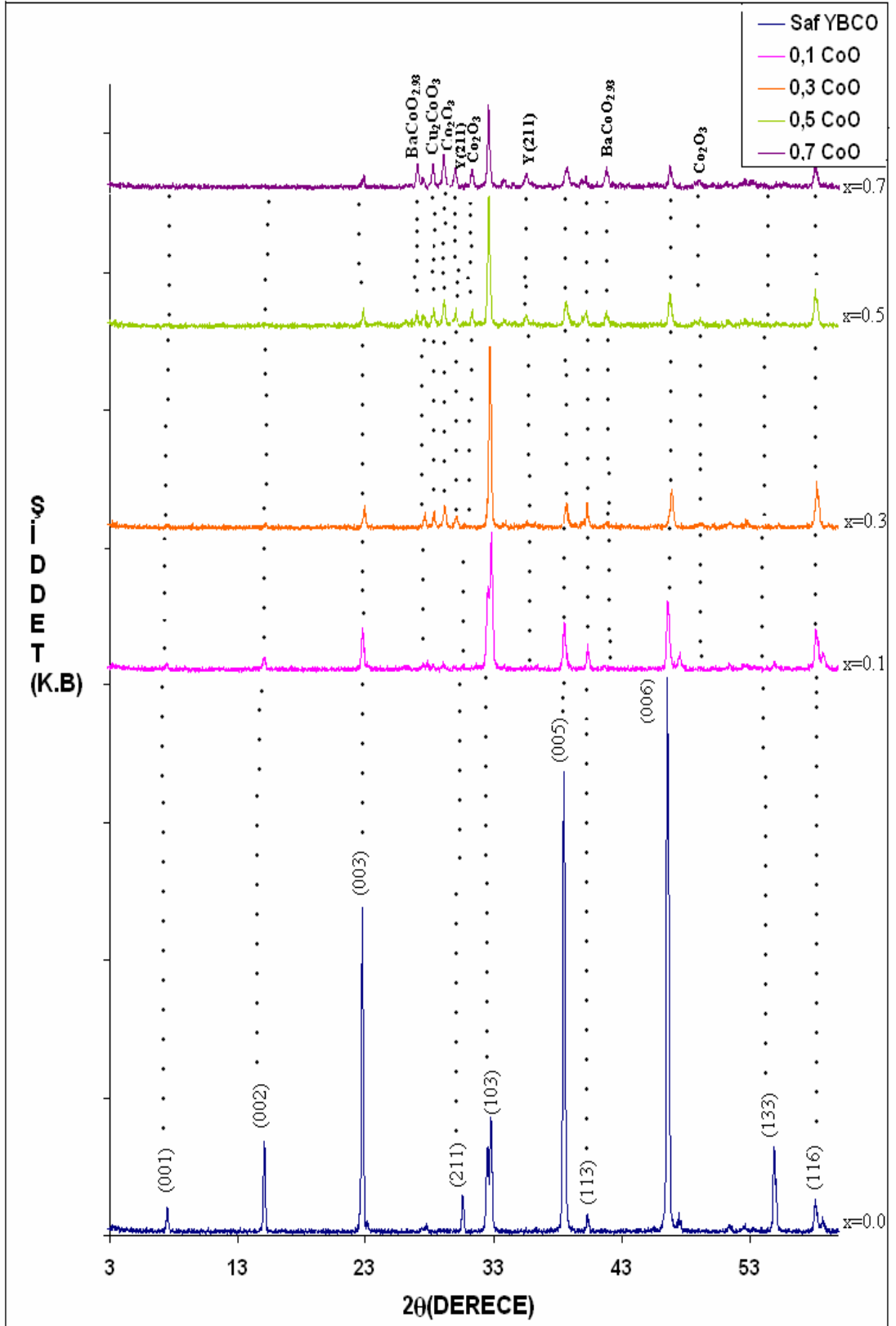
Hesaplanan bu değerler literatürde bulunan veriler ile karşılaştırıldığında ($a=3,8591 \text{ \AA}$, $b=3,9195 \text{ \AA}$ ve $c=11,8431 \text{ \AA}$) çok büyük bir uyum içerisinde olduğu görülmüştür [17]. Bu katkısız kalın film örneğin XRD sonucu katkılı örnekler için bundan sonraki aşamalarda referans olarak kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Katkısız YBCO referans maddesinin hesaplanan kristalografik parametreleri

d(Å)	h	k	l	2-Theta
11.7200	0	0	1	7.537
5.8500	0	0	2	15.132
3.8970	0	0	3	22.800
2.9275	2	1	1	30.510
2.7290	1	0	3	32.790
2.3390	0	0	5	38.455
2.2350	1	1	3	40.320
1.9497	0	0	6	46.541
1.6638	1	3	3	55.157
1.5845	1	1	6	58.174

4.1.2. Co Katkılı ($Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$) Örneklerin (XRD) Sonuçları

Çalışma kapsamında hazırlanan $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$ 'nin XRD grafiği ve faz analizi Şekil 4.2’de verilmiştir. Katkılama sonucunda YBCO sisteminin karakteristik pikleri olan $2\theta=15.132^0$ ve $2\theta=55.157^0$ pikleri haricindeki diğer tüm piklerinin pozisyonları değişmeden kalmıştır. Ancak tüm karakteristik YBCO piklerinin şiddetinde katkı oranının artması ile belirgin bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber artan Co miktarı ile birlikte $x=0.3$ ve sonrası katkılama oranlarında yapıda $BaCoO_{2.93}$, Co_2Y_3 , Cu_2CoO_3 ve YBCO(211) safsızlık fazları oluşmuş ve cobalt oranı arttıkça safsızlık fazlarının daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Katkısız YBCO sistemi ve katkılı $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$ sisteminin XRD kırınım deseni

Bu sonuçlara göre Co beklendiği gibi Y yerine geçmemiş yapıda Y hariç olmak üzere Ba ve Cu ile ayrı ayrı bileşikler oluşturmuştur. Bunun muhtemelen Y ve Co farklı iyonik ve elektronik konfigürasyona sahip olmalarından (Y^{+3} , Co^{+2} ve $r_Y=0.89\text{\AA}$, $r_{Co}=0.72\text{\AA}$) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca kimyasal olarak her iki oksit bileşiğin birbirinden çok farklı bağ koordinasyonlarına sahip olmalarının da oldukça önemli olduğu görülmektedir. Özellikle yüksek katkı oranlarında YBCO faza ait XRD şiddetlerinin azalması safsızlık faz miktarındaki artmadan kaynaklandığı ortaya çıkmaktadır. Çünkü $x=0.7$ oranında bile yapıda az miktarda da olsa YBCO faz tespit edilebilmekte ve birim hücre parametrelerinde değişim olmamaktadır. Bu durum aslında orijinal YBCO fazın oldukça iyi bir bağ koordinasyonuna sahip olabileceğini ortaya koymaktadır.

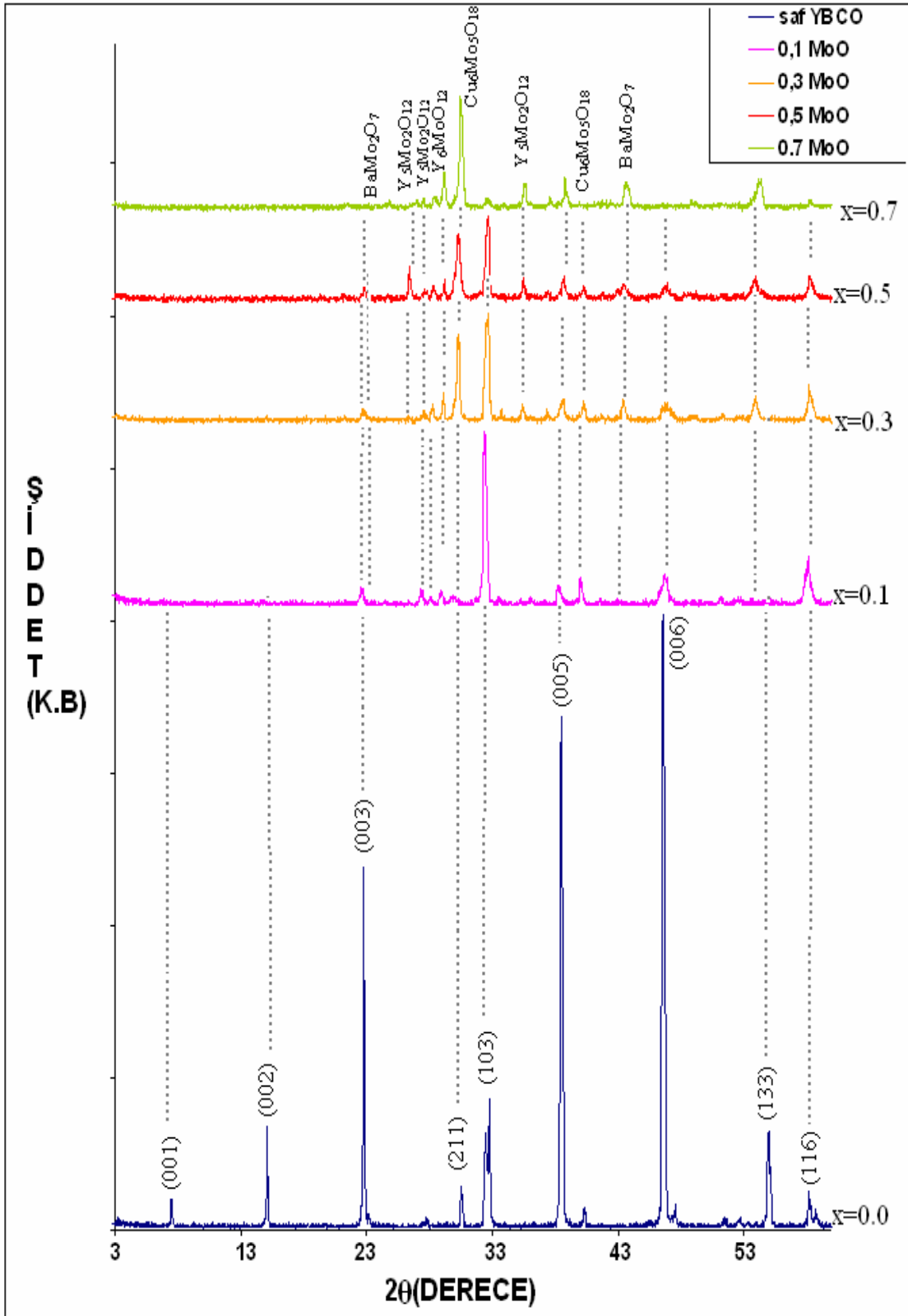
4.1.3. Mo Katkılı ($Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$) Örneklerin XRD Sonuçları

Bu bölümde Mo'ü belirli oranlarda ($x=0.1, 0.3, 0.5$ ve 0.7) YBCO süperiletken sistemine katkılayarak yapıda meydana gelebilecek olası değişimler incelenmiştir. Mo'ün Yitriyum yerine katkılanması literatürde çalışılmamış bir konu olmakla beraber Mo'ün Cu yerine katkılanması mevcuttur [96-97].

Çalışma kapsamında hazırlanan $Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 'nin XRD grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Katkılama sonucunda YBCO sisteminin karakteristik pikleri olan $2\theta=15.132^\circ$, $2\theta=22.800^\circ$ ve $2\theta=55.157^\circ$ piklerin molibden miktarı 0.1 olduğu andan itibaren kaybolduğu gözlenmiştir.

Ancak $2\theta=30.510^\circ$ pikinin $x=0.1, 0.3$ iken kaybolduğu fakat $x=0.5$ 'ten sonra tekrar ortaya çıkıp $x=0.7$ olduğunda ise var olan pikler arasında en şiddetli değere sahip olduğu görülmüştür. Bunun $Cu_6Mo_5O_{18}$ safsızlık piki ile çakıştığı tespit edilmiştir. Diğer tüm karakteristik YBCO piklerinin şiddetinde belirgin bir düşüş olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak elektriksel konfigürasyonları farklı olmasına rağmen (Y^{+3} , Mo^{+6}) Mo iyonları yapının diğer elementleri ile birlikte ayrı ayrı bileşik oluşturabilmektedir ve yapıda Y'un yerine tam olarak geçmediği gözlenmiştir. Çünkü YBCO faza ait birim hücre parametrelerinde herhangi bir değişim olmamaktadır.



Şekil 4.3. Katkısız YBCO sistemi ve katkılı $Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$ sisteminin XRD kırınım deseni

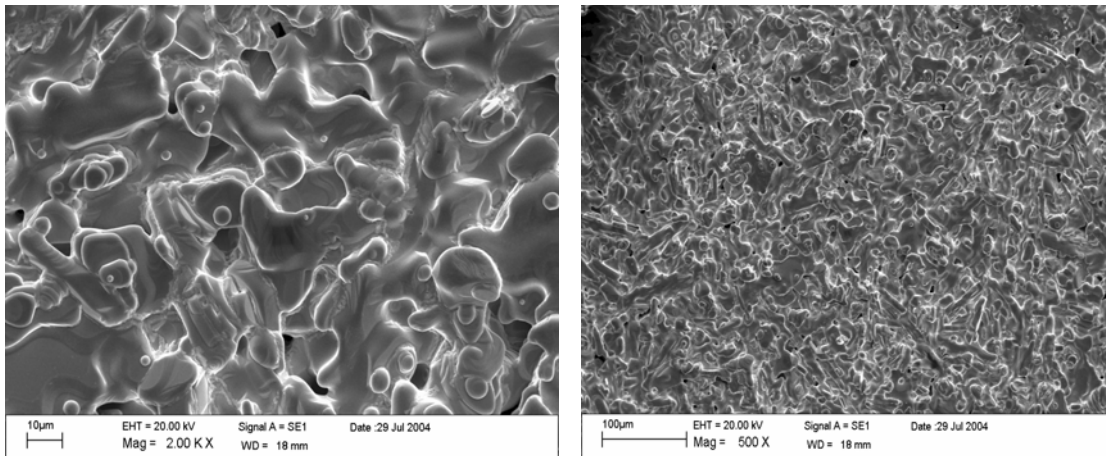
4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu SEM Sonuçları

SEM analizleri için örneklerin yüzeyi öncelikle olduğu gibi görüntülenmiş daha sonra da zımparalama ve parlatma işlemleri yapılarak faz analizlerine geçilmiştir.

4.2.1. Katkısız YBCO Örneğin (SEM) Sonuçları

YBCO sisteminde optimum şartlarda hazırlanan örneklerde tanecik boyutlarının oldukça büyük ve kısmi erimenin de gözle görülür derecede olması gerekliliği literatürden bilinmektedir. Bu çalışmada 7 tonluk basınç altında hazırlanmış olan YBCO'nun zımparalama ve parlatma işleminden önceki yüzey formasyonu Şekil 4.4'te verilmiş ve bu karakteristik özellikleri sağladığı görülmektedir.

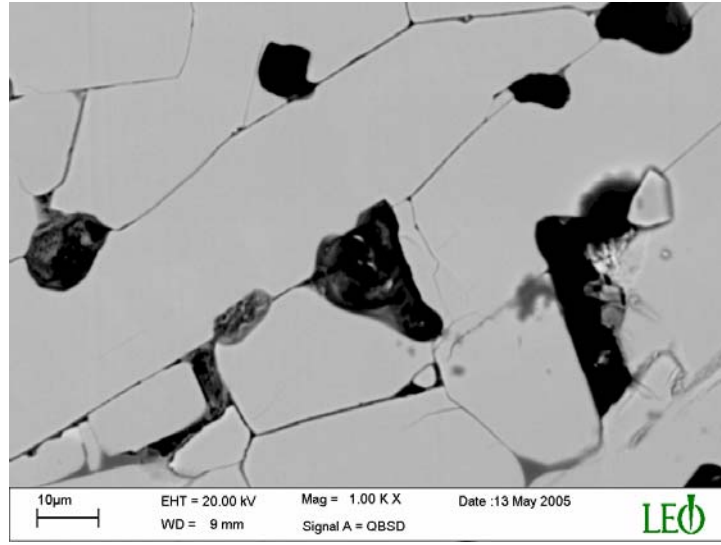
Dolayısıyla bu bize örnek hazırlama için seçilen ısıl işlem parametrelerin doğru ve optimum değerler olduğu sonucuna götürmektedir. Aynı örneğin yüzeyi parlatılıp tekrar SEM ve EDX analizleri yapıldığında (Şekil 4.5), elde edilen yapının XRD sonuçlarında da görüldüğü gibi tek fazlı, olabildiğince homojen ve tanecikler arası bağlanmanın olabildiğince güçlü bir kristal büyümesine sebep olduğu sonucuna götürmektedir. EDX analizleri sonucunda yapının YBCO-123 kimyasal kompozisyonuna sahip olduğu bulunmuştur.



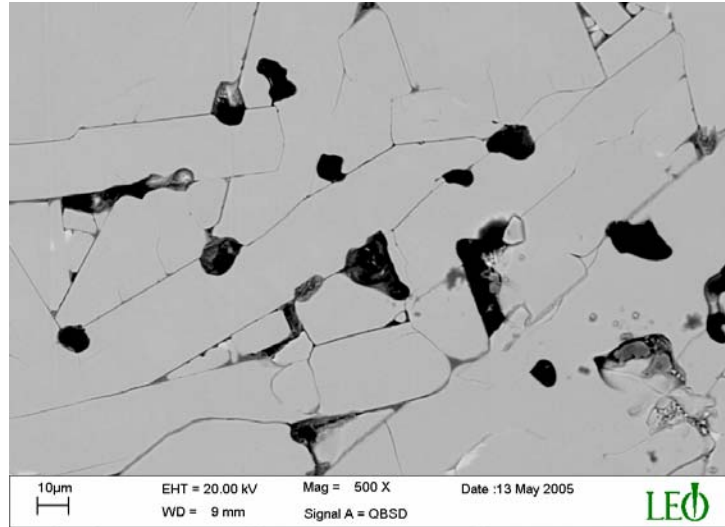
(a)

(b)

Şekil 4.4. *Katkısız, zımparalanmamış ve parlatılmamış YBCO kalın filmin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 2000 büyültme, b) 500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları*



(a)



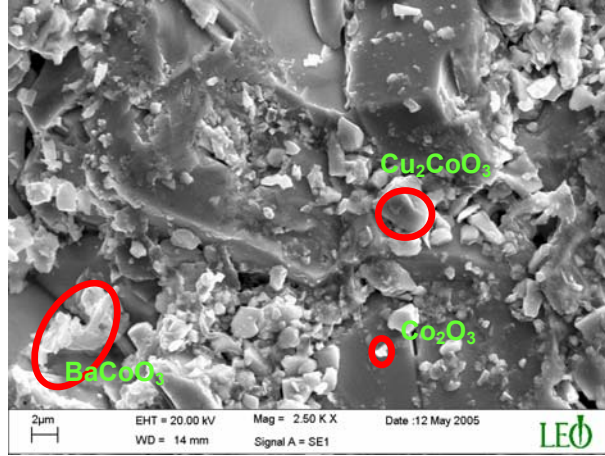
(b)

Şekil 4.5. Zımparalanmış ve parlatılmış katkısız YBCO örneklerinin SEM görüntüleri *a) 1000 büyültme ve b) 500 büyültmede elde edilen görüntüler. Her iki resimde siyah bölgeler parlatma sırasında oluşan çukur şeklindeki bozukluklardır*

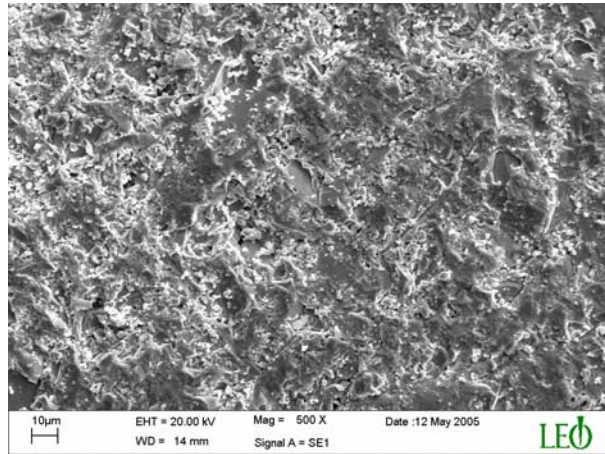
4.2.2. Cobalt Katkılı Örneklerin SEM Sonuçları

Cobalt katkılı örneklerin SEM analizleri de aynı katkısız YBCO örnekler gibi önce hiç zımparalama ve parlatma işlemi yapılmadan yüzey resimleri alınmış daha sonra zımparalama ve parlatma işlemleri yapılarak SEM ve EDX analizleri gerçekleştirilmiştir. $x=0.1$ Co katkılı, $Y_{0.9}Co_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ sisteminde, cobalt miktarı çok az olmasına rağmen katkısız YBCO örneğin yüzey şeklinden farklı bir morfolojiye

sahip olduğu görülmektedir. Katkısız YBCO'nun klasik özelliği olan kısmi erimenin bozulmaya başladığı ve ana fazdan farklı yapıda küçük taneciklerin oluştuğu açıkça görülmektedir (Şekil 4.6).



(a)



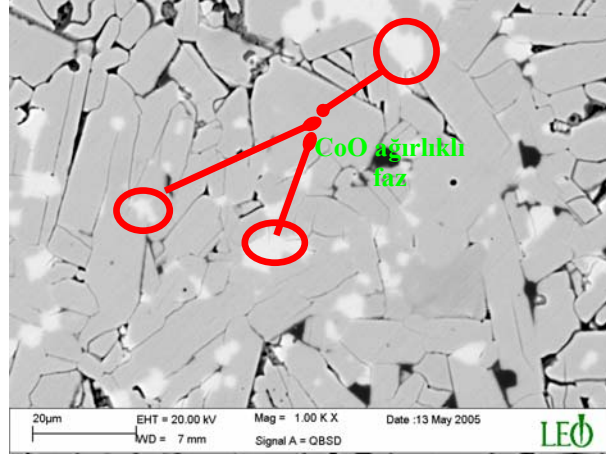
(b)

Şekil 4.6. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.9}Co_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları **a)** 2500 büyültme, **b)** 500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları

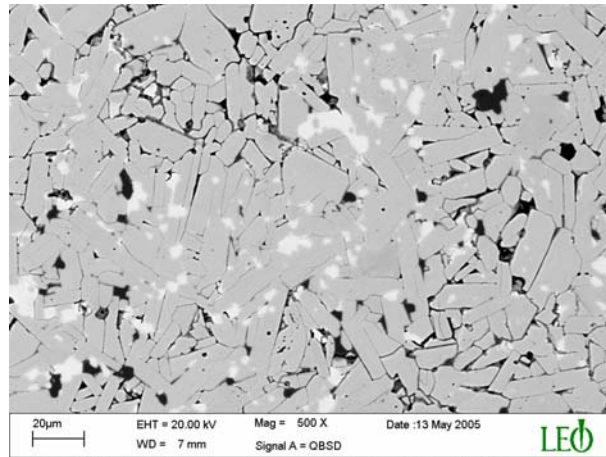
Bu küçük taneciklerin genel olarak Co ağırlıklı $BaCoO_3$ ve Cu_2CoO_3 taneciklerin olduğu fakat çok az miktarda da olsa Co_2O_3 kompozisyonda taneciklerin yüzeyde rasgele dağıldıkları bulunmuştur. Bunun sebebinin kullanılan CoO bileşiğinin erime sıcaklığının $1750\text{ }^{\circ}C$ 'den daha yukarıda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu örneğin zımparaladıktan ve parlattıktan sonraki SEM fotoğraflarına baktığımızda, Co'nun etkisi ile ana grainlerin daha küçük bir formatta büyüdüğü ancak

yapıda yer yer birbirinden farklı bir biçimde Co ağırlıklı fazların yapıya tam olarak difüz etmeden kaldığı görülmektedir (Şekil 4.7).



(a)

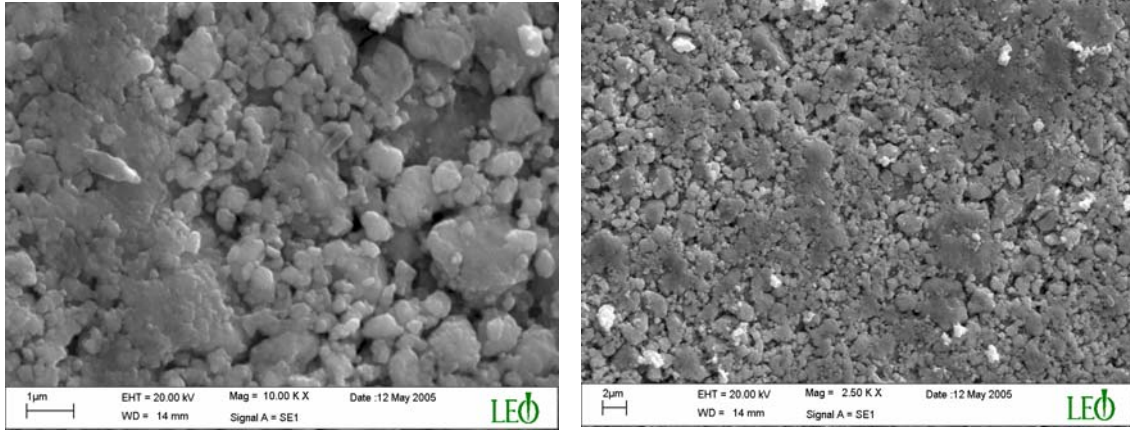


(b)

Şekil 4.7. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.9}Co_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin SEM görüntüleri **a)** 1000 büyültme ve **b)** 500 büyültmede elde edilen görüntüler

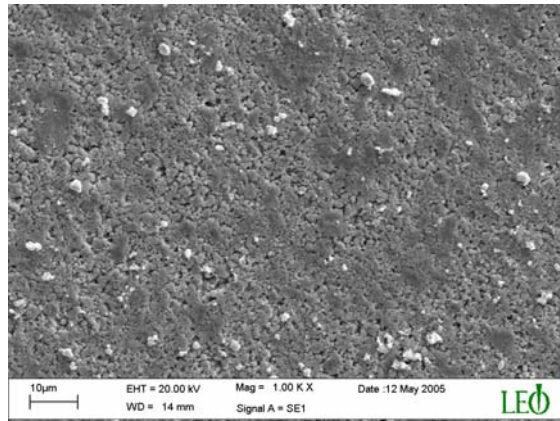
Cobalt miktarı artırılıp $x=0.3$ yapıldığında ($Y_{0.7}Co_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$) ve katkısız sistem ile karşılaştırıldığında yapının gittikçe daha fazla bozulduğu ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.8). Artan Co miktarı ile kısmi erimenin de yok olduğu, rastgele büyüyen tanecikli yapılaşmanın sisteme hakim olduğu görülmektedir. $x=0.1$ cobalt katkılı örnek ile kıyaslandığında ise küçük taneciklerin birleşerek daha büyük tanecikler oluşturduğu bulunmuştur. Yapıda kobalt miktarı arttıkça malzemenin sertliğinin çok arttığı, zımparalama ve parlatmanın oldukça zorlaştığı gözlenmiştir. Örnekler zımparalandıktan

ve parlatıldıktan sonra elde edilen SEM resimleri incelendiğinde yapıdaki bozunmanın arttığı genellikle dikdörtgen formda oluşan büyümenin bu yeni pozisyonda kaybolduğu gözlenmiştir (Şekil 4.9). Ayrıca cobaltın Ba ve Cu ile yer yer reaksiyona girerek CuCoO_3 ve BaCoO_3 oluşturduğu ve diğer kesimlerde cobaltın bol olduğu yerlerde yitrium miktarının az olduğu EDX analizinden tespit edilmiştir.



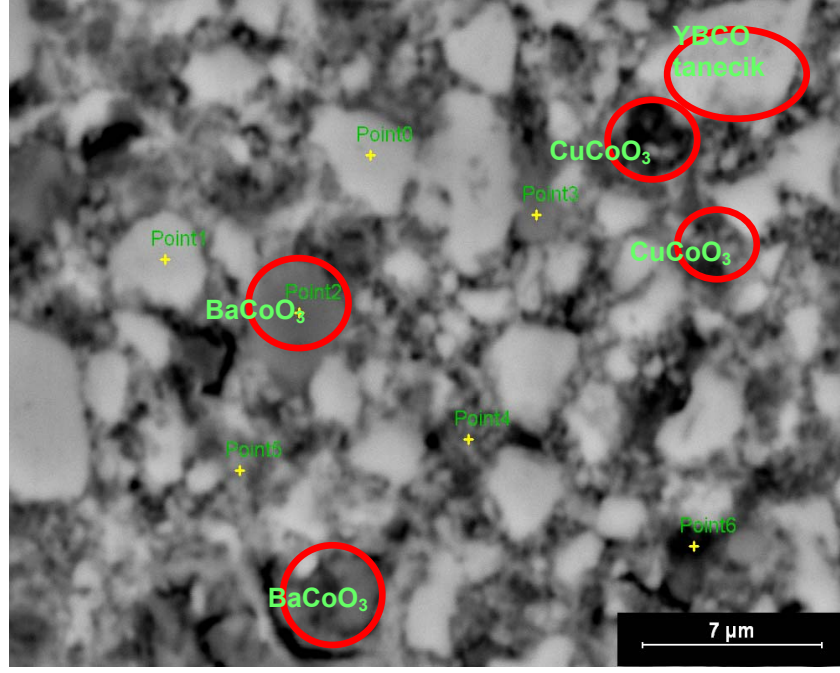
(a)

(b)



(c)

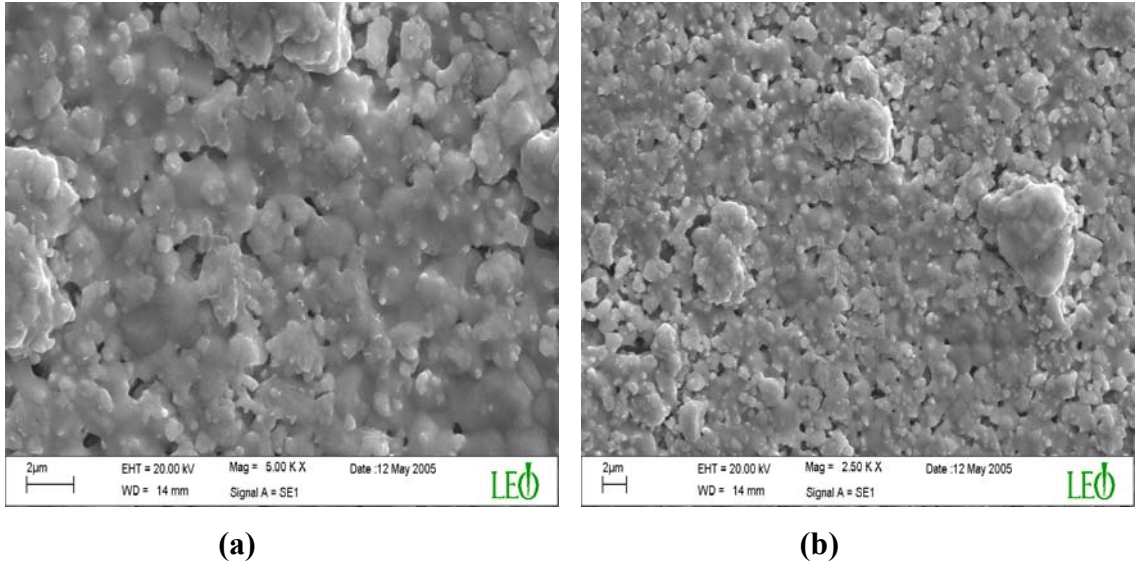
Şekil 4.8. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $\text{Y}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları **a)** 10000 büyültme, **b)** 2500 büyültme ve **c)** 1000 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları



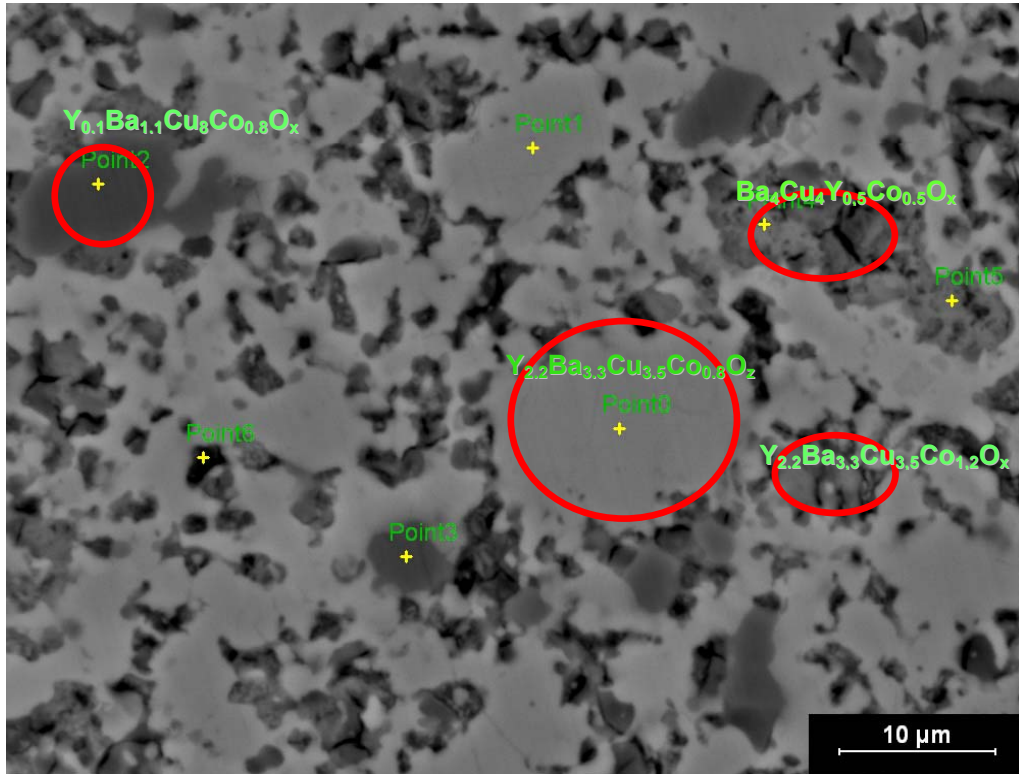
Şekil 4.9. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.7}Co_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerden alınan SEM görüntüsü

Cobalt ve yitrium oranlarının eşit olduğu yapı için ($Y_{0.5}Co_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$) SEM resimlerine baktığımızda yapıda kısmi erimenin tekrar başladığı ve tanecikli yapılaşmanın farklı bir formatta olduğu görülmektedir (Şekil 4.10). Eriyen kısımların YBCO ağırlıklı faz olduğu ve tanecikli yapının ise Co ağırlıklı fazlar ($BaCoO_3$, Cu_2CoO_3) olduğu bulunmuştur. Ancak $975\text{ }^{\circ}C$ bu erimenin kobalt tarafından absorblanan enerjinin yapıya bir türlü geri verilmesi sonucu erime üzerinde etkili olduğu düşünülmüştür.

Örneklerin zımparalama ve parlatma işlemlerinden sonra elde edilen SEM resimlerine baktığımızda ise yüzeyde elde edilenin aksine yer yer %90'na varan ağırlıkta bakırca zengin fazlar elde edilmiştir (Şekil 4.11).

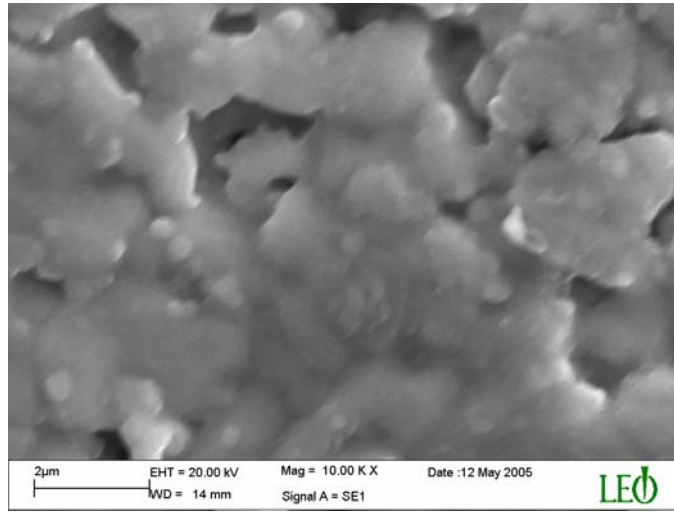


Şekil 4.10. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.5}Co_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları **a)** 5000 büyültme, **b)** 2500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları

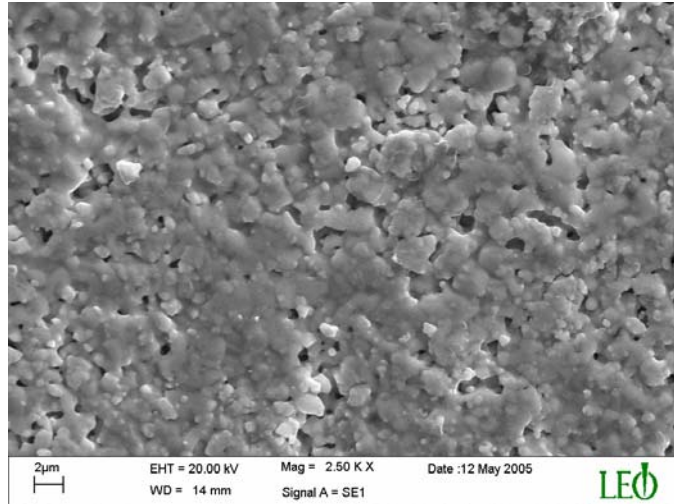


Şekil 4.11. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.5}Co_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerden alınan SEM görüntüsü

Cobalt miktarı $x=0.7$ 'ye çıkarıldığında ise ($Y_{0.3}Co_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$) $x=0.5$ katkı oranı ile oldukça benzer faz yapısı ve yüzey morfolojisi elde edilmiştir (Şekil 4.12). Aynı örneğin parlatıldıktan sonra alınan SEM resimlerinde ise elde edilen fazlarda Co miktarının belli bir miktar daha arttığı EDX analizleri sonucunda elde edilmiştir (Şekil 4.13). Bununla birlikte Co'nun tüm fazlar içerisinde yer aldığı ancak konsantrasyonunun ise çok farklı bir gradyent çıkardığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre Cu-Co elementlerinin bu yapıda daha rahat reaksiyona girebileceği sonucu çıkarılmıştır.

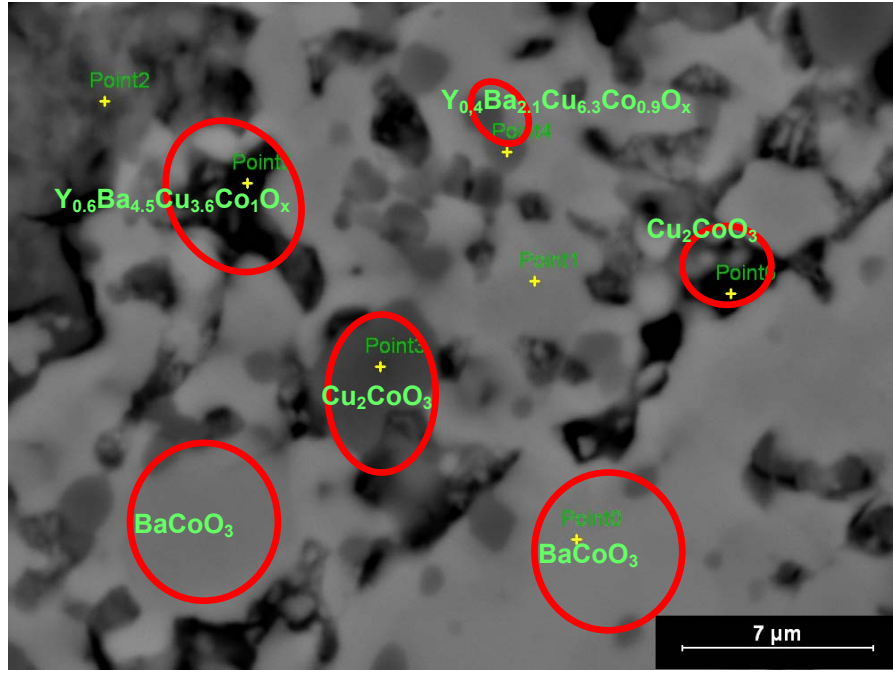


(a)



(b)

Şekil 4.12. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.3}Co_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 10000 büyültme, b) 2500 büyültmede elde edilen yüzey formasyonları

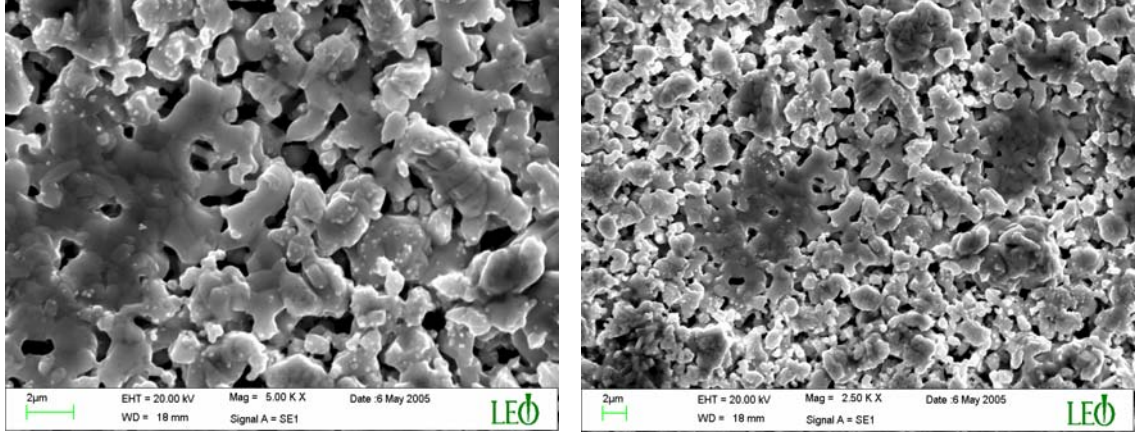


Şekil 4.13. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.3}Co_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerden alınan SEM görüntüsü

4.2.3. Molibden Katkılı Örneklerin SEM Sonuçları

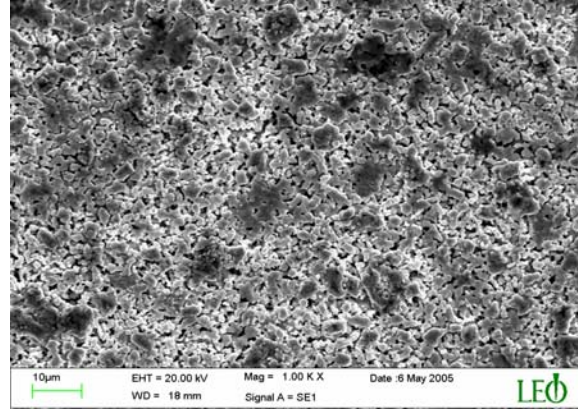
Molibden oksitin YBCO sistemine katkılanması sonucu YBCO sisteminin yüzey morfolojisinde önemli değişimler olduğu görülmüştür. Bunun temel sebeplerinden birisi Molibdenin iyonik yarıçapının $0,62\text{\AA}$ yitriumun ise $0,89\text{\AA}$ olması sonucu doğal olarak kristalleşmede bir değişimin kaçınılmaz oluşudur. Çünkü bu durum yapıda bir iç stres oluşumuna sebep olacaktır. Buda yüzey morfolojisini etkileyecektir. En düşük Mo katkı oranı $x=0.1$ için zımparalama ve parlatma işlemi yapılmamış yüzeyden elde edilen SEM resimleri Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu düşük Mo katkı oranında bile yapıda değişim oluşmaya başlamış, kısmi erime özelliği lokal kalmış ve en ilginç olanı da yapıda süngerimsi bir yüzey morfolojisi ortaya çıkmıştır.

Bu örneği zımparaladıktan ve parlattıktan sonra aldığımız SEM fotoğrafları incelendiğinde ise yüzeyin katkısız YBCO'nunkinden tamamen farklı bir yapılaşmada olduğu özellikle tanecik büyüklüğünün rastgele dağılmış bir formda ve $1-10\mu\text{m}$ büyüklüğünde olduğu ve oldukça gözenekli bir yapılaşmanın olduğu görülmektedir (Şekil 4.15). Zımparalanmış ve parlatılmış örnekte EDX analizi sonucunda yapıda YBCO ana fazlarla birlikte $BaMo_2O_7$ ve $Cu_6Mo_5O_{18}$ fazlarının bulunduğu tespit edilmiştir.



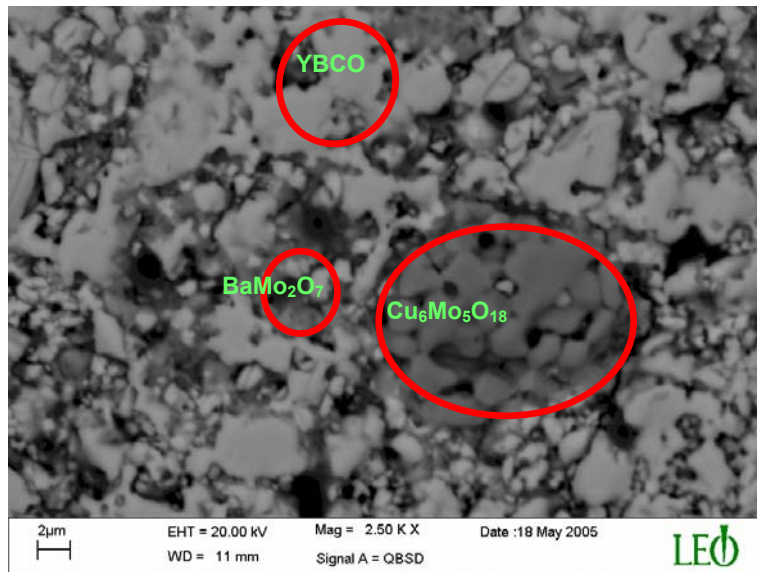
(a)

(b)



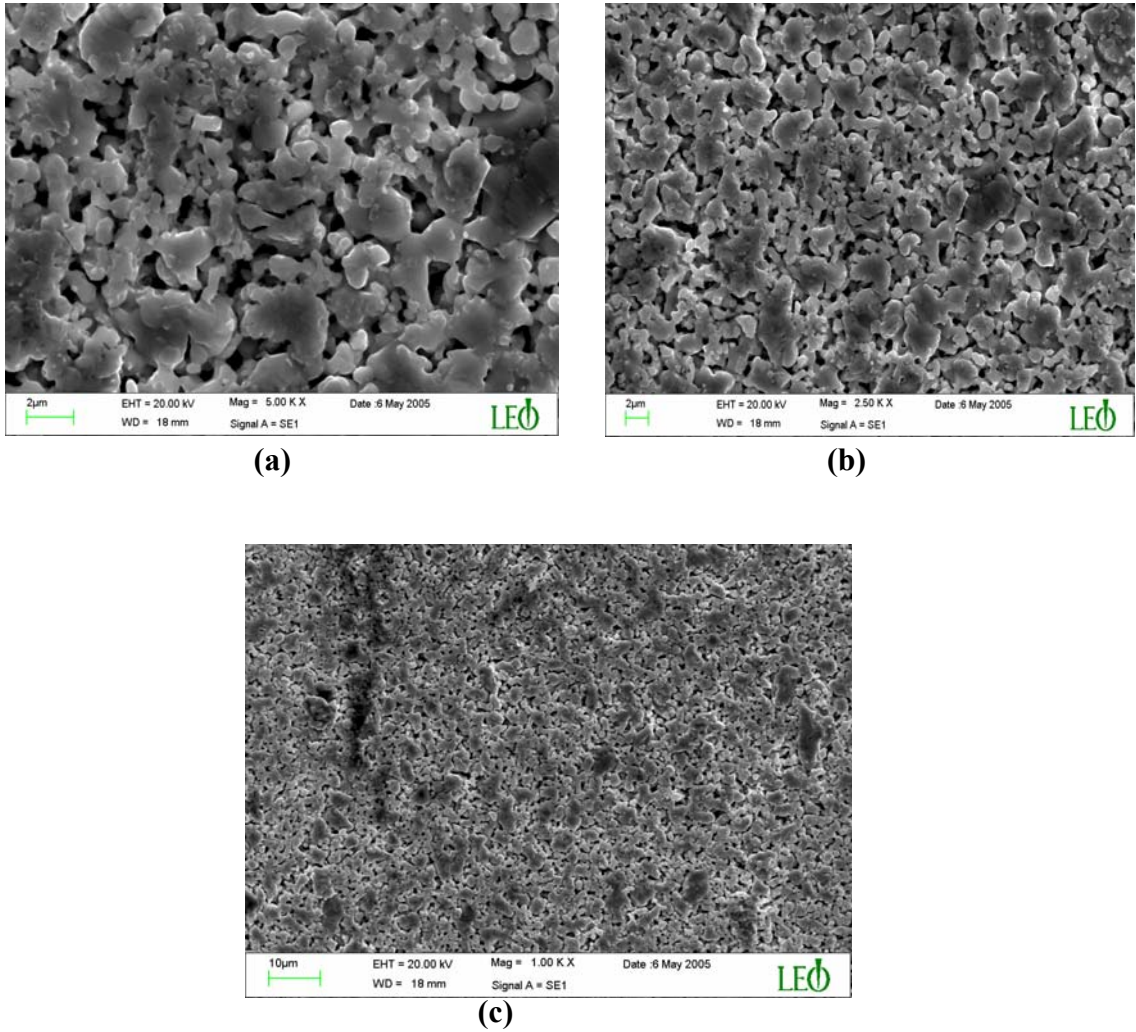
(c)

Şekil 4.14. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c) 1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları



Şekil 4.15. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin SEM fotoğrafı

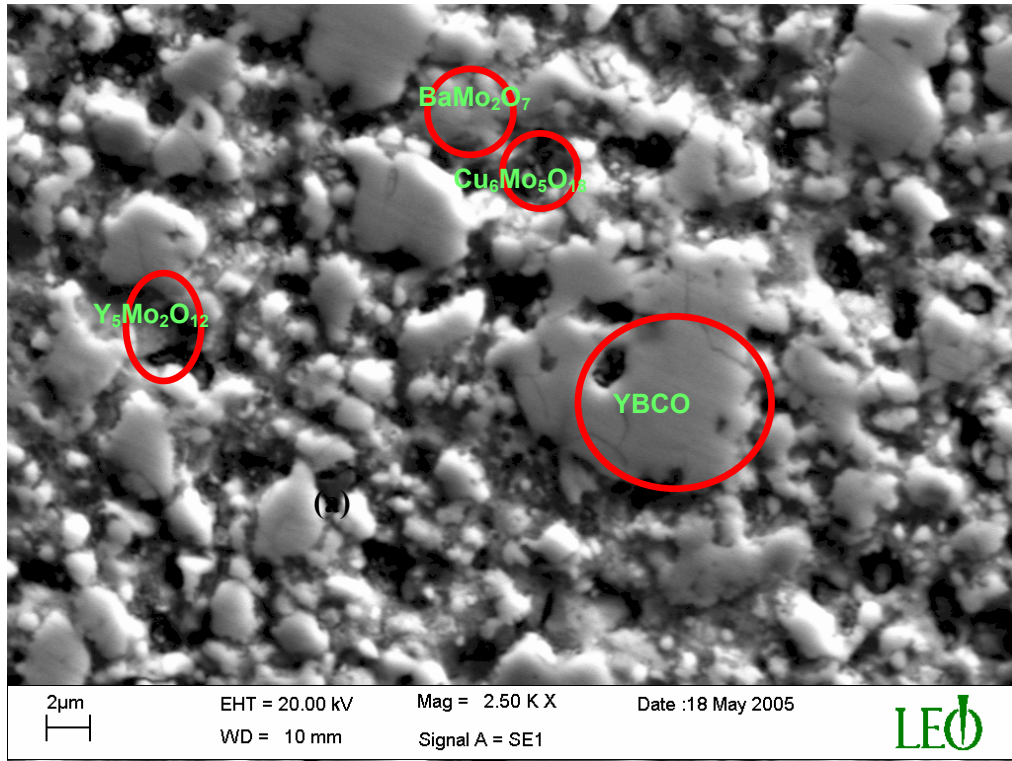
Molibden oranı $x=0.3$ 'e çıkarıldığında yapıdaki değişim daha net bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.16). YBCO'nun klasik yüzey morfolojisi tamamen kaybolmakta bunun yerini boyutları 1-10 μm arasında değişen, zayıf bağlı ve aralarında yer yer boşluklar bulunan tanecikli bir yapılaşmaya ulaşılmıştır. Ayrıca tanecik büyüklüklerinin de $x=0.1$ Mo katkılı örneğe göre daha küçüldüğü ortaya çıkmıştır. Bu örnekleri zımparaladıktan ve parlattıktan sonra aldığımız SEM analizleri Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c)1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları

Burada en önemli bulgu Mo katkılı fazların ($BaMo_2O_7$ ve $Cu_6Mo_5O_{18}$) oranının katkılama miktarına paralel olarak artmasıdır. Bu fazlara ilave olarak $Y_5Mo_2O_{12}$ fazıda

az miktarda da olsa gözlenmiştir. Burada diğer katkıların aksine Mo'nin yapının hemen hemen tüm bileşenleri ile ayrı ayrı reaksiyona girebileceğini ortaya koymaktadır.

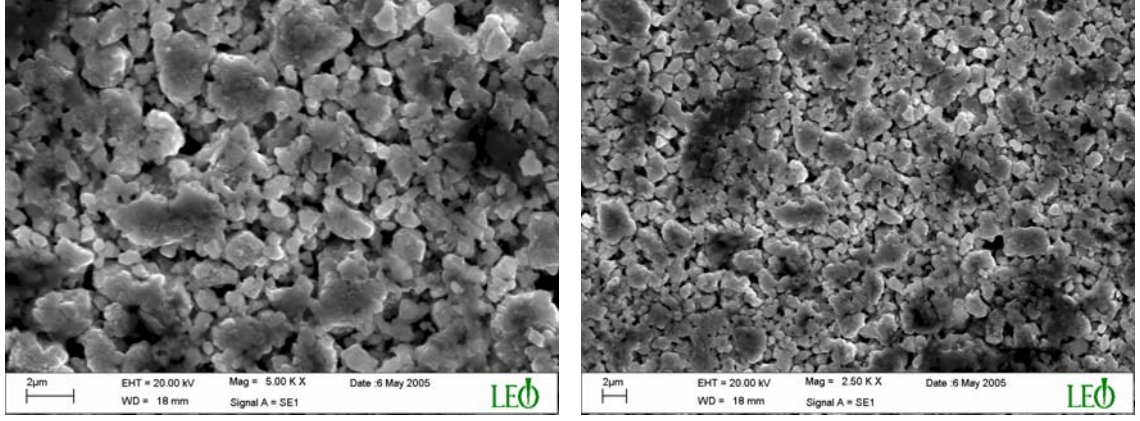


Şekil 4.17. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin SEM analizi

Molibden oranı $x=0.5$ 'e çıkarılıp yitriyum oranı ile eşitlendiğinde ($Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$) tanecik büyüklüğünün nano boyuta indiği ve taneciklerin birbiri ile olan bağlanmalarının da oldukça zayıfladığı, YBCO'nun klasik formasyonu olan kısmi erimenin tamamen ortadan kalktığı ve süngerimsi yapılanmanın da belirgin olarak ortaya çıktığı gözlenmiştir. SEM resimlerinde açık olarak görülen koyu bölgelerin bakırca zengin olan $Cu_6Mo_5O_{18}$ fazına ait oldukları bulunmuştur (Şekil 4.18).

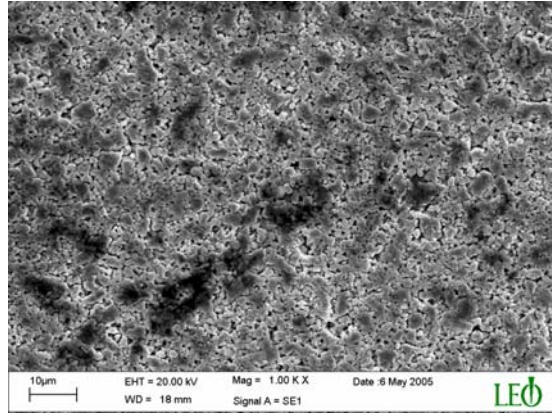
Bu örnekleri zımparaladıktan ve parlattıktan sonra aldığımız SEM fotoğrafları incelendiğinde (Şekil 4.19) çeşitli öbeksizmelerin olduğu görülmektedir.

Örneklerin EDX analizinde ise (Şekil 4.19-a) $BaMo_2O_7$, $Cu_6Mo_5O_{18}$, $Y_2Mo_2O_{12}$ ve Y_6MoO_{12} fazlarının olduğu görülmüştür. Bunun haricinde yüzeydeki faz dağılımı diğer iki ($x=0.1$ ve $x=0.3$) kompozisyonlar ile benzer olduğu bulunmuştur.



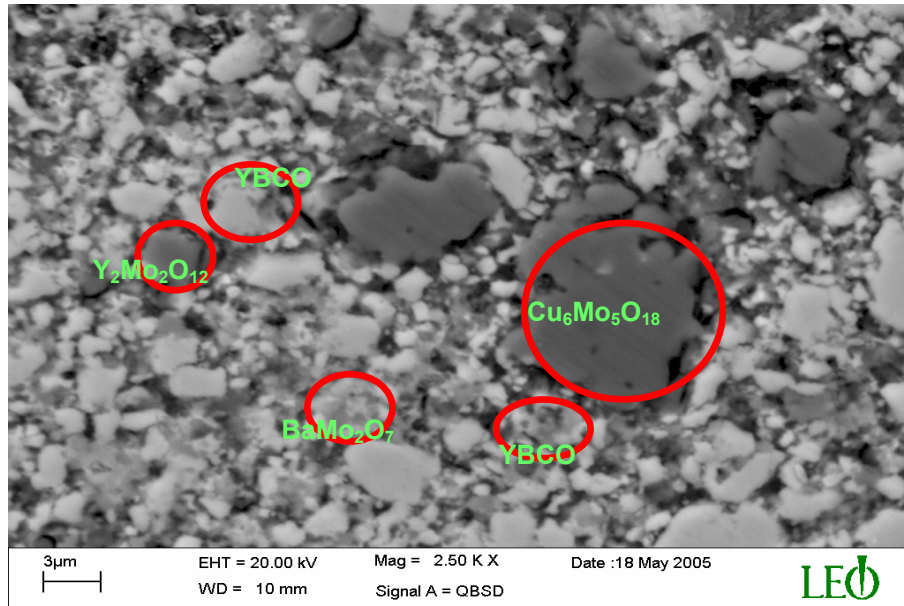
(a)

(b)



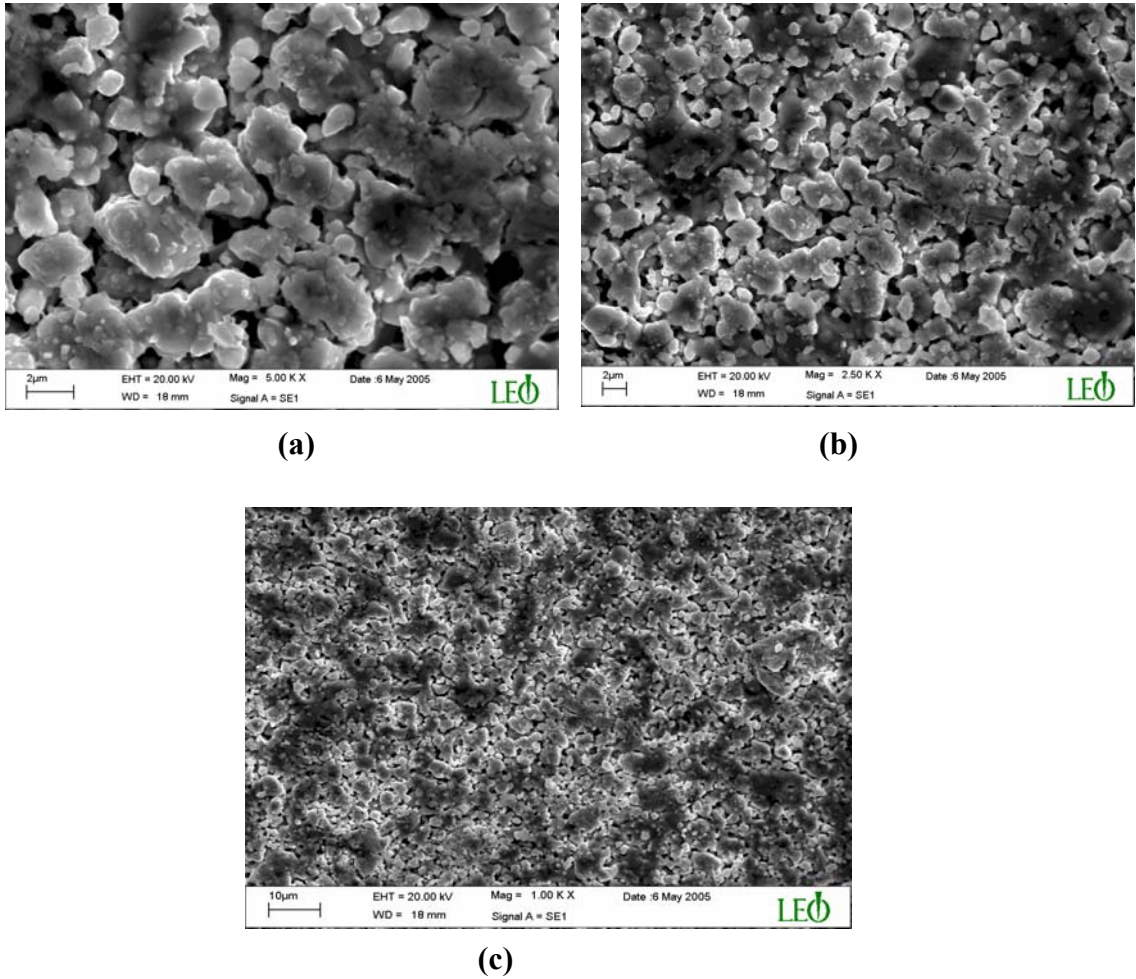
(c)

Şekil 4.18. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c) 1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları



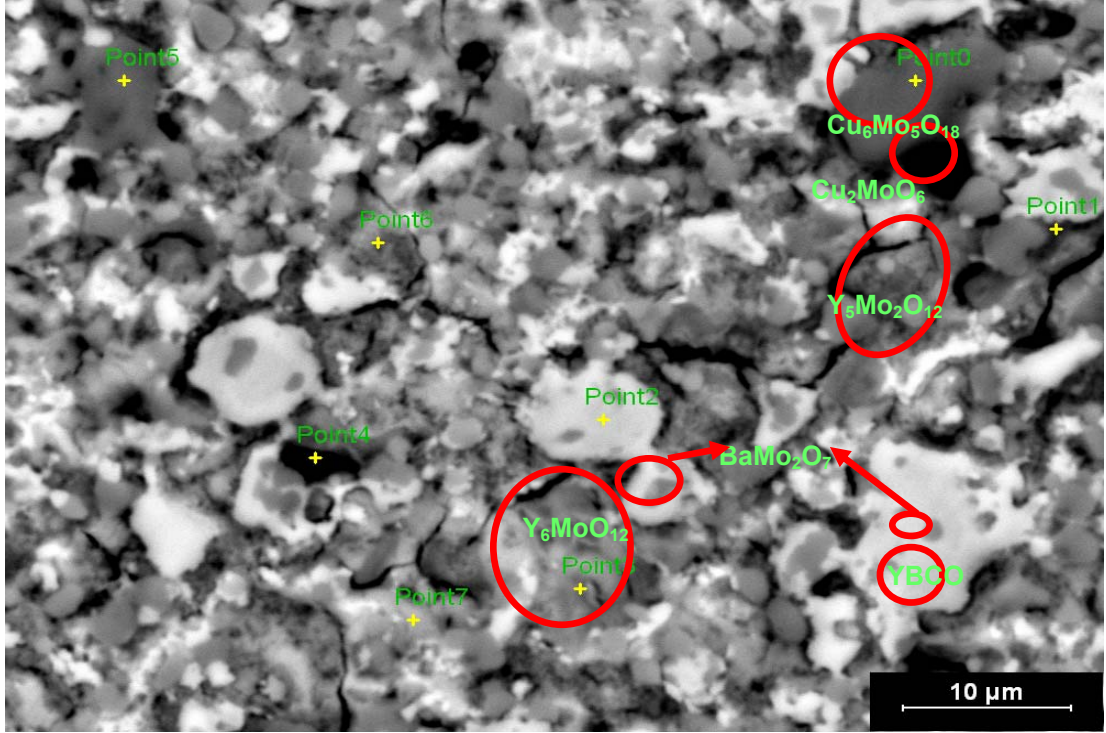
Şekil 4.19. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin SEM fotoğrafı

Molibden oranının maksimum olduğu $x=0.7$ katkılı $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ 'ye ait herhangi bir işlem görmemiş yüzey morfolojileri Şekil 4.20'de verilmiştir. Bu örnekte en ilginç bulgu tanecik boyutlarının tekrar büyümeye başlamış olmasıdır. Ancak $x=0.5$ 'de gözlenen nano boyuttaki parçacıkların kısmi olarak eriyip büyük parçacıkları ($1.5-3 \mu$) oluşturdukları ancak bazı nano parçacıklarında hala büyük taneciklerin üzerinde buldukları görülmektedir. Bu olaydan dolayı yüzeyde bakır oranı fazla olan $Cu_6Mo_5O_{18}$ fazının daha geniş alanlara yayıldığı buna karşılık olarak tanecikler arası boşlukların arttığı oldukça dikkat çekicidir. Bu duruma yapıda oluşan iç streslerin (farklı iyonik çaplardan dolayı) sebep olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca yapıya katılan MoO_3 erime sıcaklığının sistemin termodinamik dengesini bozduğu bundan dolayı yapıda taneciklenme, erime ve süngerimsi yapılanmanın Mo oranı arttıkça değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 4.20. Zımparalanmamış ve parlatılmamış $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin farklı büyüklüklerde SEM fotoğrafları a) 5000 büyültme, b) 2500 büyültme, c) 1000 büyültme elde edilen yüzey formasyonları

Aynı örneğin SEM-EDX analizleri Şekil 4.21’de verilmiştir. Önceki kompozisyonlarda elde edilen fazlar bu sistemde de aynen elde edilmiştir. Ancak Mo oranı arttığı için YBCO tanecikleri de dahil olmak üzere tüm fazlarda Mo’nin yer aldığı bulunmuştur.



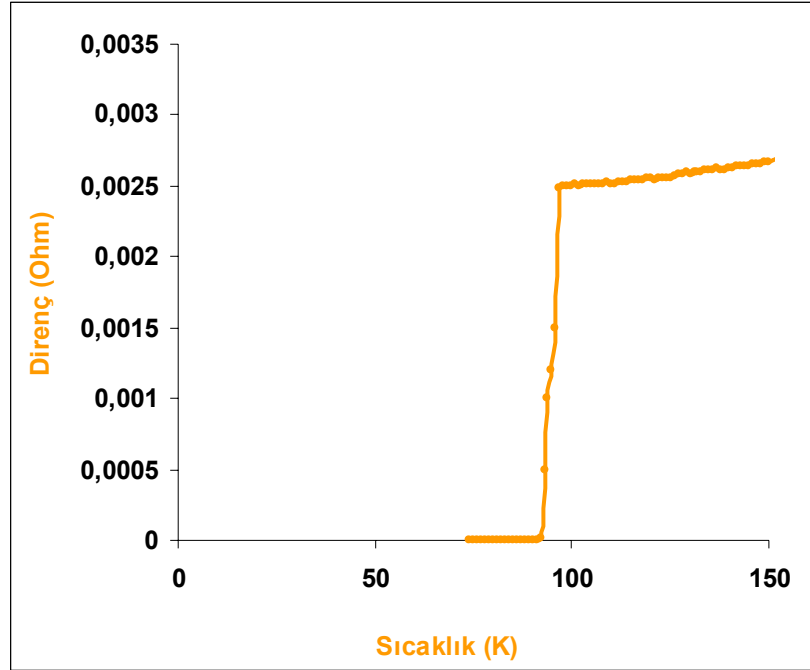
Şekil 4.21. Zımparalanmış ve parlatılmış $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneklerinin SEM fotoğrafı

4.3. Elektriksel Ölçüm Sonuçları

4.3.1. Katkısız YBCO Örneğin R-T Sonuçları

Katkısız YBCO örneklerin R-T ölçüm sonucu Şekil 4.22’de verilmiştir. Örneğin T_c değeri 94.1 K ve $T_{sıfır}$ değeri ise 92.4 K olarak bulunmuştur. Bu örneğin 1.7 K değerinde bir ΔT ’ya sahip olması örneğin yeterince saf ve homojen YBCO faza sahip olduğunu tanımlamaktadır ki bu da zaten XRD ve SEM-EDX analizleri sonucunda elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.

Ayrıca tanecikler arasındaki bağlanmanın da oldukça kuvvetli ve tanecik sınırları arasındaki herhangi bir safsızlık fazının olmaması da ΔT değeri üzerinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.

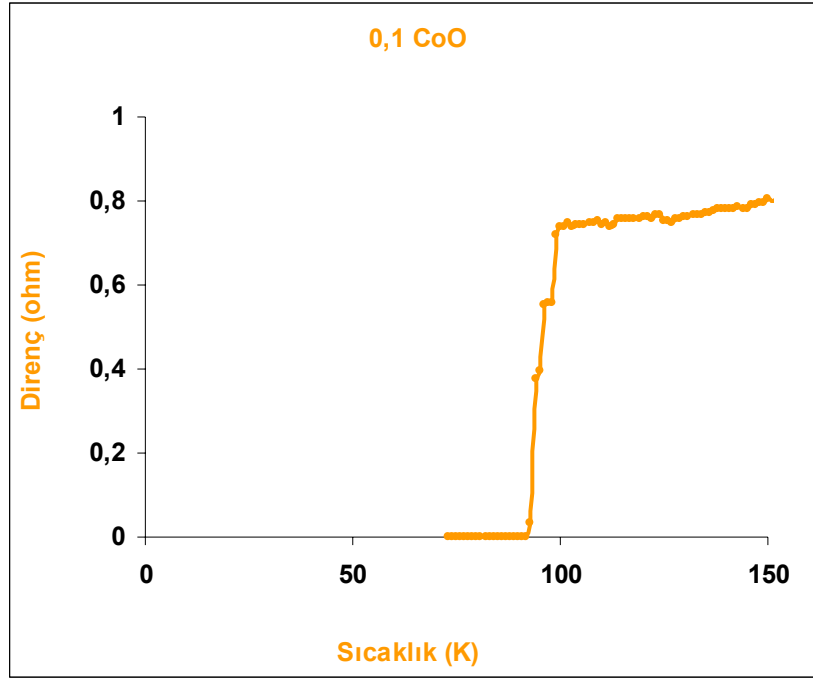


Şekil 4.22. Katkısız YBCO örneğinin R-T eğrisi

4.3.2 Co Katkılı Örneklerin R-T Sonuçları

0.1 cobalt katkılı örneğin R-T eğrisine baktığımızda (Şekil 4.23) $T_c(K)$ ve $T_{sıfır}$ değerleri sırasıyla 91 ve 84 K'dir. ΔT değeri 7 K şeklinde olup katkısız YBCO'nun ölçülen değerinden yaklaşık olarak 5 kat daha büyük bulunmuştur. Bu ise yapıda oluşan safsızlık fazlarının direk etkisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

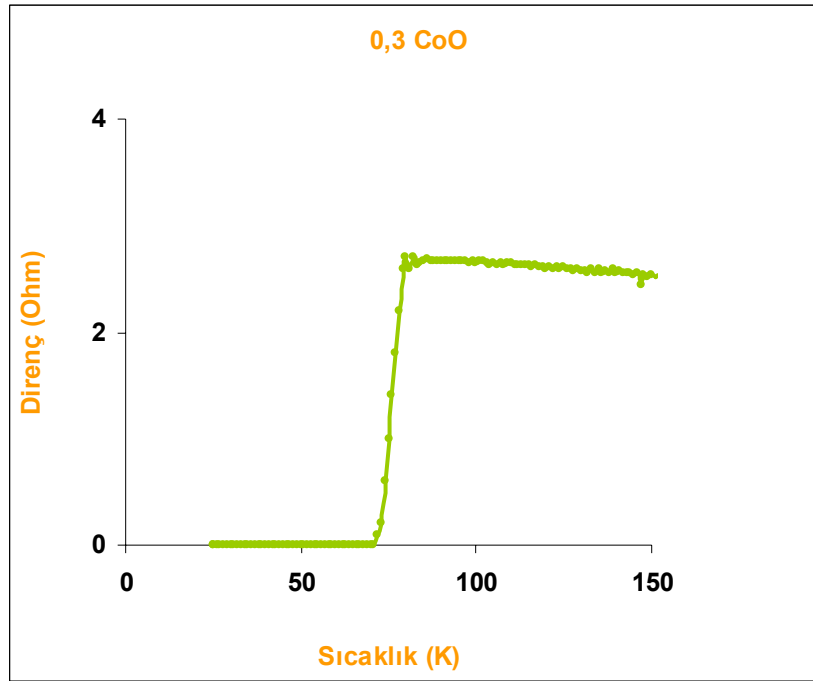
Bununla birlikte katkısız sistemde T_c 'nin üzerindeki sıcaklıklarda elde edilen metalik trend $x=0.1$ katkılı örnekte değişmeye başlamıştır ve metalik yapıların göstergesi olan $R-T$ ölçümlerinde gözlenen eğim azalmıştır. Bu da Co katkılamanın metalik özelliği de bozduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4.23. 0.1 Cobalt katkılı örneklerin $R-T$ değerleri

0.3 cobalt katkılı örneğin $R-T$ ölçüm sonucu Şekil 4.24'te verilmektedir. $T_c(K)$ ve $T_{sıfır}$ değerleri sırasıyla 81 ve 72 K'dir. ΔT değeri 9 K şeklinde olup katkısız YBCO'nun ve 0.1 cobalt katkılı örneklerin değerlerinden çok daha büyük olduğu bulunmuştur. $T_c(K)$ değerinin üstündeki sıcaklıklarda örnek yarı iletken bir trend göstermiş ve daha sonra geniş bir ΔT değerine sahip olarak süperiletken duruma geçmiştir. Üretilen kalın film örneklerin direnç değerleri Co miktarı arttıkça artmaktadır. Bu da aslında $R-T$ grafiğinde de görüldüğü gibi metalik özelliğin kaybolmasından kaynaklanmaktadır ve bu elde edilen değerler safsızlık fazlarının yapıda artmasıyla birlikte daha da artmaktadır ki bu SEM ve X-ışınları sonuçları ile karşılaştırıldığında beklenen bir durumdur. Bunun ise Co'nun katkılanmasıyla iletim yollarının deforme olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Co oranı $x=0.5$ olunca yapı artık süperiletken olmayıp tamamen yarıiletken trend göstermiştir. Hatta Co oranı $x=0.7$ 'ye yükseltildiğinde ise oda sıcaklığı civarında kalın film örneklerimizin

direnci mega-ohm mertebesinde çıkmış ve ölçüm sisteminin limitlerini geçtiği için ölçümler alınamamıştır.



Şekil 4.24. 0.3 Cobalt katkılı R-T değerleri

4.3.3. Mo katkılı Örneklerin R-T Sonuçları

Mo katkılı örneklerimizde en düşük katkı oranı $x=0.1$ 'de bile mega-ohm değerinin üzerinde bir normal durum direnci gözlenmiştir. Dolayısıyla ölçüm sistemimizin limit değerlerini geçtiği için bu örneklerin oda sıcaklığında ölçümleri alınamamıştır. Örnekler 50 K civarına soğutulduğu durumda bile bu direnç değerinde herhangi bir değişim olmamıştır.

Dolayısıyla bu seri örneklerimizin hiçbirinde R-T ölçümleri yapılamamıştır. Bunun genel sebebi ise kristal formasyonu olarak Molibdenin yapıdaki sadece faz koordinasyonunu değil aynı zamanda yapının elektronik değerinde bozup iletim elektronlarının sayısını önemli ölçüde azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak XRD'de elde edilen YBCO faza ait piklerin yapıdaki YBCO taneciklerinin muhtemel yarı iletken davranış gösteren Mo katkılı safsızlık fazları ile izole edildiği dolayısıyla elektriksel iletiminde bu şekilde bloklanmış olabileceği sonucuda göz ardı edilmemelidir.

4.4. Manyetik Ölçüm Sonuçları

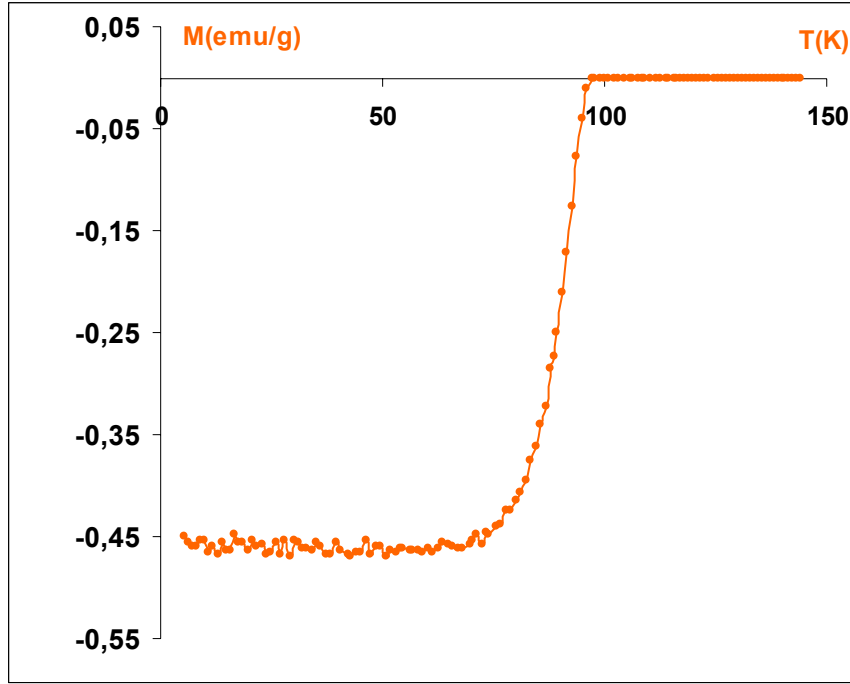
4.4.1 Katkısız YBCO Örneğin Manyetik Ölçüm Sonuçları

Magnetometre ile tüm örneklerin uygulanan alan altında manyetik momentleri ölçülerek bulunan bu değer yardımıyla manyetizasyon değerleri belirlenmiştir. Elde edilen manyetizasyon grafiği ve Bean modeli kullanılarak örneklerin kritik akım yoğunlukları, J_c , hesaplanmıştır.

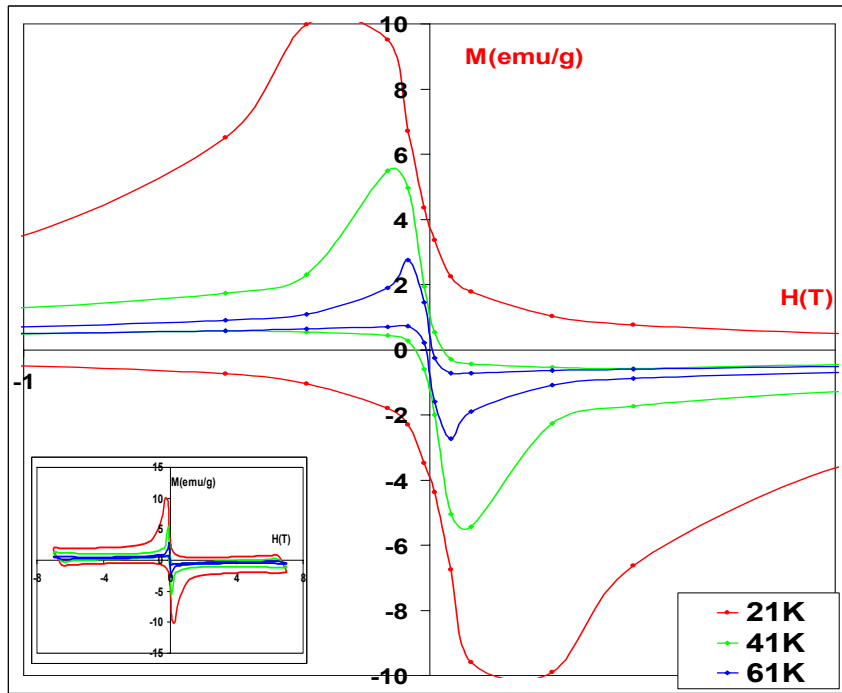
Manyetik ölçümlerde öncelikle süperiletken YBCO sisteminin 2 mT alan altında $M-T$ değişimi incelenmiştir. Süperiletken sistemlerde beklendiği gibi kritik sıcaklığın altında mükemmel diamanyetizma gereği negatif manyetizasyonun bu saf örnekte olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.25). Sıcaklık arttırıldıkça manyetizasyon değeri azalarak kritik sıcaklık T_c değerinden sonra sabit bir şekilde devam etmektedir. Süperiletkenlerde belli bir alan uygulandığında yapıdaki manyetik dipol momentler uygulanan alana zıt yönde manyetize olacaktır. Burada uygulanan alan $H < H_{c1}$ olduğundan yapı hala süperiletkendir ve negatif bir manyetizasyon söz konusudur. Alan sabit tutulup sıcaklık arttırıldığında ise manyetik dipol momentler rastgele yönelmeye çalışacağından manyetizasyon azalacak ve diamanyetik sinyalin algılandığı sıcaklık değerinde ise sabit olacaktır. Bu durum açıkça Şekil 4.25'te görülebilmektedir. Dolayısıyla hazırlanan kalın film katkısız örneğimizin oldukça iyi bir süperiletkenlik gösterdiği bulunmuştur. Bu örnek için T_c değeri 94 K olarak bulunmuştur ve R-T ölçümleri ile de tam olarak uyum içerisinde.

Katkısız YBCO'dan üretilen kalın film örneğimizin $M-H$ eğrisi II.Tip süperiletkenlerin $M-H$ eğrilerine tam olarak uymaktadır. Bu örnekte kristal yapıda güçlü taneler arası bağa sahip olmasından dolayı geniş bir histerizis görülmektedir. Şekil 4.26'ya bakıldığında sıcaklık azaldıkça eğri içindeki alan artmaktadır. Manyetizasyon değerinin de sıcaklıkla değiştiği gözlenmiştir. En yüksek ΔM manyetizasyon değeri 21 K'de (19 emu/g) elde edilmiş olup ancak sıcaklığın artmasıyla azaldığı gözlenmiştir (41 K'de 11 emu/g ve 61 K de 5.5 emu/g). Bu zaten beklenen bir durumdur. Çünkü süperiletkenlerde sıcaklık azaldıkça birim hacimdeki manyetik dipol momentlerin sayısı artacağı için ΔM değerinin de artması gerekmektedir. Bu sonuçlar ışığında Bean modeline göre de sıcaklığın artması dolayısıyla da ΔM değerinin azalması J_c 'yi

azaltacaktır. Örneğin kritik akım yoğunluğu değerleri 21 K'de 3×10^4 A/cm², 41 K'de 2×10^4 A/cm² ve 61 K'de 1.1×10^4 A/cm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.25. Katkısız YBCO örneğinin M-T eğrisi



Şekil 4.26. Katkısız YBCO örneğinin M-H eğrileri

4.4.2. Cobalt Katkılı ($Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$) Örneklerin Manyetik Ölçüm Sonuçları

Ferromanyetik bir malzemeye manyetik alan uygulandığında malzemenin manyetik momentleri uygulanan alanla aynı yönde yönelme eğilimindedir. Manyetik momentler bir manyetik alan uygulanarak istenen bir yönetime getirilmişse örneğin mıknatıslanması yüksektir. Süperiletken bir malzemeye ferromanyetik madde katıldığında $M-H$ ve $M-T$ eğrilerinde bir değişim meydana gelecektir.

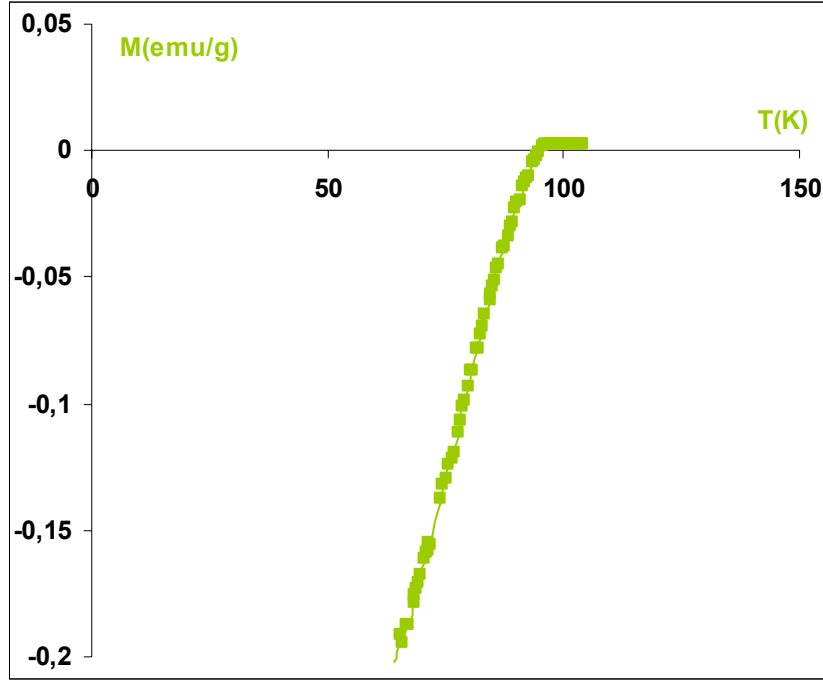
Yapıya ferromanyetik cobalt katkılanması diamanyetik özelliği perdeleyeceği için baskın olan manyetik faz ferromanyetik faz olacağı düşünülmektedir. Ancak düşük katkılama oranlarında yapıda hem diamanyetik hem de ferromanyetik fazın birlikte bulunmasında normaldir. Örneğin $M-T$ eğrisini incelediğimizde çok küçükte olsa pozitif bir manyetizasyonun gözlenmesi aslında örnekte ferromanyetik fazın da var olduğunu göstermektedir, Şekil 4.27.

Co katkılı numunenin $M-H$ eğrisini incelediğimizde ise yapıda kısmen ferromanyetikliğin başladığı görülmüştür (Şekil 4.28). Katkısız örneğin ΔM değeri 21 K için 19 emu/g iken $x=0,1$ Co katkılı örneğimizin ΔM değeri 20 K de yaklaşık 12 emu/g değerindedir. $x=0.1$ Co katkılı örneğin $M-H$ histerizisi katkısız örnekle karşılaştırıldığında daha dar olduğu görülmektedir.

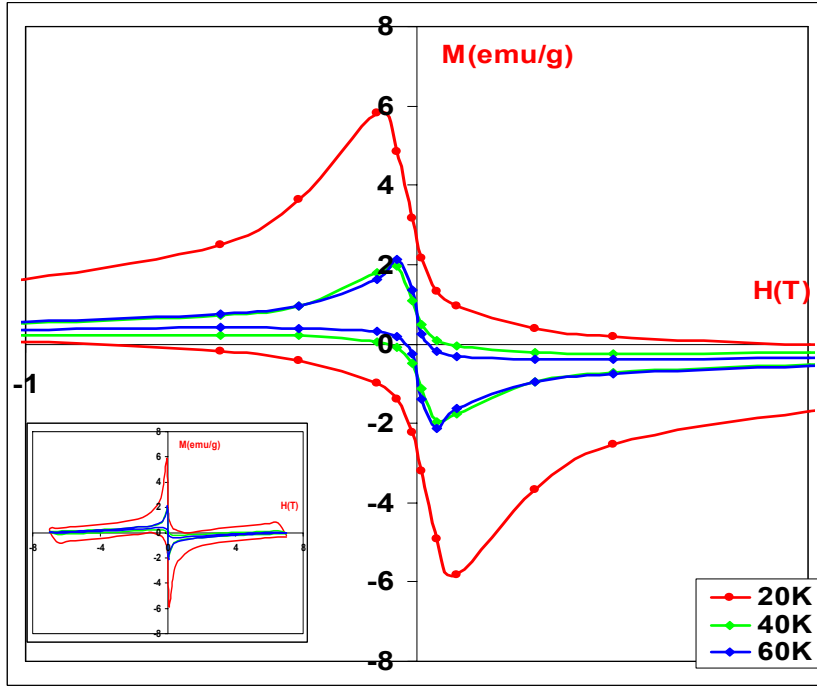
Bunun ise yapıdaki tuzaklama merkezlerinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Tuzaklama merkezleri her zaman kritik akım yoğunluğunu arttıracak yönde davranmaz.

Özellikle farklı manyetik özelliklere sahip malzemeler safsızlık olarak katılacak olursa akı tuzaklama merkezleri yerine dış alan ile aynı yönde manyetize olmuş merkezler veya yapının yüzeyindeki vortexleri yok edecek veya sınırlayıcı bir takım farklı manyetik yapılaşmalar ortaya çıkabilmektedir. Co'ın ferromanyetik özelliği ise, katkılama çok az olmasına rağmen diamanyetik özelliği bastırmaya başladığı ortaya çıkmıştır.

Cobalt katkılı örneğin kritik akım yoğunluğu değeri katkısız örneğin kritik akım değerinden daha düşük olduğu, $x=0.1$ katkılı sistem için kritik akım yoğunluğu değeri 20 K için 8.1×10^3 A/cm², 40 K için 5.3×10^3 A/cm² ve 60 K için 1.9×10^3 A/cm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.27. 0.1 Co katkılı $Y_{0,9}Co_{0,1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi



Şekil 4.28. 0.1 Co katkılı $Y_{0,9}Co_{0,1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri

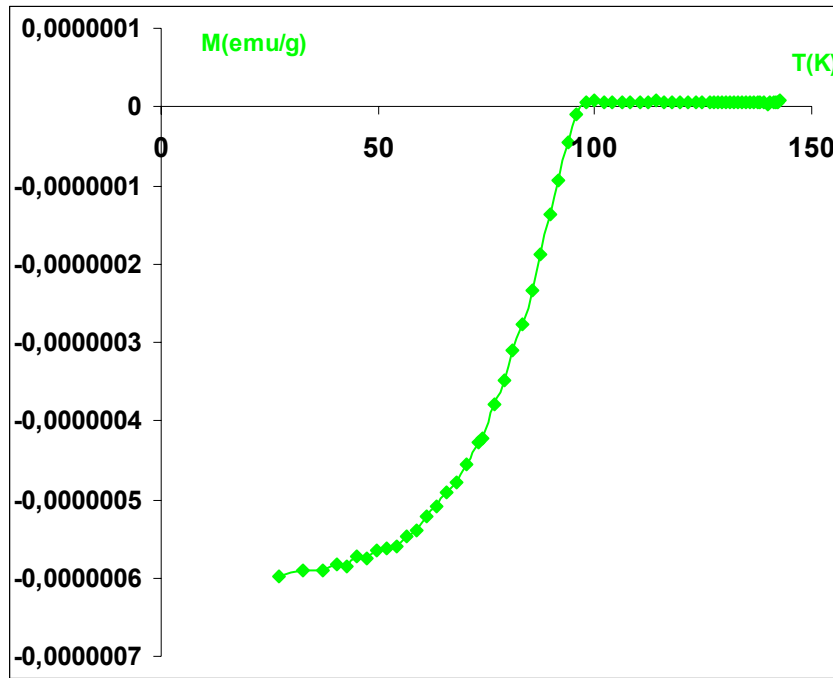
$x=0.3$ katkılama oranı için M-T eğrisinin Şekil 4.29'da verilmiştir. Yapıda ferromanyetik fazın değeri artırıldıkça buna bağlı olarak diamanyetik özelliğin azaldığı

gözlenmiştir. Ancak yaklaşık 92 K civarında diamanyetik geçişin gözlenmesi yapıda hala süperiletken fazın baskın olduğunu göstermektedir.

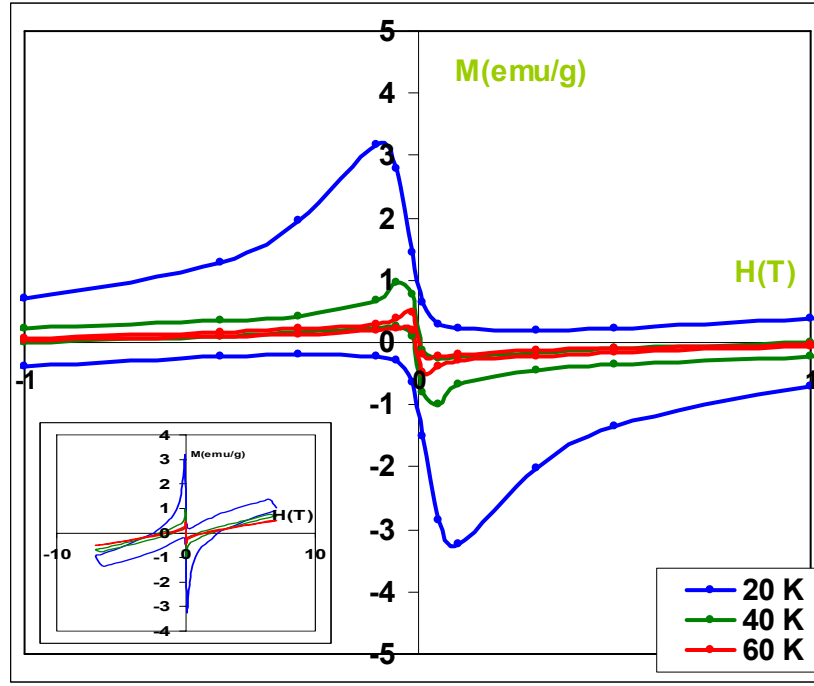
$x=0.3$ Co katkılı numunenin $M-H$ eğrisine baktığımızda ise yapıda ferromanyetikliğin başladığı görülmektedir (Şekil 4.30). Ferromanyetik malzeme miktarı arttırıldıkça histerizis eğrisi de ferromanyetik örneklerin $M-H$ eğrisine benzemektedir. Ayrıca yapıdaki manyetik momentlerinde azaldığı bulunmuştur. Öyleki; saf örneğin ΔM değeri 21 K için 20 emu/g iken 0.3 CoO katkılı örneğimizin ΔM değeri 20 K de yaklaşık 6.4 emu/g değerindedir. ΔM değerindeki bu değişimin nedeni yapıdaki tuzaklama merkezlerinin cobalt oranı arttıkça diamanyetik özelliği yok edecek şekilde değişmesidir. Bu durum katkısız örneğin $M-H$ histerizislerinin $x=0.3$ katkılı örnekle karşılaştırıldığında 0.3 katkılı örneğin $M-H$ histerizisinin daha dar olduğu şeklinde ortaya çıkmaktadır.

0.3 katkılı sistem için kritik akım yoğunluğu değeri ise 20 K için hesaplanmış ve 2×10^3 A/cm² olarak bulunmuştur. Ancak daha yüksek sıcaklık için (40 ve 60 K) histerizis eğrilerinde şekil bozulduğundan hesaplamalar yapılamamıştır.

$x=0.5$ ve $x=0.7$ katkılı örneklerimizde ise diamanyetik sinyal alınamadığı için (örnekler süperiletken değil) manyetik ölçümler yapılamamıştır.



Şekil 4.29. 0.3 Co katkılı $Y_{0.7}Co_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin $M-T$ eğrisi



Şekil 4.30. 0.3 Co katkılı $Y_{0.7}Co_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri

4.4.3. Molibden Katkılı ($Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$) Örneklerin Manyetik Ölçüm Sonuçları

Molibden +6 değerlikli geçiş elementi olup $(Kr)4d^55s^1$ elektronik konfigürasyonuna sahiptir. Manyetik özellik olarak ise paramanyetikdir.

Paramanyetik maddelerde bir alan bulunmadığında manyetik momentler termal hareketler nedeniyle gelişigüzel yönelirler. Bu nedenle de net bir manyetik moment oluşturmazlar. Manyetik alan uygulandığı zaman bir yönelme olur fakat yönelme termal hareketler nedeniyle yine de tam olmaz. Deneysel olarak paramanyetik bir maddenin mıknatıslanması uygulanan manyetik alanla doğru, mutlak sıcaklık ile ters orantılı olduğu bilinmektedir. Sabit bir manyetik alanda örneklerin manyetizasyonu artan sıcaklıkla azalır.

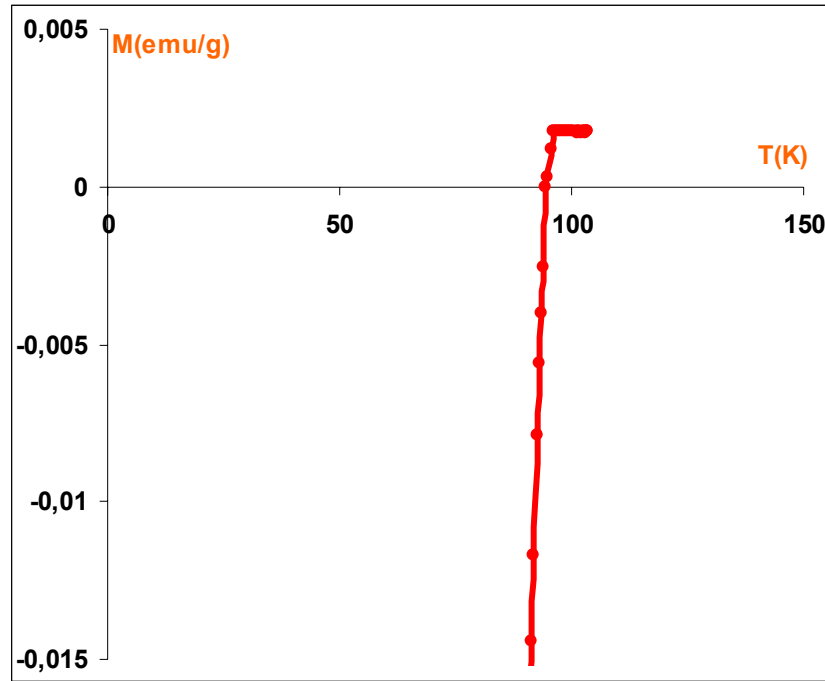
Molibden VI B grubunda Yitrium ise III B grubunda yer alıp ikisi de geçiş elementi olmasına rağmen farklı bir manyetik yapı göstermektedir. Dolayısıyla Yitriumun yerine Molibden katılanması yapının manyetik özelliklerini değiştirecektir.

$x=0.1$ Mo katkılı örneğin M-T grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir. Yapıda diamanyetik fazın 92 K başladığı görülmektedir. Ancak paramanyetik fazın varlığı ise diamanyetik fazdan önceki değerlerin pozitif çıkması ile açıkça görülmektedir.

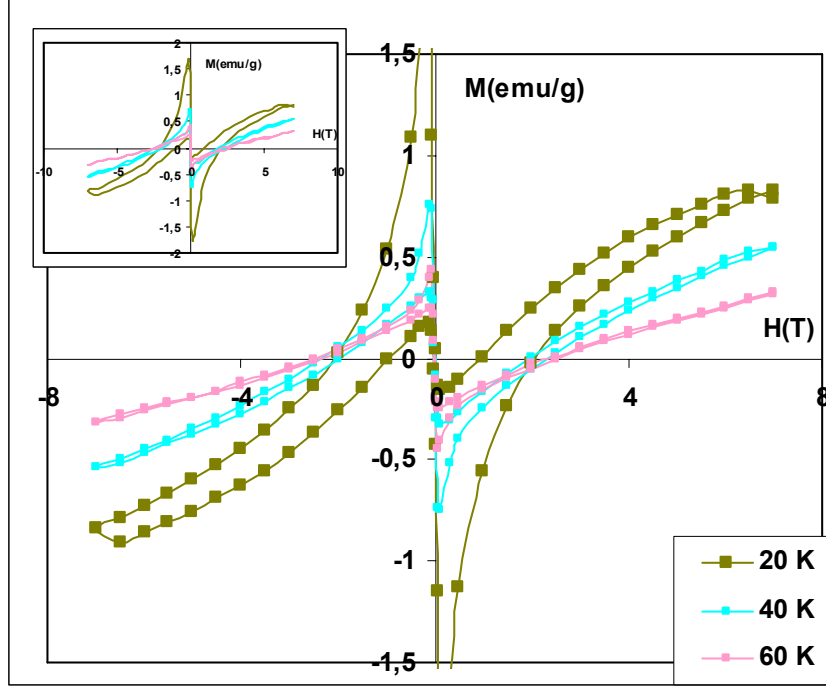
Dolayısıyla katkı miktarı çok az bile olsa Mo tarafından oluşturulan paramanyetik fazın varlığı YBCO Süperiletken sistemi içerisinde bulunmaktadır.

$Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$ örneklerinin M-H eğrileri katkısız YBCO sisteminde olduğu gibi diamanyetik bir eğri oluşturmadığı gözlenmiştir. $x=0.1$ molibden katkılı örneğin M-H eğrileri Şekil 4.32'deki gibi olup eğriler daha ziyade paramanyetik M-H eğrisine benzemektedir ve sıcaklık azaldıkça ΔM değeri artmaktadır.

20 K, 40 K ve 60 K için ΔM değerleri sırasıyla 3.48 emu/g, 1.5081 emu/g ve 0.8438 emu/g olduğu bulunmuştur. Sıcaklık arttıkça manyetizasyondaki düşüşün sebebi birim kütledeki manyetik momentlerin sayısının azalmasından kaynaklanmaktadır.



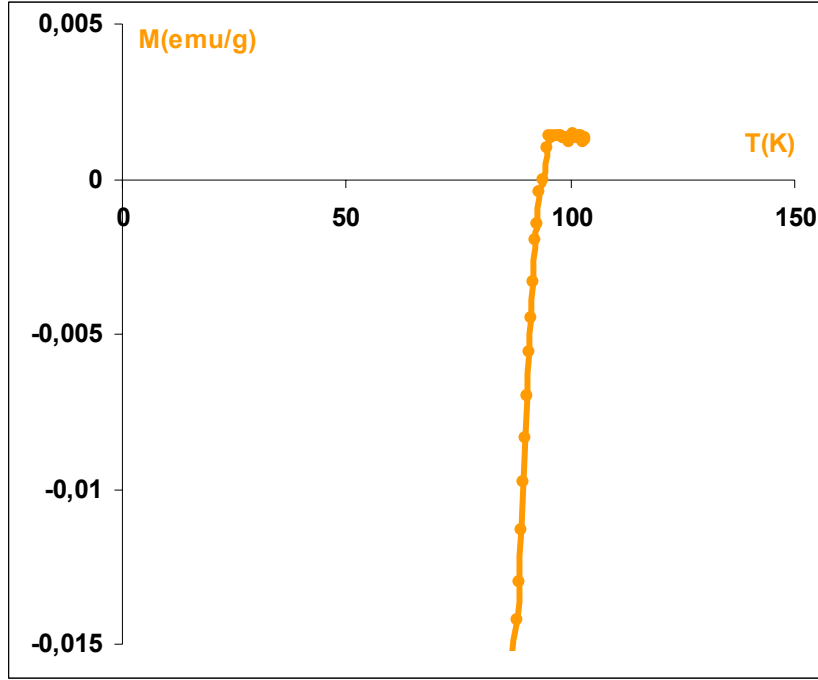
Şekil 4.31. 0.1 Mo katkılı $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi



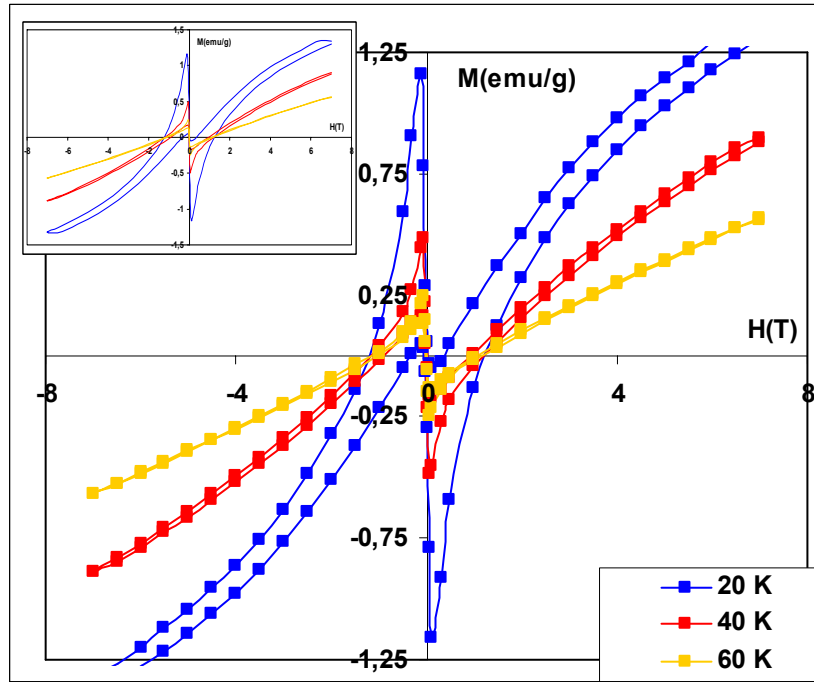
Şekil 4.32. 0.1 Mo katkılı $Y_{0.9}Mo_{0.1}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri

$x=0.3$ Mo katkılı örneğin 2 mT manyetik alan altındaki M-T grafiği Şekil 4.33'teki gibidir. Bu egride pozitif manyetizasyon değerinin $x=0.1$ katkılı örneğe göre daha yüksek bir değerde olduğu bulunmuştur ki bu da sisteme kakılanan Mo miktarının artması ile ilişkilidir.

Molibden oranı $x=0.3$ olduğunda örneklerin M-H eğrilerine baktığımızda Şekil 4.34, ΔM değerleri 20 K, 40 K ve 60 K için sırasıyla 2.3211 emu/g, 0.9715 emu/g ve 0.4961 emu/g olduğu görülmektedir. Molibden oranı arttıkça aynı sıcaklıklar için ΔM değerlerinin daha da azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.33. 0.3 Mo katkılı $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi

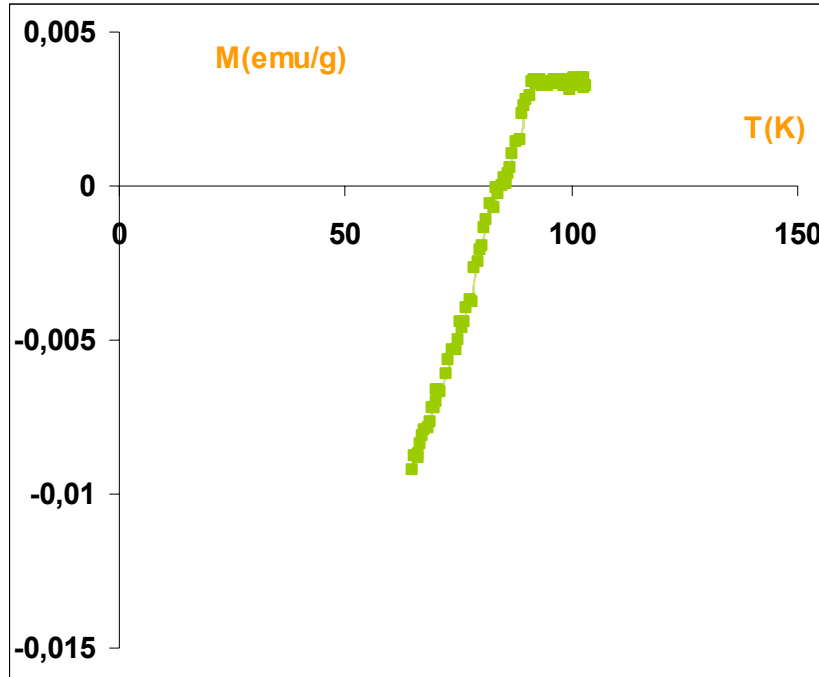


Şekil 4.34. 0.3 Mo katkılı $Y_{0.7}Mo_{0.3}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri

$x=0.5$ Mo katkılı örneğin M-T grafiği Şekil 4.35'te verilmiştir. Görüldüğü gibi Mo oranı yükseldiğinde yapıda diamanyetik faz olmasına rağmen paramanyetik faz

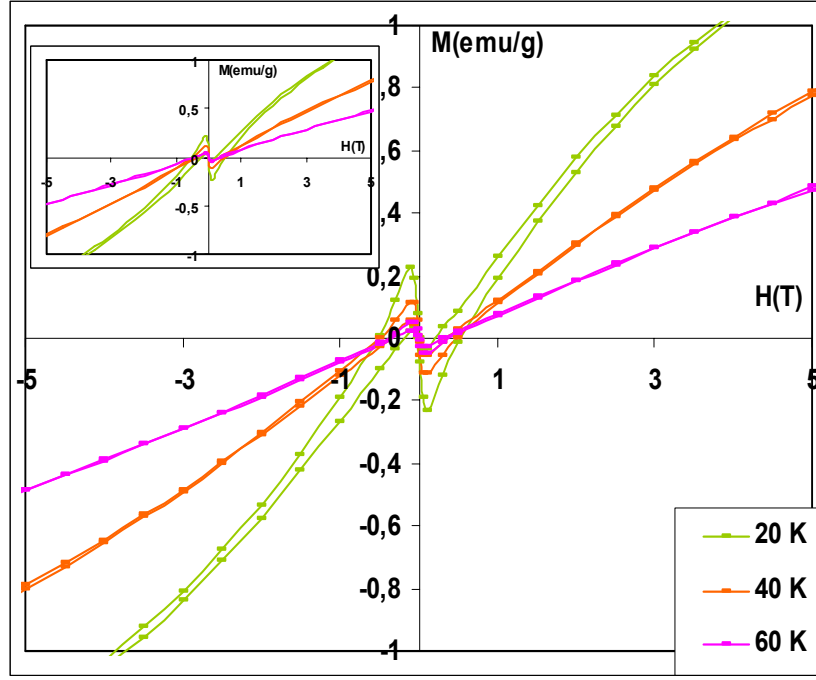
özelliği (pozitif manyetizasyon) ciddi miktarda artmıştır. Ancak örneğin diamanyetik faza geçiş sıcaklığı hala 90 K civarındadır.

Bu örneğin M-H eğrilerine (şekil 4.36) baktığımızda ΔM değerleri 20 K, 40 K ve 60 K için sırasıyla 0.4614 emu/g, 0.2265 emu/g ve 0.09784 emu/g olduğu görölmektedir. Bu da Molibden oranı arttıka ΔM değerlerinin azaldığı ve yapının paramanyetik bir yöneline gittiğini ortaya çıkarmaktadır.

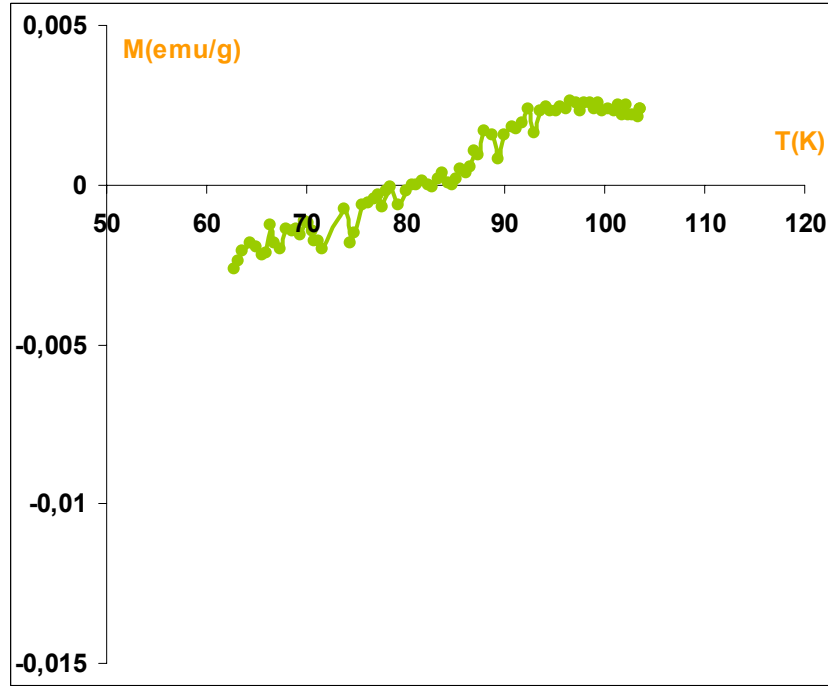


şekil 4.35. 0.5 Mo katkılı $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi

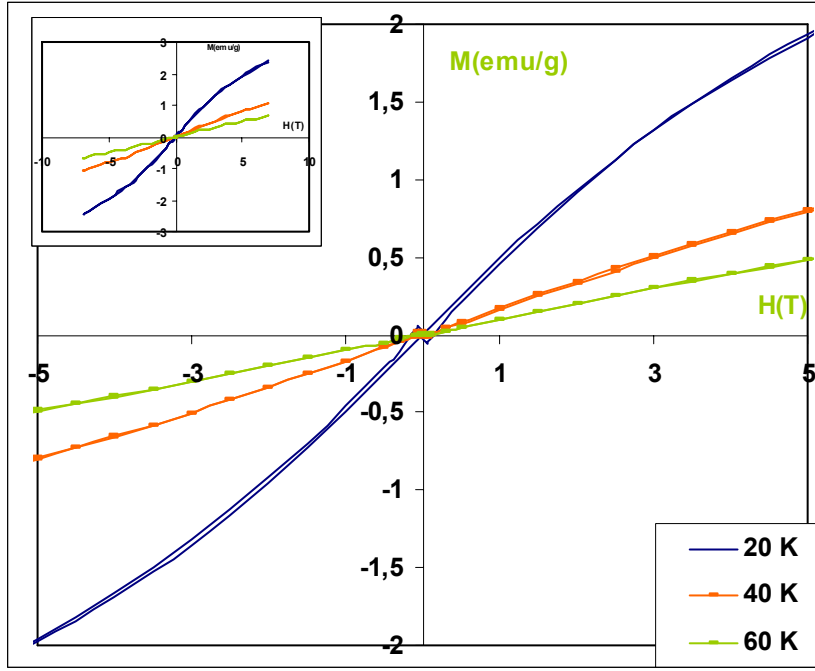
Tez kapsamında çalışırken en yüksek oran olan $x=0.7$ Mo katkılı örnekte ise diamanyetik sinyalin tamamen kaybolduğu görölmüştür şekil 4.37. Bu sonuç örneklerin R-T ölçümü sonucunda süperiletken çıkmaması ile tam olarak uyum içerisinde. Bu da yapıdaki Mo oranı %70 olduğunda (%30Y+%70Mo) yapının paramanyetik özellik göstereceği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu durum M-H histerizislerinde de açıkça ortaya çıkmaktadır (şekil 4.38). Dolayısıyla Mo katkı oranı arttıka diamanyetik histerizis genişliğinin azaldığı ve yok olduğu görölmektedir. Sonuç olarak Mo katkısı ile örnekler paramanyetik bir davranış ortaya koymuşlardır.



Şekil 4.36. 0.5 Mo katkılı $Y_{0.5}Mo_{0.5}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri



Şekil 4.37. 0.7 Mo katkılı $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-T eğrisi



Şekil 4.38. 0.7 Mo katkılı $Y_{0.3}Mo_{0.7}Ba_2Cu_3O_z$ örneğinin M-H eğrileri

5. SONUÇLARIN YORUMU VE GENEL TARTIŞMA

Katkısız YBCO ile Co ve Mo katkılı olan $Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$ ile $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$ örnekleri katihal reaksiyon yöntemiyle hazırlanmış ve tez kapsamında bu örneklerin mikroyapısal, elektriksel ve manyetik özellikleri incelenmiştir. Bu örnekler içerisinde YBCO ile $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$ sisteminde $x=0.1$ ve 0.3 katkı oranları için örneklerin süperiletken olduğu bulunmuştur. Diğer katkılar, $x=0.5$ ve $x=0.7$, için örneklerin süperiletken olmadığı görülmüştür. Molibden katkılanmasında ise tüm katkılar için $x=0.1, 0.3, 0.5$ ve 0.7 , örneklerin süperiletken olmadığı görülmüştür. Co ve Mo katkılanmasının örneklerin manyetik özelliklerini de değiştirdiği gözlenmiştir. Literatürde YBCO sistemi için yitrium yerine cobalt ve molibdenin katkısına rastlanmadığından elde edilen sonuçların diğer çalışmalarla karşılaştırılması mümkün olmamıştır.

5.1. Örneklerin Hazırlanma Koşulları

Katihal reaksiyon yöntemi süperiletken hazırlama yöntemlerinden en yaygın olanıdır. Tez kapsamında katihal reaksiyon yöntemini kullanılarak örnekler hazırlanmıştır. Örnekler hazırlanırken optimum kalsinasyon ve sinterleme sıcaklıklarının örneğin stokiyo metrisine çok sıkı bir şekilde bağlı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla örnekler ortak bir sinterleme sıcaklığında hazırlanamamıştır. Bunun sebebi ise azalan yitrium miktarıyla örneklerin erime sıcaklıklarının büyük oranda değişmesinden kaynaklanmıştır. Örneklerin kalın film haline getirilmesi için kullanılan zımparalama veya parlatma işlemlerinin örnekler üzerinde herhangi bir mekanik zarar vermediği ve yöntemin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

5.2. XRD Sonuçları

Öncelikli olarak saf YBCO örneğininin XRD incelemesi yapılmış ve örnek optimum şartlarda üretildiği için saf, homojen ve iyi kristallenmiş bir yapıda olduğu, ayrıca yapının tek fazlı ve kristalleşmelerin büyüme yönünün c eksenine boyunca olduğu belirlenmiştir. Bu da tez kapsamında kullanılan hazırlama tekniğinin amaca uygun olduğunun en iyi göstergesi olmuştur.

Cobalt katkılı örnekler incelendiğinde; nominal $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_z$ kompozisyonda cobalt oranı 0.1 ve 0.3 olarak olduğunda YBCO sisteminin ana

piklerinin korunarak kaldığı bulunmuştur. Bu da sisteme cobalt katkısı yapıldığında cobaltın yapıya tam olarak difüz etmediğini göstermektedir. Cobalt oranı 0.5 olduğunda yapıda düşük şiddetli safsızlık piklerinin oluştuğu görülmüştür.

Katkılama oranına 0.7 olunca safsızlık pikleri daha belirgin hale gelmektedir. Ana faz piklerinin şiddetinde ise katkılamanın en başından itibaren ciddi bir düşme olduğu görülmüştür.

Ancak katkılama sonucunda sistemin simetrisinin ve birim hücre parametrelerinin değişmeden kaldığı bulunmuştur. Çünkü ana piklerin pozisyonunda pik şiddetleri azalmasına rağmen herhangi bir kaymanın olmadığı, yapıda çok fazlılığın gözlenmesi ve ana pik pozisyonlarının değişmemesi Co'nun Yittriyum yerine geçmediğini ortaya koymaktadır.

İkinci örneğimiz olan $Y_{1-x}Mo_xBa_2Cu_3O_z$ nominal yapının molibden katkısında ise en düşük katkılama oranından itibaren ana faz piklerinin şiddetlerinin düştüğü bununla beraber yapıda safsızlık piklerinin oluşmaya başladığı görülmüştür.

Gerek sistemin düşük katkılama oranlarından itibaren çok fazlı bir yapıda olması gerekse ana faz (YBCO) piklerinin pozisyonlarında herhangi bir değişimin olmaması Mo'nin de Yittriyum yerine geçmediğini ortaya koymaktadır.

5.3. SEM Sonuçları

SEM analizleri sonucunda saf YBCO sistemi için şu sonuçlar gözlenmiştir;

- i-* YBCO tam olarak güçlü taneler arası bağ koordinasyonuna sahiptir.
- ii-* Yapısal olarak tek fazlılık görülmektedir.
- iii-* YBCO'nun karakteristik özelliği olan kısmi erime özelliği görülmüştür.

Bu gözlenen sonuçlar katkısız YBCO için literatürde elde edilen sonuçlarla uyusmaktadır. Gerçekten de üretilen kalın film malzemenin hazırlanması sırasında uygulanan ısı işlem sıcaklıkları ve sürelerinin optimum değerler olduğu ve hazırlanma sırasında presleme basıncının da oldukça yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Cobalt katkılı sistemde ise şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- i-* Cobalt tam olarak yapıya girmeyip lokal kalmaktadır. 0.1 ve 0.3 katkılı örneklerde cobalt'a ait XRD sonucunda cobalt piklerine ulaşılmaması bunu desteklemektedir.
- ii-* Cobalt katkısı ile kısmi erime özelliği bozulmaya başlamış ve maksimum cobalt katkısında kısmi erime olayının bittiği görülmüştür. Bunun yerine $x=0.1$ katkılı örnekten itibaren oluşmaya başlayan küçük tanecik (grain) bölgeleri almıştır. $x=0.1$ katkılı örnekte oluşan taneciklerin katkılama oranı arttıkça oluşan tanecikler birleşerek daha büyük tanecikleri oluşturduğu gözlenmiştir.
- iii-* Yapıda yer yer boşlukların ve zayıf bağlı taneciklerin bulunduğu gözlenmiştir.

Bu sonuçlar bize Co'ın aslında YBCO sistemi ile başta termodinamik özellikleri ve kimyasal reaksiyon affinitesi olmak üzere uygun bir malzeme olmadığını ortaya koymaktadır. Buna iyonik yarıçaplardaki fark ve elektronik bağ koordinasyonlarının farklı olması da tesir etmektedir.

Molibden katkılı sistemde ise şu sonuçlar elde edilmiştir;

- i-* Molibdenin yapıya girerek yapıyı bozduğu görülmüştür. Katkısız örnekteki gibi kısmi erimeye bu katkıda rastlanmamış ve onun yerine süngerimsi yapı belirlenmiştir.
- ii-* Yapıda molibden oranı arttıkça süngerimsi yapıda oluşan küçük taneciklerin boyutlarının küçüldüğü ve son kompozisyonda daha kararlı bir yapıya ulaşıldığı görülmüştür.
- iii-* EDX analizi sonuçlarında çok fazlılık görülmüştür. Bu sonuçlar XRD ile elde ettiğimiz verilerle uyum içerisindedir. Ancak Co için elde edilen veriler ile Mo için elde edilenlerin büyük benzerlik göstermeleri, Mo'ninde YBCO için uygun bir katkı elementi olmadığını göstermektedir.

Sonuç olarak mikroyapısal olarak Co ve Mo katkılama YBCO sistemine pozitif bir etki etmediği gibi yapılaşmayı bozduğu gözlenmiştir.

5.4. Elektriksel Ölçüm Sonuçları

Katkısız örneklerin geçiş sıcaklığına kadar normal metalik davranış gösterdiği kritik sıcaklıktan sonra süperiletkenlik özelliği gereği uygulanan akım sonucu sıfır direnç gösterdiği görülmüştür.

Cobalt katkılı örneklerin elektriksel ölçümlerinde katkılama oranı 0.1 ve 0.3 için süperiletken davranış sergilediği görülmüştür. Katkılama oranı 0.5 ve 0.7 için hazırlanan örneklerin yarı iletken davranış gösterdiği görülmüştür. Katkılama oranı 0.1 ve 0.3 katkılı örnekleri için de oda sıcaklığında kilo-ohm mertebesinde bir direnç okunurken katkılama oranı 0.5 ve 0.7 örnekleri için ise Mega-ohm mertebesinde direnç değerine sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla katkı miktarı ile normal durum direnç değerleri çok yüksek değerlere ulaşmıştır.

Molibden katkılı örneklerde ise oda sıcaklığında yapılan ölçümlerde Mega-ohm mertebesinde direnç belirlenmiştir. Bu değerler ise ölçüm sistemimizin maksimum limitlerini geçtiğinden ölçümler yapılamamıştır.

Sonuç olarak katkılanan elementin bağ koordinasyonları dolayısıyla elektronik yapıları çok farklılıklar göstermektedir. Bu da muhtemel taşıyıcı konsantrasyonunu direkt olarak etkilediği için katkılı örneklerin iletim mekanizmaları tamamen bozulmuş ve dolayısıyla süperiletkenlik özellikleri de yok olmuştur.

5.5. Manyetik Ölçüm Sonuçları ve J_c Değerleri

Katkısız YBCO örneğinin manyetik ölçümleri incelendiğinde;

- i- Örneklerin $M-T$ eğrileri süperiletkenlerin genel davranışı ile uyum içerisindedir ve diamanyetik davranış göstermektedir.
- ii- $M-H$ zarfı geniş olduğu için yapının güçlü bağ koordinasyonuna sahip olduğu ve taneler arası güçlü bağlanmanın olduğu anlamına gelmektedir.
- iii- Histerizis zarfı geniş olduğundan tuzaklama şiddetinin büyük olduğu dolayısıyla kritik akım yoğunluğu değerinin büyük olduğu görülmüştür.
- iv- Kritik akım yoğunluğu değerleri 21 K 3×10^4 , 41 K 2×10^4 , 61 K 1.1×10^4 A/cm² olduğu görülmüştür ki bu da literatürle uyum içerisindedir.

Cobalt katkılı örneklerin manyetizasyon ölçüm sonuçlarında;

- i-* Örneğin M-T eğrilerinde artan cobalt oranı ile diamanyetik ve ferromanyetik fazın birlikte bulunduğu görülmektedir. Bu da ferromanyetik özellik gösteren Co'ın yapıya çok az oranda bile katılsa kendi özelliğini verdiğini göstermektedir.
- ii-* Cobalt oranı 0.1 ve 0.3 için M-H eğrilerinden örneklerin kısmi olarak diamanyetik davranış gösterdiği görülmüştür.
- iii-* Cobalt oranı arttıkça M-H zarfı daraldığı dolayısıyla güçlü bağ koordinasyonunun bozulduğu ve yapının ferromanyetik özelliğe geçtiği anlaşılmaktadır.
- iv-* Kritik akım yoğunluğu değeri artan cobalt oranı ile azaldığı ve 0.1 katkılı örnek için 20 K 8.1×10^3 , 40 K 5.3×10^3 , 60 K 1.9×10^3 A/cm² olduğu görülmüştür. 0.3 katkılı örneğin 20 K sıcaklığında hesaplanan kritik akım yoğunluğu değeri ise 2.0×10^3 A/cm² olarak belirlenmiştir. Bu da tamamen histerizisler dolayısıyla manyetik özelliklerin bozulduğunun bir göstergesidir.

Molibden katkılı örneklerin manyetizasyon ölçüm sonuçlarından ise;

- i-* M-T eğrilerinde keskin bir azalış olduğu ve artan Mo oranı ile T_c değerlerinde azalmanın olduğu bulunmuştur. Bu tamamen paramanyetik özellik gösteren Mo'nin yapıda oluşturduğu paramanyetik safsızlık fazlarının bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü katkılama arttıkça pozitif manyetizasyon değeride safsızlık fazlarına paralel artmaktadır.
- ii-* Molibden oranı 0.1 olarak en düşük katkılama bile yapının bozulduğu diamanyetik maddelerin M-H eğrisinden farklı olarak paramanyetik M-H davranış sergilediği görülmüştür.
- iii-* Örnekler diamanyetik sistemlerin M-H davranışına benzerlik göstermediği için süperiletken olmadığı ve bu nedenle kritik akım yoğunluğu hesaplanmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] H.K.Onnes, Sur'les resistances electriques communications from the physical Laboratory of University of Leiden, Supplement, 29 (1911) 1
- [2] Kamerling-Onnes H., Leiden Commun. 120b, 122b, 124c, (1911)
- [3] Meissner W. and Ochsenfeld R., Naturwissenschaften 21,787 (1933)
- [4] <http://www.abdn.ac.uk/physics/case/99/history.html>
- [5] London F. and London H., **Prog. Roy. Soc.** (London) A 149 (1935) 71
- [6] Ginzburg V.L. and Landau L.K., **Sov. Phys. J. E. T. P.** 20,1064 (1950)
- [7] Bardeen J., Cooper I. and Schrieffer J.R., **Phys. Rev.** 108 (1957) 1175
- [8] Bednorz J.G. ve Muller K.A., **Z. Phys. B** 64,189 (1986)
- [9] Mitchel C.W., Hervieu M., Borel M.M., Grendin A., Deslandes F., Provost J. and Raveau B., **Z. Phys. B** 68,421 (1987)
- [10] Whu M.K., Asheburn J.R., Torng C.J., Hor P.H., Meng R.L., Gao L., Huangz J., Wang Y.Q and Chu C.W., **Phys. Rev. Lett.** 58,908-1002 (1987)
- [11] Maeda H., Tanaka Y., Fukutumi M., and Asono T., **Jpn. J. Appl. Phys.** 27, L209 (1988)
- [12] Hazen M.R., Finger L. W., Angel R. J., Prewith T. C., Ross R. L. and Hermann A.M., **Phys. Rev. Lett.** 60,657 (1988)
- [13] Murphy D. And Williams J. M., **Science** 27, 4 (1991)
- [14] C.W. Chu, L. Gao, F. Chen, Z.J. Huang, R.L. Huang, R.L. Meng, and Y. Y. Xue, **Nature** 365 (1993) 323
- [15] J. Akimitsu 2001 Symposium on Transition Metal Oxidies (Sendai, Japan, 10 January 2001, Superconductivity of metallic boron in MgB₂ **Phys. Rev. Lett.** 86 (2001) 4656.
- [16] Barden J., Cooper L.N. and Schrieffer J.R., **Phys. Rev.** 108, 1175 (1957)
- [17] H.İ. Adıgüzel "Y₂Ba₃Cu₅O_x Bileşiminin Sentezlenerek Yapısal ve Elektriksel Özelliklerinin Belirlenmesi" Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi (1992)
- [18] Abrikosov, A.A. **Sov. Phys. JETP**5, 1174 (1957)
- [19] P.W. Anderson, Absence of diffusion in certain random lattices. **Phys. Rev. B.** 109 (1958) 1492
- [20] <http://pysc.csweb.org/article/world/12/12/3>
- [21] C. P. Bean, Magnetizasyon of hard superconductors. **Phys. Rev. Lett.** 8 (1962) 250
- [22] M.E. Yakıncı "Thick film Glass-Ceramic Süperconductors, Fabrication" PhD Thesis, Universty of Warwick (1992)
- [23] M. Tinkham, Introduction to Superconductivity, Pergoman Press, Oxford, New York (1982)
- [24] J.C. Phillips. Physics of High T_c Superconductors. Acedemic Preaa Boston, USA (1989)
- [25] C.P. Poole, T. Datta and H. Fraoch, Cooper Oxide Superconductors. Wiley. New York (1989)
- [26] N. W. Ashcroft and N.G. Mermin, Saolid state Physics, Holt, Rinehart and Winston USA (1976)
- [27] H. Ateş "Yüksek Sıcaklık YBCO Süperiletken Sisteminde Yittrium Yerine Yaklaşık Yarıçaplı Farklı Oksitlerin Katılması ve Yeni Sistemin Özelliklerinin Belirlenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi (1998)
- [28] Hidaka Y., **J. Jpn. Appl. Phys.** 27, L538 (1988)
- [29] Kittel C., İntroduction to solid state physics, John Wiley and Sons, United States (1976)

- [30] A.C. Rose Innes and E.H. Rhoderick, Introduction to superconductivity Pergamon Press Oxford (1982)
- [31] Chapnik I.M., **J. Of Matt. Science Lett.** 4,370 (1985)
- [32] Edward M.E., *Chemtch* 17, 542 (1987)
- [33] Z.Z.Sheng., A.M.Hermann, A.El Ali, L.Almason, T.Datta and .J.Matson, Superconductivity at 90 K in Tl-Ba-Cu-O system. **Phys. Rev. Lett.** 60 (1988) 937
- [34] L. Gao, Y.Y.Xue, F.Chen, Q.Xiong, R.L. Meng, D.Ramisen and C.W. Chu, **Phys. Rev. B.** 50 (1994) 4260
- [35] Jorgenson J.D., Beno M.A., Hinks D.G., Soderholm L. Volin K.J., Hitterman R.L., Grace J.D., Schuller I.K., segre C.U., Zhang K. and Kleefisch M.S., **Phys. Rev. B.** 36 “ 3608
- [36] Gupta R.P., Gupta M., **Physica C** 171 (1990) 465
- [37] Matsui M., Ohmori K., Shimizu T. and Doyama M., **Phys. B.** 148 (1987) 315
- [38] Rao C.N.R., *Solid State Chem.* (To be published)
- [39] Sasaki T.A., Baba Y., Masaki N., and Jakano I., **Jpn. J. Appl. Phys.** 10 L1569 (1987)
- [40] Sarma D.D. and Rao C.N.R., **Solid State Commun.** 67 (1988) 47
- [41] Lynn J.W., *High Temperature Superconductivity*, Springer-Verlag, New York, (1990)
- [42] J.R Hook and H.E. Hall *Solid state Physics Book*, Manchester University
- [43] Jorgensen J.D., Veal B.W., Kwok W.K., Grabtree G.W., Umezawa A.N., Nowicki L.J., and Pavlikas A.P. **Phys. Rev. B.** 36 (1987) 5731
- [44] Shelton R.N., Mc Callum R.W., Damento M.A., Gscnidner Jr. K.A., Ku H.C., Yang H.D., Lynn J.W., Li W.H., and Li Q. **Physica B.** 148, 285 (1987)
- [45] www.amsuper.com/products/htsWire/index.cfm
- [46] Larbalestier D et al 2001 **Nature** 414 368
- [47] Malozemoff A et al 2003 **Physica C** 386 424 data/htsmagneto.html
- [48] Matrone A 2003 **Int. J. Mod. Phys. B** 17 407
- [49] Vase P et al 2000 **Supercond. Sci. Technol.** 13 R71
- [50] http://www.ipht-jena.de/BEREICH_1/abt13_cryo_electronics/devices-data/htsmagneto.html
- [51] <http://www.finoag.com/fitm/squid.html>
- [52] Chris Carr et al 2003 **Supercond. Sci. Technol.** 16 1387-1390
- [53] Ter Brake HJM, Rijpma AP, Stinstra JG, Borgmann J, Holland HJ, Krooshoop HJG, Peters MJ, Flokstra J, Quartero HWP, Rogalla H. Fetal Magnetocardiography: clinical relevance and feasibility, **Physica C** 368. 10-7 (2002)
- [54] Faley MI, Poppe U, Urban K, Paulson DN, Starr TN, Fagaly RL. Low noise HTS dc- SQUID flip-chip magnetometers and gradiometers. **IEEE Transactions on Appl Supercond**11(1). 1383-6 (2001)
- [55] Li, Z, Wakai, RT, Paulson, DN, Schwartz, B., **Neurology and Clinical** 25 (2004)
- [56] Korhonen P, Montonen J, Mäkijärvi M, Toivonen L, Katila T: Time Domain Late Field Analysis of Multichannel MCG in Post-Infaction Ventricular Arrhythmia Risk Assessment, Recent Advances in Biomagnetism–Proceedings of the 11th International Conference on Biomagnetism, Tohoku Unive(w)rcity Press, Sendai 1999, p. 1045.
- [57] <http://www.mda.mil/mdalink/pdf/hig.pdf>
- [58] http://superdevices.phys.strath.ac.uk/prgs_HTS_SQUID_Bio.html

- [59] Nowak H Biomagnetic Instrumentation. In Magnetism in Medicine, Andra, W and Nowak, H (Eds.) Wiley-VCH, Berlin, 88-135 (1998)
- [60] Vodel W, and Mäkineniemi K An ultra low noise SQUID system for biomagnetic research, Measurement Science and Technology, vol. 3, no. 2, pp.1155-1160 (1992)
- [61] http://www.piercenet.com/files/IQ_hts.pdf
- [62] <http://care-hhh.web.cern.ch/care-hhh/HHH-04/Talks%20Session%203/hhh2004-poster-hts.pdf>
- [63] <http://www.physicscentral.com/action/action-01-3d.html>
- [64] The AMPTIAC Quarterly. Volume 7, Number 1
- [65] <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=942&head=High%2BTemperature%2BSuperconducting%2BTransmission%2BCables>
- [66] J Lu et al **Supercond. Sci. Technol.** 15 327–329 (2002)
- [67] <http://www.superconductorweek.com/pr/0605txo/amsc01.htm>
- [68] USPAS Course on Superconducting Accelerator Magnets (2001)
- [69] <http://www.amsuper.com/>
- [70] Kusunoki, M. Akaike, H. Fujimaki, A. Hayakawa, H. 5, 2 (1995)
- [71] Burns et al. **Appl. Phys. L&t.**, Vol. 63, No. 9, 30 (1993)
- [72] http://www.wtec.org/loyola/scpa/05_08.htm
- [73] J S Wang et al **Supercond. Sci. Technol.** 18 S215-S218 (2005)
- [74] <http://phx.corporate-ir.net/phonexix.zhtml>
- [75] M.T.Gonzalez et al **Supercond.Sci.Technol.**15 1372-1376 (2002)
- [76] U.Kölemen et al **Physica C xxx (2004) xxx-xxx**
- [77] E Gaganidze et al **Supercond. Sci. Technol.** 17 1346-1352 (2004)
- [78] D.Seron et all **Supercond.Sci.Technol.**17 S422-S426 (2004)
- [79] C.H.Cheng et al **Supercond.Sci.Technol.**16 130-136 (2003)
- [80] J.Figueras et al **Supercond.Sci.Technol.**13 1067-1073 (2000)
- [81] K.Tachikawa **Supercond.Sci.Technol.**5 386-390 (1992)
- [82] A.Koblishka-Veneva **Supercond.Sci.Technol.**13 807-810 (2000)
- [83] Guangping Zheng and Jinxiu Zhang et al **Supercond.Sci.Technol.**15 398-1403 (2002)
- [84] C.Harnois et al **Supercond.Sci.Technol.**15 864-870 (2002)
- [85] Y.Feng et al/**J.Phys:Condens Matter** 12 5843-5855 (2000)
- [86] X.S.Wu et al **Physica C** 402 88-93 (2004)
- [87] N.J.Montgomery et al **Thin solid films** 317 237-240 (1998)
- [88] M.Murugesan et al **Physica C** 400 65-70 (2003)
- [89] Lihau Liu et al **Physica C** 383 17-22 (2002)
- [90] Gun Yong Sy and Jeong Dae Suh **Physica C** 282-287 (1997) 667-668
- [91] W.J. Webster et al **Physica C** 185-186 (1991) 1079-1080
- [92] A.Porch et al **Physica C** 214 (1993) 350-358
- [93] Suja Elizabeth et al **Solid State Communications** 109 (1999) 333-338
- [94] H.S. Obhi and E.K.H.Salje **J.Phys. condens. Matter** 4 (1992) 195-204
- [95] U.Çevik et al **II. UYSSS Malatya**, 21 (2001) 97-101
- [96] J. A. Bhalodia et al **Materials Research Bulletin** 29 89-95 (1994)
- [97] D. G. Kuberkar et al **Applied Superconductivity** 3 357-363 (1995)

ÖZGEÇMİŞ

Malatya merkezde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya'da tamamladı. 1998 yılında Anadolu Üniversitesi Çevre mühendisliğini kazandı. 1999 yılında Üniversite yerleştirme sınavına girdi ve İnönü Üniversitesi Fizik Bölümünü kazandı. 2003 yılında Malatya İnönü Üniversitesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Anabilim dalında yüksek lisansa başlamıştır. Halen Katıhal Fiziği Anabilim dalında Süperiletken sistemler üzerine çalışmaktadır.

Yayın ve Bildiriler:

- 1- $Y_{1-x}Co_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ HT_c Sisteminin Genel Karakterizasyonu N. Doğan, M. E. Yakıncı, Y. Balcı ve M. A. Aksan III. Ulusal Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler Sempozyumu 2005-Bolu/TÜRKİYE