

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YİTRİYUM (1) BARYUM (2-X) M (X) BAKIR (3) OKSİJEN (7-Y)
(M = LİTYUM, SEZYUM VE BOR) SÜPERİLETKEN BİLEŞİĞİNİN BAZI
FİZİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

MEHMET KARTAL

HAZİRAN 2009

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı

18./06./2009

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Fizik Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İhsan ULUER

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Prof. Dr. Saffet NEZİR

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Saffet NEZİR

Doç. Dr. Sedat AĞAN

Yrd. Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

ÖZET

YİTRİYUM (1) BARYUM (2-X) M (X) BAKIR (3) OKSİJEN (7-Y)
(M = LİTYUM, SEZYUM VE BOR) SÜPERİLETKEN BİLEŞİĞİNİN BAZI
FİZİKSEL VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

KARTAL, Mehmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Saffet NEZİR

Haziran 2009, 114 Sayfa

Bu çalışmada, $YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ (M= B, Li, Cs) süperiletken bileşikleri, $x=0,005$, $0,01$ ve $0,1$ alınarak klasik katıhal tepkime yöntemine göre üretildi. Bu bileşiklerin bazı fiziksel ve yapısal özellikleri; elektriksel özdirenç, kritik akım yoğunluğu, taramalı elektron mikroskobu, x-ışını toz kırınımı ve EDS ölçümleri ile incelendi.

Elektron mikroskobu çalışmalarına göre bor katkılı numunelerde $x=0,1$ katkısı için tane boyutlarının $x=0,005$ ve $x=0,01$ katkılarına göre çok daha küçük olduğu ve taneler arası boşlukların da önemli ölçüde arttığı gözlemlendi. Lityum katkılı numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde ise, katkı miktarının artmasıyla tane boyutunun bir miktar küçüldüğü görülmektedir.

Sezyum katkılı numunelerde ise katkı miktarın artışı ile, ortalama tane büyüklüklerinde de hissedilir bir değişme gözlenmemiştir.

Yapılan XRD analizine göre bor, lityum ve sezyum katkılı numunelerde 123-fazının karakteristik piklerinden olan ve $2\theta=32-34^\circ$ aralığında gözlenen (013) ve (103) piklerinin konumlarının, katkı miktarının artmasıyla orantılı olarak giderek sola doğru kaydıkları gözlenmiştir. Buna bağlı olarak, numunelerin örgü parametreleri hesaplandı.

25–130 K sıcaklık aralığında yapılan elektriksel özdirenç ölçümlerinde, en yüksek T_c kritik geçiş sıcaklık değeri 93,5 K ile bor katkılı numunelerde ($x=0,005$ ve $x=0,01$) gözlenmiş olup en düşük T_c değeri ise 65 K ile yine bor katkılı ($x=0,1$) numunede gözlenmiştir. Lityum ve sezyum katkılı numunelerde de katkı miktarının artmasıyla T_c kritik geçiş sıcaklığı değerinde düşme gözlemlendi.

Yapılan kritik akım yoğunluğu ölçümlerinde, en düşük J_c değeri lityum katkılı ($x=0,1$) numunede ve en yüksek J_c değeri de bor ($x=0,005$) ve sezyum ($x=0,01$) katkılı numunelerde gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Süperiletken, YBCO, Cs Katkısı, Li Katkısı, B Katkısı, Kritik Geçiş Sıcaklığı, Kritik Akım Yoğunluğu, XRD, SEM, EDS.

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF SOME PHYSICAL AND STRUCTURAL
PROPERTIES OF
YTTRIUM (1) BARIUM (2-X) M (X) COPPER (3) OXYGEN (7-Y)
(M = LITHIUM, CESIUM AND BORON) SUPERCONDUCTORS

KARTAL, Mehmet

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Saffet NEZİR

June 2009, 114 Pages

In this study, based on the traditional solid-state reaction method, superconductor samples of $\text{YBa}_{2-x}\text{M}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ (M= B, Li, Cs) were prepared by taking oxidized compound amounts of $x=0,005$; $0,01$ and $0,1$. Various physical and structural properties of these compounds were investigated based on the resistivity, critical current density, scanning electron microscope, x-ray powder diffraction, and EDS measurements.

Based on the electron microscope research, for $x=0,1$ boron doping samples, as compared to $x=0,005$ and $x=0,01$ doping amounts, much smaller grains and substantial space increases between grains are observed.

However, when examining electron microscopic images of lithium doping samples, as doping amount increases, some amount of shrinkage in the grain size was observed. Similarly, in cesium doping samples, with increasing doping amount, average grain sizes significantly changed.

Based on the XRD analysis, it was observed that in boron, lithium and cesium doping samples, proportional to increasing additive amounts, the positions of (013) and (103) peaks, which are characteristic peaks of 123-phase and observed in $2\theta=32-34^\circ$ interval, moved to left hand side. Accordingly, unit-cell parameters were calculated.

During the measurements of electrical resistivity at 25-130 K temperature, while the highest T_c critical transition temperature was observed at 93,5 K in boron doping ($x=0,005$ and $x=0,01$) samples, the lowest T_c was observed at 65 K in boron doping ($x=0,1$) samples. In lithium and cesium doping samples, with the increasing doping amount, a decrease in T_c critical transition temperature was observed.

Based on the critical current density measurements, while the lowest J_c value was observed in lithium doping ($x=0,1$) samples, the highest was observed in boron ($x=0,005$) and cesium doping ($x=0,01$) samples.

Key Words: Superconductor, YBCO, Cs doping, Li doping, B doping, Critical transition temperature, Critical current density, SEM, EDS, XRD.

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans döneminde danışmalığımy yapan Yüksek Lisans tez çalışmalarım kapsamında çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeme de katkıda bulunan danışman hocam Sayın **Prof. Dr. Saffet NEZİR**'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Lisans eğitimim boyunca beni yönlendiren, deneysel çalışmalarımdaya yanımda olan, fikirlerini benimle paylaşan ve desteğini esirgemeyen Sayın **Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILMAZLAR** ve Sayın **Yrd. Doç. Dr. H. Ali ÇETİNKARA**'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın deneysel aşamasında bana üniversitelerinin kapılarını sonuna kadar açan, bölümün tüm imkânlarından yararlanmamı sağlayan ve bana sabırla yardımcı olan Abant İzzet Baysal Üniversitesi öğretim üyesi Sayın **Doç. Dr. Cabir TERZİOĞLU**'na ve Sayın **Arş. Gör. Mustafa AKDOĞAN**'a ayrıca yardımlarından ötürü Kastamonu Üniversitesi öğretim üyesi Sayın **Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZTÜRK**'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen benim başarılı olmamdaya büyük emekleri olan başta ablam **Gülay KARTAL** olmak üzere tüm aileme teşekkür etmeyi borç bilirim. Ayrıca, yüksek lisans çalışmam sırasında bana moral ve motivasyon veren, çalışmamı hızlandıran, yardımlarını esirgemeyen Sayın **Arş. Gör. Mustafa Burak TÜRKÖZ**'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özetleri	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	5
1.3. Süperiletkenliğin Keşfi.....	5
1.4. Tarihsel Gelişme	7
1.5. Süperiletkenlerin Bazı Temel Özellikleri.....	12
1.5.1. Sıfır Direnç ve Geçiş Sıcaklığı	13
1.5.2. Kritik Manyetik Alan (H_c).....	14
1.5.3. Kritik Akım Yoğunluğu (J_c).....	17
1.5.4. Meissner Etkisi	20
1.6. İki – Akışkan Modeli	21
1.7. London Denklemleri	22
1.8. Ginzburg – Landau Teorisi	26
1.9. I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler	27

1.10. Süperiletkenliğin Mikroskobik Modeli	31
1.11. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri	34
1.12. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Yapısal Özellikleri	35
1.13. YBCO'nun Kristal Yapısı	36
1.14. Yitriyum Bulunduran Süperiletken Bileşikler	39
1.15. $YBa_2Cu_3O_7$ Bileşiğinin Faz Diyagramı	40
1.16. $YBa_2Cu_3O_7$ Bileşiğinin Kristal Yapısı	42
2. MATERYAL VE YÖNTEM	44
2.1. Giriş	44
2.2. Deneysel Çalışmalar	48
2.2.1. $YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ (M= Li, Cs, B) Bileşiğinin Hazırlanması	48
2.2.2. Presleme İşlemi	52
2.2.3. Tavlama İşlemi	54
2.2.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Çalışmaları	55
2.2.5. X-Işını Toz Kırınımı Çalışmaları	56
2.2.6. Elektriksel Özdirenç Ölçümleri	57
2.2.7. Kritik Akım Yoğunluğu Ölçümleri	59
2.2.8. EDS (Energy Dispersive Spectrometry) İle İnceleme	60
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	62
3.1. Giriş	62
3.2. Elektriksel Özdirenç Ölçümleri	62
3.3. Kritik Akım Yoğunluğu Ölçümleri	69
3.4. XRD Ölçümleri	75
3.5. Örgü Parametreleri	84
3.6. SEM İle İnceleme	88

3.7. EDS Ölçümleri.....	100
4. SONUÇ.....	104
KAYNAKLAR.....	108
EK (YBa ₂ Cu ₃ O _{6,8} bileşiminin XRD verileri).....	113

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

1.1. Bazı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin geçiş sıcaklıkları, kristal yapıları, birim hücredeki CuO_2 Sayıları (n) ve örgü parametreleri	16
1.2. Yttriyum bulunduran bazı süperiletken bileşikler.....	39
1.3. Oksijen miktarı ve kritik sıcaklıklar arasındaki ilişki	42
2.1. $\text{YBa}_{2-x}\text{M}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ (M=Li, Cs, B) bileşiğini hazırlamak için kullanılan bileşiklerin saflık dereceleri ve molekül ağırlıkları.....	48
2.2. 5 gr'lık $\text{YBa}_{2-x}\text{M}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ (M= Li, Cs, B) bileşiklerini üretmek için kullanılan başlangıç karışım miktarları	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

- 1.1. Civa'da kritik sıcaklık ile direncin değişimi 6
- 1.2. Çok iyi iletken olan gümüş ile süperiletkenlik gösteren kalayın öz direncinin, sıcaklıkla değişimi (Ku, 1987) 7
- 1.3. Bilinen süperiletken elementler..... 9
- 1.4. Süperiletkenlerin keşif tarihleri ve kritik geçiş sıcaklıkları, düz çizgiler I. tip süperiletkenleri, kesikli çizgiler ise II. tip süperiletkenleri temsil etmektedir.... 12
- 1.5. Sıcaklık ile kritik manyetik alanın (a) I. tip süperiletkenlerde ve (b) II. tip süperiletkenlerdeki değişimi..... 15
- 1.6. Niobiyum – Titanyum ticari süperiletken alaşımının H_c , J_c ve T_c faz diyagramı 19
- 1.7. Meissner etkisinin şematik gösterimi..... 20
- 1.8. Süperiletkenlik elektronlarının sıcaklıkla değişim grafiği (V. V. Schmidt's) 21
- 1.9. Uygulanan manyetik alanın bir süperiletken içerisine girişi..... 25
- 1.10. I. ve II. tip süperiletkenlerin manyetik alan içerisindeki davranışları..... 28
- 1.11. Süperiletken içerisindeki akı tüpleri ve oluşan akı girdapları 29
- 1.12. Negatif yüklü bir atom, süperiletken kafesindeki pozitif yüklenmiş iki iyon arasından, geçerken, iyonlar içe doğru çekilir. Kafes yapısındaki bu bozunma, bu bölgede pozitif yüklerin artmasına ve bu bölgenin negatif yüklü elektronlar için bir çekim uygulamasına sebep olur 32

1.13. YBCO'nun kristal yapısı. (a) Ortorombik, (b) Tetragonal faz.....	37
1.14. $YBa_2Cu_3O_x$ bileşğinde, oksijen miktarı x 'in fonksiyonu olarak süperiletkenlik kritik sıcaklığının değişimi.....	38
1.15. Y-Ba-Cu-O Sisteminin ikili faz diyagramı	40
2.1. Protherm Alser marka programlanabilir fırın.....	50
2.2. Kalsinasyon işlem süreci.....	51
2.3. Yaklaşık 4 cm uzunluğunda, 4 mm genişliğinde, 2 mm derinliğinde olan çelik kalıp	52
2.4. TÜMAS marka, maksimum 40 MPa'lık hidrolik pres.....	53
2.5. Preslenmiş numuneler	53
2.6. Sinterleme işlemi için kullanılan Protherm marka silindirik fırın	54
2.7. JEOL JSM-6390L model taramalı elektron mikroskobu	55
2.8. Rigaku Multiflex model XRD cihazı	57
2.9. Standart dört nokta yöntemine göre (a) numunelere yapılan kontaklar ve (b) parametrelerin şematik gösterimi	58
2.10. Özdirenç ölçümlerinin yapıldığı Cryogenic marka sıvı helyum kriyostat sisteminin fotoğrafı.....	59
2.11. Kritik akım ölçümlerinde kullanılan devrenin şeması	60
2.12. EDS2006 Model 550i IXRF System isimli EDS cihazı.....	61
3.1. $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ ($x = 0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin normalize edilmiş özdirenç-sıcaklık değişim eğrileri.....	63
3.2. $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ ($x = 0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin özdirençlerinin sıcaklıkla değişim eğrileri	64
3.3. $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ($x = 0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin özdirençlerinin sıcaklıkla değişim eğrileri	65

3.4. $x=0,005$ Cs katkılı $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ numunesinin ısıtma ve soğutma sırasında özdirenç değişim eğrileri	66
3.5. $x=0,005$ bor, lityum ve sezyum katkısı için özdirenç sıcaklıkla değişim eğrileri	67
3.6. $x=0,01$ bor, lityum ve sezyum katkısı için özdirenç sıcaklıkla değişim eğrileri	68
3.7. $x=0,1$ bor, lityum ve sezyum katkıları için normalize edilmiş özdirenç sıcaklıkla değişim eğrileri.....	69
3.8. $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005$ ve $x=0,01$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri	70
3.9. $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri	71
3.10. $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri	72
3.11. $YBa_{1,995}M_{0,005}Cu_3O_{7-y}$ ($M=B, Li, Cs$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri	73
3.12. $YBa_{1,99}M_{0,01}Cu_3O_{7-y}$ ($M=B, Li, Cs$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri	74
3.13. $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) ortorombik, (b) tetragonal yapıdaki x-ışını toz kırınım desenleri	75
3.14. Bor katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin x-ışını toz kırınım desenleri	77
3.15. Bor katkılı ($x=0; 0,005; 0,01; 0,1$) $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin $32-34^\circ$ aralığındaki x-ışını kırınım desenleri.....	78

3.16. Lityum katkılı ($x=0, 0,005, 0,1$) $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin x -ışını toz kırınım desenleri	79
3.17. Lityum katkılı ($x=0, 0,005, 0,1$) $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin $32-34^\circ$ aralığındaki x -ışını toz kırınım desenleri	80
3.18. Sezyum katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin x -ışını toz kırınım desenleri	82
3.19. Sezyum katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin $32-34^\circ$ aralığındaki x -ışını toz kırınım desenleri	83
3.20. a, b ve c -örgü parametrelerinin bor katkı miktarına göre değişimi.....	84
3.21. a, b ve c -örgü parametrelerinin lityum katkı miktarına göre değişimi	86
3.22. a, b ve c -örgü parametrelerinin sezyum katkı miktarına göre değişimi.....	87
3.23. Bor Katkı miktarı $x=0,005$ olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	89
3.24. Bor Katkı miktarı $x=0,01$ olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	90
3.25. Bor katkı miktarı $x=0,1$ olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	91
3.26. Lityum katkı miktarı $x=0,005$ olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü	93
3.27. Lityum katkı miktarı $x=0,01$ olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü	94
3.28 Lityum katkı miktarı $x=0,1$ olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü	95
3.29. Sezyum katkı miktarı $x=0,005$ olan $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü	97

3.30. Sezyum katkı miktarı $x=0,01$ olan $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	98
3.31. Sezyum katkı miktarı $x=0,1$ olan $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü.....	99
3.32. Katkısız YBCO bileşiğine ait EDS grafiği	100
3.33. $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) $x=0,005$, (b) $x=0,01$ ve (c) $x=0,1$ katkıları için EDS analizleri.....	101
3.34. $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) $x=0,005$, (b) $x=0,01$ ve (c) $x=0,1$ katkıları için EDS analizleri.....	103

SİMGELER DİZİNİ

A	Yüzey alanı
a_0	Abrikosov örgüsü
a, b, c	Birim hücre örgü parametreleri
h, k, l	Miller indisleri
d	Düzlemler arası uzaklık
e	Elektronun yükü
E	Elektrik alan
E_g	Yasak enerji aralığı
h	Planck sabiti
H	Manyetik alan
H_c	Kritik manyetik alan
H_{c1}	Alt kritik manyetik alan
H_{c2}	Üst kritik manyetik alan
I	Akım
I_c	Kritik akım
J	Akım yoğunluğu
J_c	Kritik akım yoğunluğu
k_b	Boltzman sabiti
κ	Ginzburg - Landau parametresi
L	Sıvı faz

ℓ	Uzunluk
m	Kütle
M	Mıknatıslanma
n	Toplam elektron yoğunluğu
n_s	Süperelektronların yoğunluğu
n_n	Normal elektron yoğunluğu
μ_0	Mobilite
ξ	Eşyuyum uzunluğu
λ_L	London nüfuz derinliği
ρ	Elektriksel özdirenc
Φ_0	Kuantumlanmış akı miktarı
T	Mutlak sıcaklık
T_c	Kritik geçiş sıcaklığı
x	Oksijen konsantrasyonu
V	Gerilim

KISALTMALAR DİZİNİ

EDS	Energy Dispersive Spectrometry
SEM	Scanning Electron Microscope
QMG	Quench – Melt – Growth
YBCO	$YBa_2Cu_3O_{7-y}$
YSS	Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

1. GİRİŞ

Bir katının elektriksel özdirencine birçok etkenin katkısı vardır. Elektronlar, kusursuz bir örgüye kıyasla, bir kristalde bulunan yapısal kusur veya kirlilik değişimlerinden dolayı saçılırlar. Ayrıca, normal modlardaki örgü iyonlarının katıda hareket eden ses dalgalarına benzer bir olayı meydana getiren titreşimleri vardır. Bu dalgalara *fonon* diyoruz. Sıcaklık arttıkça örgüde daha çok fonon oluşmaktadır. Bunun sonucunda da, iletim elektronlarını saçan ve daha fazla dirence sebep olan bir elektron - fonon etkileşmesi oluşur. Bu yüzden, sıcaklık azaldıkça katının elektriksel direnci azalmalıdır. Ancak, kristal kusurlarından dolayı mutlak sıfır civarında bile artık bir direnç beklenir. Bu nedenle, bazı katıların elektriksel direncinin yeterince düşük sıcaklıklarda tamamen yok olması, olağanüstü gibi görünmektedir. Bu noktada klasik fizik, oluşan bu davranış ve özelliklerin açıklanmasında yeterli olamamış, bu yüzden; kuantum fiziğinden yararlanılmıştır. Ancak bu açıklamalardan bazıları teoriden öteye geçememiştir.

Bir iletkendeki elektrik akımının şiddeti, uygulanan potansiyel farkına çizgisel olarak bağlıdır. Bu durum “Ohm Kanunu” ile açıklanır ve çizgisellik, 10^7 A/cm² gibi çok yüksek akım yoğunluklarında da gözükmemektedir⁽¹⁾.

Elektriksel direncin bir diğer kaynağı da ısıdır. Bir metal bir noktadan ısıtılırsa, serbest elektronlar, ısı enerjisini sıcak bölümden soğuk bölüme taşımada önemli rol oynarlar. Metal kristallerinin sıcaklıkları artırılırsa elektriksel dirençleri de artar. Çok düşük olmayan sıcaklıklarda elektriksel iletkenlik sıcaklıkla orantılı olarak yükselir. Metaller eridiklerinde, dirençleri genellikle ortalama iki kat yükselir⁽²⁾.

Elektriksel olarak en önemli malzemelerden birisi süperiletkenlerdir. Süperiletkenler; sıcaklıkları belli bir seviyeye düşürüldüğünde elektriksel dirençleri gözlenemeyecek kadar (yaklaşık sıfır) düşük maddelerdir. Süperiletken maddelerden yapılan **SQUID** adı verilen cihazlarla ($\sim 10^{-32}$ J'lük bir enerji ayırt edilmesi yapılabilmektedir ki bu da Planck sabiti mertebesine yakındır.) da dirençleri ölçülememiştir. Bu durum, elektrik akımının sıradan iletkenlerde dirençten doğan ve ısı olarak yayılan enerji kaybını engelleme olanağı verir.

1911 yılında ilk keşfedildiğinden beri birbirinden farklı yüzlerce malzemede süperiletkenlik gözlenmiştir ve her geçen gün bu maddelere bir yenisi daha eklenmektedir. Yaklaşık 100 yıllık çabaya rağmen bu malzemelerin kritik geçiş sıcaklıkları, (süperiletkenliğin ortaya çıktığı) oda sıcaklığına yaklaşamamıştır. Böyle bir süperiletken madde bulunduğunda, öncelikle, insanlık tarihinin en önemli enerji tasarruf imkânı kendiliğinden ortaya çıkacaktır.

1.1. Kaynak Özetleri

Levy⁽¹⁾ tarafından yazılan 1972 yılı basımı bu kitapta katıhal fiziğinin temelleri anlatılmakta olup, son bölümde süperiletkenlik başlığı altında süperiletkenliğin doğası, yapısı, uygulaması ve tarihçesi akıcı bir dille anlatılmaktadır.

Friedel ve Guinier⁽²⁾ tarafından 1963 yılında kaleme alınan bu eserde fiziğin temellerini teşkil eden katıhal fiziğine ve metallerde iletim konusuna değinilmiş olup, süperiletkenlerde iletimin oluşması ve süperiletkenliğin tarihi üzerine değinilmiştir.

Onnes⁽³⁾ tarafından 1911’de süperiletkenliğin keşfedilmesiyle ilgili yazılan ilk makale olup süperiletkenliğin keşfi ve oluşumu hakkında detaylı bilgi veren ilk kaynaktır.

Avcı⁽⁴⁾ tarafından 2002 yılında İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi’nce yüksek lisans tezi olarak kabul gören ve yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin özelliklerini, YBCO ince filmlerin hazırlanmasını ve Josephson kavşaklarının elde ediliş tekniğini anlatan bir kaynaktır.

Chu ve arkadaşları⁽⁵⁾ tarafından 1998 yılında kaleme alınan ve Physical Review Letters’da yayınlanan 114 K’de Bi-Al-Ca-Sr-Cu-O bileşiğinin süperiletkenliğini araştıran, aynı zamanda süperiletkenliğin oluşumu ile ilgili konulara da yer veren bir makaledir.

Serway⁽⁶⁾ tarafından 3 cilt olarak çıkarılan Serway Physics isimli kitabın 3.cilinde süperiletkenliğin doğası, oluşumu, temel esasları, teorileri, bulguları, uygulama alanları ve gelişimi üzerine açıklayıcı bilgilere yer veren, okuma parçaları ile de konu bütünlüğünü destekleyen eşsiz bir kaynaktır.

Meissner ve Ochsenfeld⁽⁷⁾ tarafından 1933’de kaleme alınan ve “Meissner Etkisi” olarak bilinen, süperiletkenliğin yeterince düşük sıcaklıklarda bir manyetik alan altında diamanyetik bir malzeme gibi davranmasını ve etrafındaki manyetik alanı dışlamasını konu alan eser, bu alanda yazılan ilk makale olma özelliğine sahiptir.

Bardeen, Cooper ve Schrieffer⁽⁸⁾ tarafından ortaya atılan “BCS Teorisi” süperiletkenliğin temelini teşkil eden ve I. tip süperiletkenler için destek gören önemli bir teoridir. 1957 yılında Physical Review Letters’da yayınlanan ve BCS teorisi üzerine yazılı ilk makale olma özelliğini taşımaktadır.

Josephson⁽⁹⁾ tarafından bulunan iki süperiletken arasına yerleştirilmiş yeterince ince bir yalıtıktan süperelektronların geçişini anlatan ve 1962 yılında Physical Review Letters’da yayınlanan bu alandaki ilk makale olma özelliğine sahiptir.

<http://www.superconductors.org> internet adresinde⁽¹⁰⁾ süperiletkenlikle ilgili teorik bilgilerin yanı sıra en son haberler, süperiletken olduğu bulunan element ve bileşikler ve bunların kritik geçiş sıcaklıkları ile bilinen diğer süperiletkenlere ait özelliklere yer verilmektedir.

Bednorz ve Müller⁽¹¹⁾ 1986 yılında lantanyum, baryum ve bakırın bir oksidinde 30 K’nin üzerinde süperiletkenliğin varlığını keşfettiler ve böylece, Yüksek Sıcaklık Süperiletkenliği fikri doğdu. 1986 yılında Z. Physics’de yayınlanan bu kaynak, bu alandaki ilk makaledir.

Akimitsu⁽¹²⁾ tarafından 2001 yılında MgB₂ alaşımının kritik geçiş sıcaklığının yaklaşık 40 K’de süperiletken olduğu açıklanmıştır. Bu kaynak 2001 yılında Physical Review Letters’da yayınlanan, bu alandaki ilk makaledir.

Kışçam⁽¹³⁾ tarafından yazılan ve 2005 yılında İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi’nce yüksek lisans tezi olarak kabul gören bu çalışmada Bi_{1,75-x}Pb_{0,25}Sb_xSr₂Ca₂Cu₃O_y sisteminde x katkı oranı (0,00, 0,05, 0,10, 0,15, 0,20) alınarak katkı oranının Onset sıcaklığına, süperiletkenlik ve yapısal özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Ginzburg ve Andryushin⁽¹⁴⁾ tarafından 2007 yılında yayımlanan “Superconductivity” isimli kitapta daha önceki serinin devamı niteliğinde olup yeniden düzenlenmiştir. Kitapta süperiletkenliğin doğasından başlayarak bugün (2007) gelinen noktaya kadar en ince ayrıntılarla işlenmiş temel prensiplere ve teorilere yer verilmiştir.

Yakıncı⁽¹⁵⁾ tarafından yazılan ve 1992 yılında University of Warwick tarafından yüksek lisans tezi olarak kabul edilen bu çalışmada kalın cam filmlerin yapımı ve seramik süperiletkenler hakkında ayrıntı bilgileri yer almaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

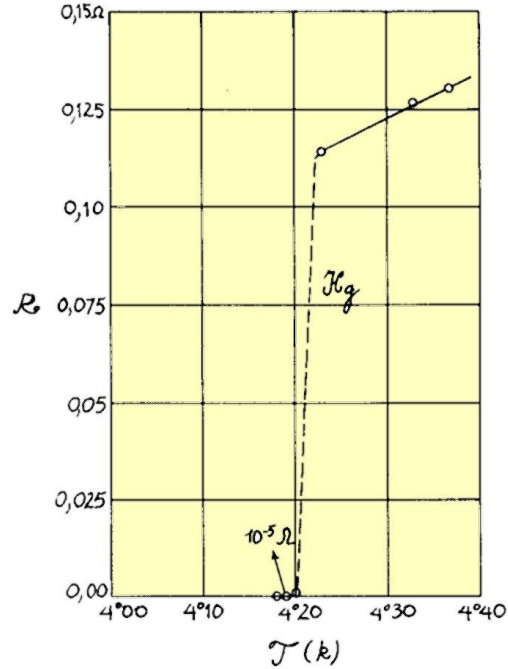
Bu çalışmada, klasik katıhal tepkime yöntemi ile hazırlanan B, Cs ve Li katkılı $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$, $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ve $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ süperiletken bileşiklerinin, x-ışını kırınım desenleri, SEM ve EDS analizleri ile elektriksel özdirenç ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri yardımıyla katkı miktarının numunenin yapısal ve elektriksel özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.3. Süperiletkenliğin Keşfi

Düşük sıcaklık fiziğinin tarihi, 1908 yılında Hollandalı fizikçi H. Kamerlingh Onnes'in kaynama sıcaklığı 4,2 K (-268,8°C) olan helyumu sıvılaştırması ile başlamıştır. O zamana kadar oksijen, azot ve hidrojen gazları sıvılaştırılmış fakat helyum henüz sıvılaştırılamamış son doğal gaz olarak kalmıştı. Temmuz 1908'de Onnes, çalışmaları sonucunda elde ettiği 60 cm³'lük sıvı helyumun yoğunluğunun suya göre çok daha düşük olduğunu yani, mutlak sıfır civarında, farklı bir fiziksel olayın ortaya çıktığını fark etti. Bundan sonra incelemelerinin yönünü değiştirerek, düşük sıcaklıklarda malzemelerin sistematik davranışı üzerine yoğunlaştı.

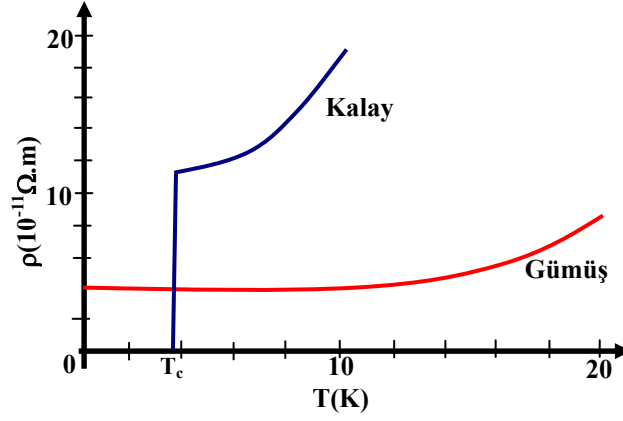
O sıralarda bir grup araştırmacı yeni keşfedilmiş sıvı helyumu kullanarak oda sıcaklığında (~ 300 K) mükemmel iletkenlik gösteren bakır (Cu), altın (Au) ve platinyumun (Pt) davranışını araştırmaya başladılar. Son derece düşük sıcaklıklarda bu metallerin direncinin belli bir noktada sabit kaldığını gözlemlediler. Bu davranışı da malzemedeki safsızlıklara bağladıkları için Onnes, saf olarak bulunması kolay olan cıvayı (Hg) deneylerinde kullanmaya karar verdi⁽³⁾.

1911 yılında H. K. Onnes ve yardımcısı Şekil 1.1’de görüldüğü gibi sıcaklığa bağlı olarak cıva direncinin beklenen bir Şekilde azaldığını, ancak 4,2 K’de $3 \times 10^{-6} \Omega$ gibi çok küçük bir değerin altına düştüğünü ve bu düşüşün %1 K’lik bir sıcaklık aralığında olduğunu gözlemledi. Bu olay “süperiletkenlik durumu” olarak adlandırıldı⁽⁴⁾.



Şekil 1.1 Cıva’da kritik sıcaklık ile direncin değişimi⁽⁵⁾

Onnes, bundan sonra süperiletkenliği farklı açılardan inceledi ve süperiletkenlerin davranışlarının, elektrik akımlarından, manyetik alanlardan ve en önemlisi sıcaklıktan etkilenebileceğini buldu. 1913 yılında da, bu alandaki çalışmalarından dolayı Nobel ödülüne lâyık görüldü⁽⁶⁾.



Şekil 1.2 Çok iyi iletken olan gümüş ile süperiletkenlik gösteren kalayın öz direncinin, sıcaklıkla değişimi (Ku, 1987)

1.4. Tarihsel Gelişme

Onnes'in keşfini izleyen yıllarda, pek çok metalin, T_c kritik geçiş sıcaklığı olarak adlandırılan bir sıcaklığın altında sıfır dirence sahip oldukları bulunmuştur.

Süperiletkenlerin manyetik özelliklerinin anlaşılması, elektriksel özelliklerinin anlaşılması kadar güç ve ilgi çekicidir. W. Hans Meissner ve Robert Ochsenfeld⁽⁷⁾ 1933 yılında süperiletkenlerin manyetik özelliklerini incelediler ve manyetik alanda soğutulan bir süperiletkenin kritik sıcaklık altına inildiğinde, manyetik akıyı dışladığını buldular⁽⁷⁾.

Bu araştırmacılar ayrıca bu malzemelerin, kritik $B_c(T)$ manyetik alanlarından daha büyük manyetik alanlarda süperiletkenlik özelliklerini kaybettiğini gözlediler. Bu etki; “Meissner Etkisi” olarak adlandırılmaktadır. 1945 yılında bir Rus fizikçi olan V. Arkadiev ilk olarak, Meissner etkisini kullanarak küçük bir mıknatısın süperiletken tarafından kaldırıldığını gözlemiştir.

Süperiletkenlikle ilgili sezgiye dayanan (phenomenological) bir teori, Frity ve Heine London tarafından 1935 yılında gerçekleştirilmiştir. Ancak süperiletkenliğin asıl doğası ve kökeni; John Bardeen, Leon N. Cooper ve J. Robert Schrieffer tarafından ilk defa 1957 de açıklanmıştır⁽⁸⁾. *BCS* teorisi olarak bilinen bu teorinin ana teması; iki elektron arasında “Cooper Çiftleri” olarak bilinen bağılı bir hâlin oluşmasıdır.

1972’de Nobel ödülü kazandıran *BCS* teorisi; matematiksel olarak karmaşıktır ve süperiletkenliği, elementler ve basit alaşımlar için mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda açıklar. Yani daha yüksek sıcaklıklarda ve farklı süperiletken sistemler için, süperiletkenliğin nasıl oluştuğunu açıklamada yetersizdir.

Brian D. Josephson⁽⁹⁾ 1962 yılında, 2 mm kalınlığında yalıtkan bir engel ile ayrılmış iki süperiletken arasında Cooper çiftleri tarafından taşınan tünelleme akımının oluşacağını öngörmüştür⁽⁹⁾. Josephson’un öngörüsü kısa bir süre sonra ispatlanmıştır. Bugün pek çok cihazın fiziksel olarak anlaşılması Josephson olayına dayanmaktadır. Josephson’un bu fikri daha sonraları en zayıf manyetik alanları bile dedekte edebilen bir alet olan SQUID gibi elektronik aletlere uygulanabilmiştir.

Bilinen elementlerin pek çoğu süperiletkenlik özellikleri açısından incelenmiş ve Şekil 1.3’de görüldüğü gibi bunların yarısı civarında süperiletkenlik gözlenmiştir. Bunlardan C, Nb, Tc ve V hariç hepsi I. tip süperiletkenlik özelliği göstermektedir.

Bilinen Süperiletken Elementler

1	IA	1	H	IIA	2	He																															
2		3	Li	4	Be	10	Ne																														
3		11	Na	12	Mg	13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar																				
4		19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
5		37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
6		55	Cs	56	Ba	*La	Hf	72	Ta	73	W	74	Re	75	Os	76	Ir	77	Pt	78	Au	79	Hg	80	Tl	81	Pb	82	Bi	83	Po	84	At	85	Rn		
7		87	Fr	88	Ra	+Ac	Rf	104	Ha	105	106	107	108	109	110	111	112																				

■ Hava Basıncı Altında
■ Yüksek Basınç Altında

* Lantanitler	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
+ Aktinitler	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Şekil 1.3 Bilinen süperiletken elementler⁽¹⁰⁾

1980’ler süperiletkenlik alanındaki buluşların en parlak dönemi oldu. 1964’de, Stanford Üniversitesi’nden Bill Little’ın organik (karbon - tabanlı) süperiletkenlerin olasılığını önermesinden sonra, bu teorik süperiletkenlerin ilki 1980’de, Kopenhag Üniversitesi’nden Danimarkalı araştırmacı Klaus Bechaard ve üç Fransız tarafından başarılı bir şekilde sentezlendi.

1986 yılı süperiletkenler için bir dönüm noktası olmuştur. IBM Laboratuvarlarında J. George Bednorz ve Karl Alex Müller⁽¹¹⁾; lantanyum, baryum ve bakırın bir oksidinde 30 K'nin üzerinde süperiletkenliğin varlığını haber verdiler. Böylece ilk seramik (metal olmayan, oksit bir malzeme) süperiletken malzeme yapılmıştır. Bu çalışmadan sonra süperiletkenlik için ilgi, seramik malzemelere kaymıştır.

Aynı yıllarda bir başka bir grup (Chu ve arkadaşları - 1987), kritik sıcaklık değerini malzeme üzerine uyguladıkları mekanik basınç (10000 Atm civarında) ile 52,5 K değerine çıkarmayı başarmışlardır. Daha sonra bu grup basınç uygulamak yerine kristal içine farklı atomlar koyarak yeni bileşikler sentezlemeye başlamışlardır⁽⁶⁾. Bu çalışmalarının birinde 1987 yılında lantan yerine yitrium kullanarak Y-Ba-Cu-O bileşiğini sentezlemişler ve 92 K'lik kritik sıcaklık değerine ulaşmayı başarmışlardır. Bu malzemenin keşfinin bir başka önemi, kritik sıcaklık değerine ulaşmak için sıvı helyum (4 K) yerine sıvı azotun (77 K) kullanılmasına imkân vermiş olmasıdır. Sıvı azotun kullanım maliyetinin daha düşük olması nedeni ile süperiletken malzemelerin endüstride kullanımı da önemli miktarda artmıştır. Böylece, yeni bir dönem olan “Yüksek Sıcaklık Süperiletkenliği” ne geçilmiştir. Bu çalışmaları ile J. G. Bednorz ve K. A. Müller, 1987 yılında Nobel fizik ödülünü almışlardır.

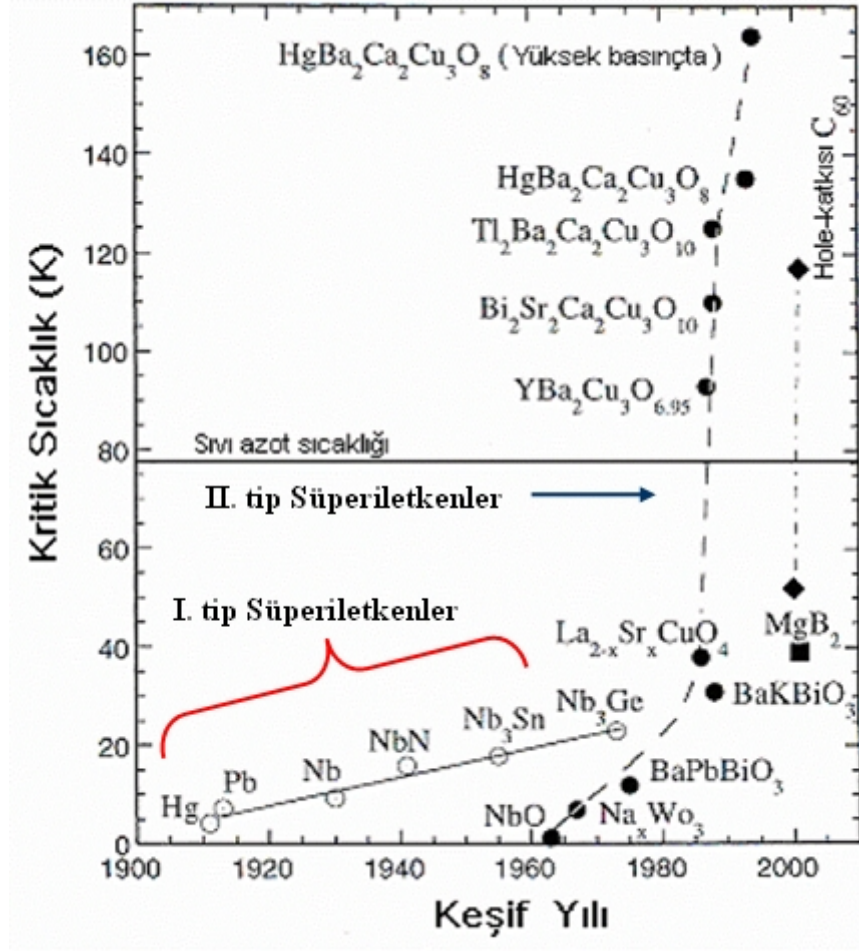
Bu çalışma ile birlikte dünyanın birçok yerinde bilim adamları seramik malzemeler üzerine çalışmaya başlamışlar ve yapılan çalışmalar sonucunda sırası ile $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$ (BSCCO) ile 110 K, $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (TBCCO) ile 125 K, $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$ ile 138 K kritik geçiş sıcaklıklarına ulaşmışlardır.

Bu arada 1979 yılından 2001 yılına kadar geçen süre zarfında saf metal ve metal alaşımlar üzerinde önemli bir adım atılamamıştır. Bunun nedeni ise; özellikle 1986 yılından itibaren oksit bazlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerin keşfi ile çalışmaların bu sistemler üzerinde yoğunlaşması olarak gösterilmektedir.

2001 yılında ise; Prof. J. Akimitsu⁽¹²⁾ tarafından MgB_2 alaşımının $T_c \approx 40$ K'de süperiletken olduğunun açıklanması ile birlikte bilim dünyasında ilgi tekrar metal alaşımlar, özellikle de bor alaşımları üzerine yönelmiştir.

MgB_2 bileşiğinin süperiletkenlik özelliğinin keşfinden bugüne kadar yapılan teorik ve deneysel çalışmalar BeB_2 , CaB_2 gibi izoelektronik sistemlerin, geçiş metali diborürlerinin, $Mg_{1-x}Li_xB_2$, $Mg_{1-x}Na_xB_2$, $Mg_{1-x}Cu_xB_2$ gibi deşik (hole) katkılanmış sistemlerin ve AgB_2 , AuB_2 şeklindeki soy metal diborürlerinin de MgB_2 'deki gibi yüksek T_c değerlerine sahip olup olmadıkları yönünde olmuştur. Sonuçlar, MgB_2 'nin bor alaşımları içerisinde en yüksek kritik sıcaklık değeri ile tek olduğunu göstermektedir.

Şekil 1.4'de tarihsel gelişim sürecinde bazı element ve bileşiklerin kritik geçiş sıcaklıkları gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Süperiletkenlerin keşif tarihleri ve kritik geçiş sıcaklıkları, düz çizgiler I. tip süperiletkenleri, kesikli çizgiler ise II. tip süperiletkenleri temsil etmektedir.⁽¹³⁾

1.5. Süperiletkenlerin Bazı Temel Özellikleri

Süperiletkenlerin iki belirleyici özelliği vardır:

1- Madde içerisindeki elektrik akımı, madde yapısını oluşturan iyon örgüleriyle çarpışması sonucu engellenir. Bu olay, maddenin elektrik akımına karşı gösterdiği direnci oluşturur. Süperiletken bir maddede ise, bu iyon örgüsü, elektrik akımını engellemek yerine, ona destek olur. Bu sayede direnç, sıfıra iner.

2- Süperiletkenler; yakınlarında bulunan bir manyetik alanı dışlarlar. Yani; bir mıknatıs, kritik sıcaklığın altındaki bir süperiletkeni, sanki karşısında ters kutuplu bir mıknatıs varmış gibi iter.

Günümüzde 7500'den fazla süperiletken malzeme bilinmektedir⁽¹⁴⁾ ve bu sayı her geçen gün artmaktadır. Genellikle, elementlerden daha çok alaşım ve bileşik süperiletkenler vardır. Bugüne kadar bilinen en yüksek kritik sıcaklık 9,26 K ile niobiyum elementi ve en düşük kritik sıcaklık 0,000325 K ile rodyum (Rh) elementidir.

1.5.1. Sıfır Direnç ve Geçiş Sıcaklığı

Metaller ve alaşımlar soğutulduklarında elektriksel dirençleri düşer. Bir iletkende akım, metal içerisinde serbestçe hareket eden “iletim elektronları” tarafından taşınır. Elektronlar dalga doğasına sahiptir ve metal içinde ilerleyen bir elektron, aynı doğrultuda ilerleyen bir düzlem dalga tarafından temsil edilebilir. Böylece elektronlar, düzgün tekrarlanan örgülü kristal yapıya sahip bir metal içerisinde, toplam momentumları sıfır olacak şekilde serbestçe ilerleyebilirler. Kristal örgüde safsızlık atomları ve diğer kusurların rasgele yayılması kusursuz periyodikliği bozar. Isısal titreşimler ve bu nedenlerden dolayı iletkenlik elektronları bu ortamlarda ilerlerken elektriksel dirençleri artar. Sıcaklık düşürüldüğünde atomların ısısal titreşimleri azalır ve iletkenlik elektronları daha az sıklıkla saçılır. Ortalama serbest yolları artar⁽¹⁵⁾.

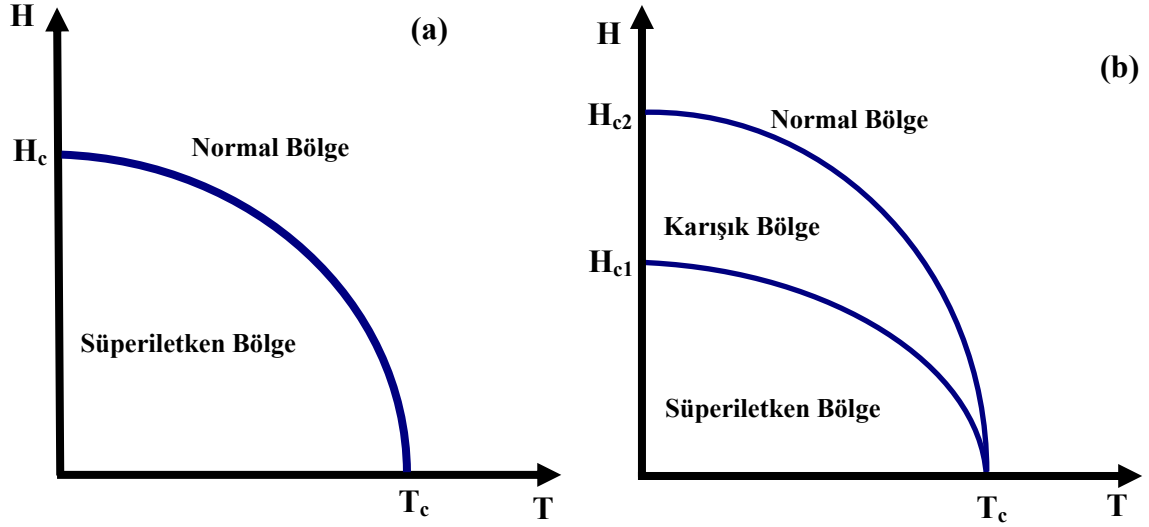
Süperiletkenler soğutulduklarında elektriksel dirençleri metallerinkine benzer şekilde azalır. Sıcaklık belli bir kritik değerin altına düşürüldüğünde, elektriksel direncin bütün etkileri aniden kaybolur. Madde ne kadar katkılı olursa olsun süperiletkenlik durumuna geçiş gözlenebilir.

1.5.2. Kritik Manyetik Alan (H_c)

Süperiletkenliğin en önemli özelliklerinden biri de kritik manyetik alandır. Süperiletken bir madde, dış manyetik alana konulduğunda, uygulanan bu manyetik alana karşı koyar. Ancak bu alan, belli bir değerden daha yüksek olursa maddenin süperiletkenlik özelliği kaybolur. Bu kritik değere, “kritik manyetik alan” denir ve H_c ile gösterilir. II. tip süperiletkenlerde ise H_{c1} ve H_{c2} değerleri vardır. Kritik manyetik alan; sıcaklığa ampirik olarak;

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (1.1)$$

şeklinde bağlıdır⁽¹⁵⁾ ve Şekil 1.5’de gösterildiği gibi değişir.



Şekil 1.5 Sıcaklık ile kritik manyetik alanın (a) I. tip süperiletkenlerde ve (b) II. tip süperiletkenlerdeki değişimi

Burada; $H_c(0)$ mutlak sıfırdaki kritik manyetik alan olup, ekstrapolasyonla belirlenir. Her süperiletkenin kendisine özgü $H_c(0)$ değeri vardır. Bu denklem kullanılarak herhangi bir sıcaklıktaki kritik alan değeri bulunabilir.

Çizelge 1.1’de bazı süperiletkenlerin kritik geçiş sıcaklıkları ve kristal yapıları gösterilmektedir.

Çizelge 1.1 Bazı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin geçiş sıcaklıkları, kristal yapıları, birim hücredeki CuO₂ Sayıları (n) ve örgü parametreleri⁽¹⁶⁾

Yapı	Faz	Kritik Sıcaklık (K)	n	Kristal Yapı	Örgü Parametreleri (Å)
La _{1,6} Ba _{0,4} CuO ₄	214	30	1	Tetragonal	$a=3,79$; $c=13,21$
La _{2-x} Sr _x CuO ₄	214	38	1	Tetragonal	$a=3,78$; $c=13,23$
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	123	92	2	Ortorombik	$a=3,82$; $b=3,89$; $c=11,68$
YBa ₂ Cu ₄ O ₈	124	80	2	Ortorombik	$a=3,84$; $b=3,87$; $c=27,23$
Y ₂ Ba ₄ Cu ₇ O ₁₄	247	40	2	Ortorombik	$a=3,85$; $b=3,87$; $c=50,2$
Bi ₂ Sr ₂ CuO ₆	Bi-2201	20	1	Tetragonal	$a=5,39$; $c=24,6$
Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O ₈	Bi-2212	85	2	Tetragonal	$a=5,39$; $c=30,6$
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	Bi-2223	110	3	Tetragonal	$a=5,39$; $c=37,1$
TlBa ₂ CuO ₅	Tl-1201	25	1	Tetragonal	$a=3,74$; $c=9,00$
TlBa ₂ CaCu ₂ O ₇	Tl-1212	90	2	Tetragonal	$a=3,85$; $c=12,74$
TlBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₉	Tl-1223	110	3	Tetragonal	$a=3,85$; $c=15,87$
TlBa ₂ Ca ₃ Cu ₄ O ₁₁	Tl-1234	122	4	Tetragonal	$a=3,86$; $c=19,01$
Tl ₂ Ba ₂ CuO ₆	Tl-2201	80	1	Tetragonal	$a=3,86$; $c=23,22$
Tl ₂ Ba ₂ CaCu ₂ O ₈	Tl-2212	108	2	Tetragonal	$a=3,86$; $c=29,39$
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	Tl-2223	125	3	Tetragonal	$a=3,85$; $c=35,9$
HgBa ₂ CuO ₄	Hg-1201	94	1	Tetragonal	$a=3,87$; $c=9,51$
HgBa ₂ CaCu ₂ O ₆	Hg-1212	128	2	Tetragonal	$a=3,85$; $c=12,66$
HgBa ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	Hg-1223	134	3	Tetragonal	$a=3,85$; $c=15,78$

1.5.3. Kritik Akım Yoğunluğu (J_c)

Süperiletkenliğin ortadan kalkmasına neden olan etkenlerden biri de akımdır. Bir süperiletkenden akan akım J_c olarak adlandırılan, kritik akım yoğunluğu değerini geçtiği zaman süperiletkenlik ortadan kalkar⁽¹⁷⁾.

Direnç ilk olarak yüzeyin herhangi bir kısmında toplam manyetik alan değeri, kritik manyetik alan değeri H_c 'ye yaklaştığında görülür. Ancak cisimlerin geometrik şekilleri nedeniyle manyetik alan tüm yüzeylere aynı oranda etki etmeyebilir. Mesela; manyetik alandaki bir kürenin ekvator çevresi manyetik akı çizgilerinin yoğunluğu nedeniyle kritik manyetik alan H_c değerine daha çabuk ulaşarak ekvator çevresini normal hâle geçirir ve diğer bölgeler süperiletken olmaya devam eder. Ancak bu durum II. tip süperiletkenlerdeki süperiletken-normal durum geçişleri ile karıştırılmamalıdır^(18,19).

Kritik akım yoğunluğunu incelemek için silindirik yapıda ve r yarıçaplı yeterince ince ($r = \lambda$) süperiletken bir tel düşünelim. Bu telden I akımı geçirilirse Amper Yasasına göre;

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I \quad (1.2)$$

süperiletken teli çevreleyen bir H alanı oluşur. H değeri, kritik H_c değerine ulaştığında; teldeki akım da kritik değerine ulaşmış olur.

Çünkü kritik akım, süperiletkende kritik manyetik alan oluşturan akımdan büyük olamaz. Şekil 1.6'da kritik akım yoğunluğunun manyetik alan ve sıcaklığa bağlı değişimini gösteren kritik faz diyagramı bulunmaktadır.

Kritik akım durumunda tel, süperiletken olma özelliğini tamamen kaybeder ve bu durumda kritik akım:

$$I_c = 2\pi r \frac{H_c}{\mu_0} \quad (1.3)$$

ve kritik akım yoğunluğu da;

$$J_c = 2 \left(\frac{H_c}{\mu_0 r} \right) \quad (1.4)$$

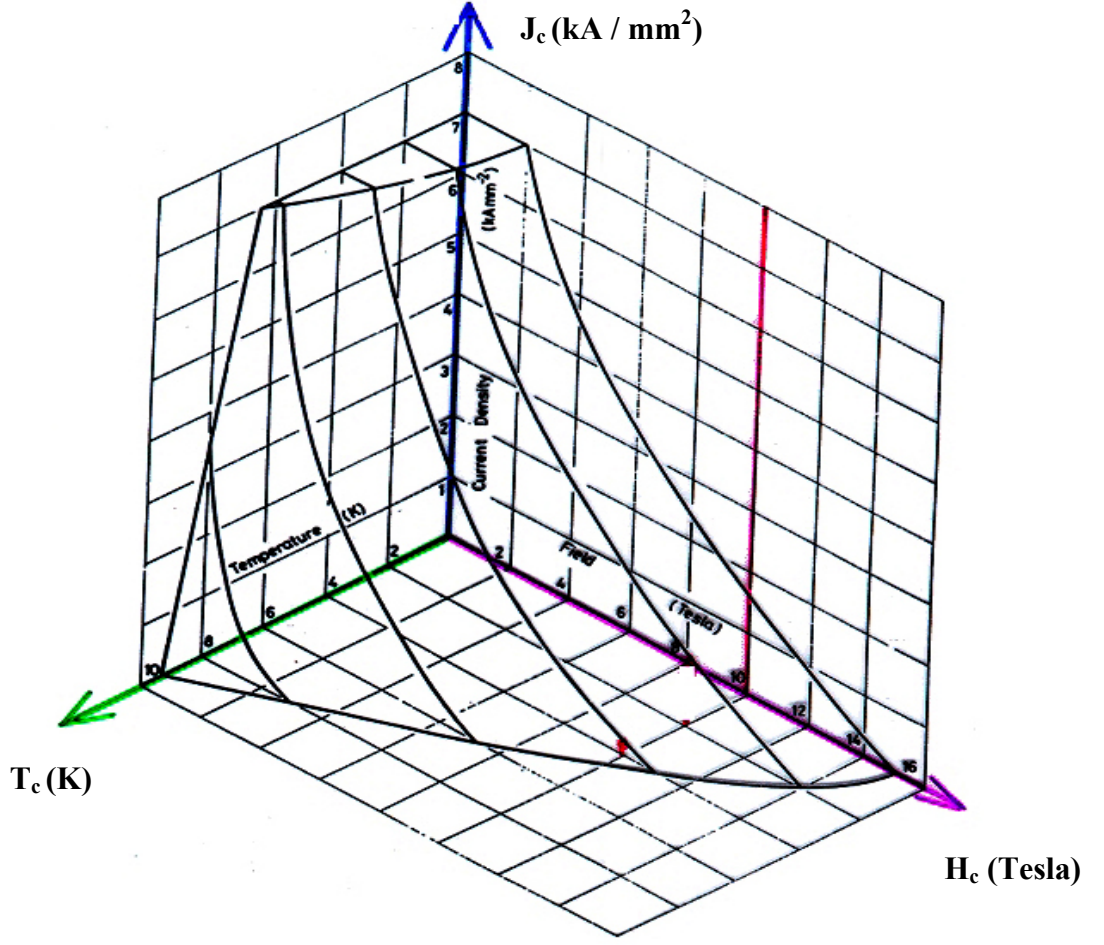
şeklinde ifade edilir.

Histerezis eğrilerinden yararlanarak yarı teorik akım yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılan denklemler;

$$J_c = \frac{30\Delta M}{d} \quad (1.5)$$

$$J_c = \frac{20\Delta M}{\left(1 - \frac{a}{3b}\right) \cdot a} \quad (1.6)$$

olup; **Bean formülü** olarak bilinirler⁽²⁰⁾.

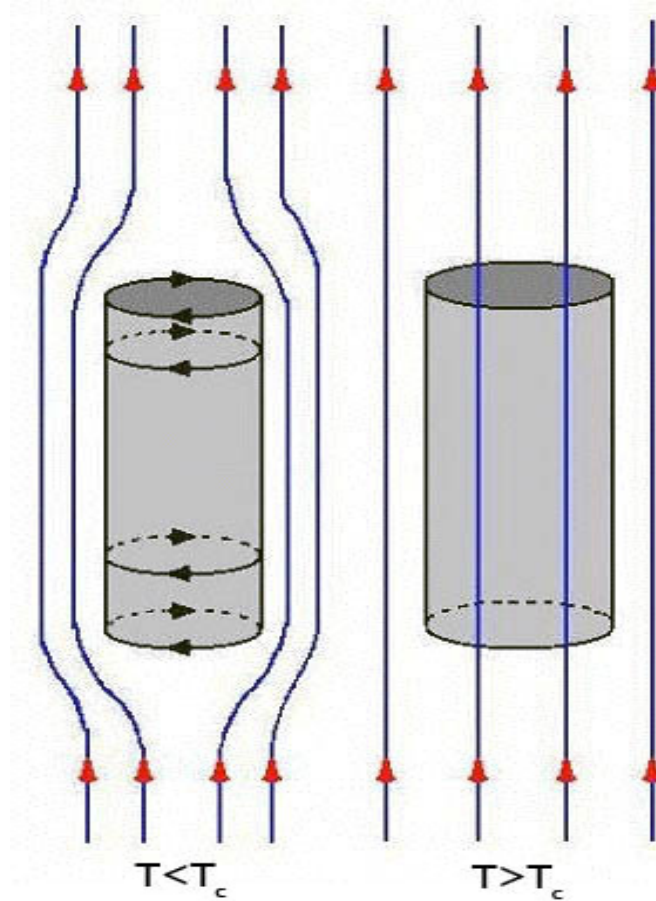


Şekil 1.6 Niobiyum – Titanyum ticari süperiletken alaşımının H_c , J_c ve T_c faz diyagramı⁽¹⁷⁾

II. tip süperiletkenlerin keşfine kadar ki süreçte; I. tip süperiletkenler yüksek akımlar taşıyamadıkları için, pratikte kullanılmamışlardır. II. tip süperiletkenlerin keşfi ile I. tip ve II. tip süperiletkenlerin taşıyabildikleri akım değerleri arasında büyük fark görülmüş böylece hem II. tip süperiletkenler üzerine çalışmalar yoğunlaşmış hem de endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanılmışlardır.

1.5.4. Meissner Etkisi

1933 yılında, iki Alman fizikçi, Walther Meissner ve Robert Ochsenfeld, süperiletkenlerin manyetik özelliklerine ilişkin çarpıcı bir olay gözlediler. Kullandıkları deney setiyle, süperiletkenlerin; özellikle normal hâlden süperiletkenliğe geçişleri sırasında ortaya çıkan manyetik özelliklerini incelediler. Bir manyetik alan içerisine süperiletken malzemeden yapılmış bir silindir yerleştirdiklerinde, manyetik alanın süperiletken silindirden geçemediğini ve silindirin manyetik alanı âdeta bir mıknatıs gibi dışladığını gözlediler.



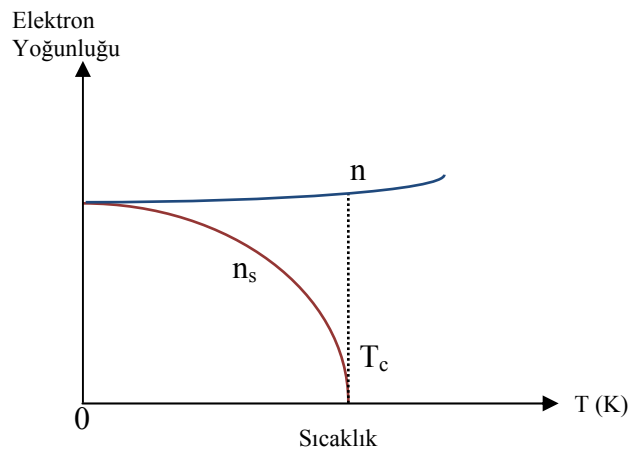
Şekil 1.7 Meissner etkisinin şematik gösterimi⁽²¹⁾

Uygulanan \vec{H} manyetik alanı, süperiletken yüzeyinde bir akım indükler ve bu akımın yarattığı manyetik alan, dış manyetik alana karşı koyar.

Bir manyetik alana zıt yönlü bir manyetik alanla karşılık veren malzemeler diamanyetik olarak tanımlanır. Çoğu malzeme, çok az da olsa diamanyetik özellik gösterir. Süperiletkenlerde bu özellik en şiddetli biçimde gözlenir⁽²¹⁾.

1.6. İki – Akışkan Modeli

Süperiletkenliği açıklayabilmek için birçok model geliştirilmiştir. Bunlardan birisi 1934 yılında Gorter ve Casimir tarafından geliştirilen iki-akışkan modelidir. Bu modelde; n_s süperiletkenlik elektronları ve n_n , normal hâl elektronlarını göstermek üzere toplam elektron yoğunluğu; $n = n_s + n_n$ biçiminde ifade edilir. Sıcaklık 0 K'den T_c 'ye doğru artarken süperiletkenlik elektronları Şekil 1.8'de gösterildiği gibi toplam elektron yoğunluğundan sıfıra doğru bir azalma gösterir.



Şekil 1.8 Süperiletkenlik elektronlarının sıcaklıkla değişim grafiği (V. V. Schmidt's)

Bu durumda sıcaklığa bağı olarak süperelektronların sayısı;

$$n_s = n \cdot \left[1 - \left(\frac{T}{T_s} \right)^4 \right] \quad (1.7)$$

ile ifade edilir ve $T = T_c$ iken yani, normal hâle geçiş hâlinde, $n_s = 0$ olur.

Süperelektronlar, herhangi bir saçılmaya maruz kalmadıkları gibi dirençleri de sıfırdır. Meissner olayında -1 'e eşit bir duyarlılığın ortaya çıkması ve ince filmlerde söz konusu manyetik alan çizgilerinin malzemeye nüfuz ettiğinin gözlenmesi üzerine; Fritz ve Heinz London, iki-akışkan modelinden yola çıkarak, mükemmel iletkenlik ve Meissner etkisi gibi süperiletkenliğin iki temel özelliğini teorik olarak açıklamaya çalışmışlardır. Araştırmalarına, süperiletkenlik elektron yoğunluğu üzerinde fark edilebilir derecede bir etkiye sahip olmayacak kadar zayıf elektrik ve manyetik alanların bulunduğunu ve buna bağı olarak n_s yoğunluğunun her yerde aynı olduğunu kabul ederek başlamışlardır. Sonuçta; akım ile elektrik ve manyetik alan arasında lineer bir ilişki belirlenmiş ve “London Eşitlikleri” olarak isimlendirilmiştir.

1.7. London Denklemleri

Zayıf elektrik ve manyetik alanların varlığında, n_s 'nin her yerde aynı olduğu kabul edilir. Bu durumda akım, elektrik ve manyetik alan arasındaki ilişki lineerdir ve London Eşitlikleri olarak tanımlanır. Özdirenç sıfırken, dışarıdan bir \vec{E} elektrik alanı uygulandığında, serbest elektron için hareket denklemi (1.8) bağıntısında gösterilmiştir.

$$m \frac{dV_s}{dt} = -eE \quad (1.8)$$

Süperelektronlar bir saçılmaya maruz kalmadıklarından dolayı, saçılma ile ilgili terimler yoktur.

Süperakım yoğunluğu;

$$J_s = n_s e V_s \quad (1.9)$$

şeklinde yazılıp, bu eşitliğin zamana göre türevi alınır; elektrik alan ve akım yoğunluğu arasında;

$$\frac{dJ_s}{dt} = n_s e \frac{dV_s}{dt} \quad (1.10.a)$$

$$\frac{dJ_s}{dt} = \frac{n_s e^2}{m} E \quad (1.10.b)$$

bağıntıları elde edilir. Denge durumunda akım yoğunluğu J_s sabit olacağı için, değişim sıfıra eşit olacaktır. O hâlde; malzeme içinde elektrik alan sıfır olmalıdır.

Yani,

$$\frac{dJ_s}{dt} = 0 \Rightarrow E = 0 \quad (1.10.c)$$

$$\vec{V} \times J_s = -\frac{1}{\lambda_L^2} \vec{H} \quad (1.11.a)$$

$$H(x) = H(0)e^{-x/\lambda} \quad (1.11.b)$$

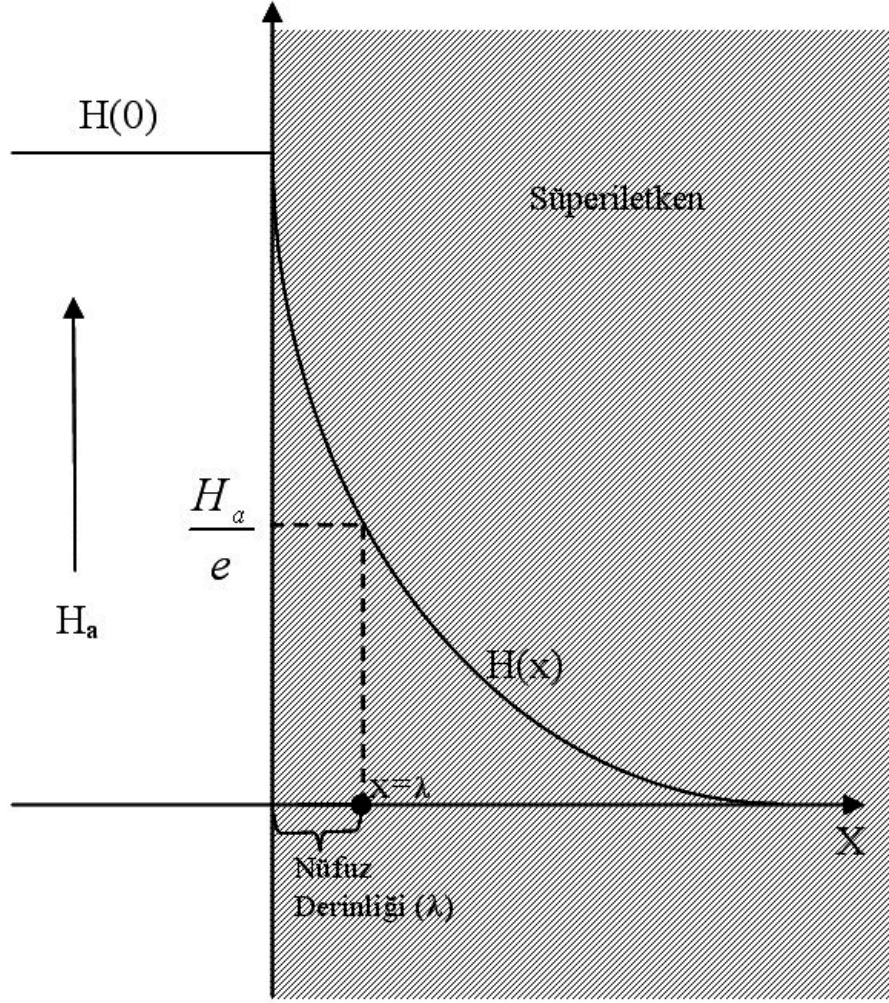
(1.11.b) denkleminde $x = \lambda$ yazılırsa;

$$H(x) = H(0)e^{-1} \quad (1.11.c)$$

$$H(x) = \frac{H(0)}{e} \quad (1.11.d)$$

Yani, dışarıdan uygulanan alanın $1 / e$ 'sine düştüğü alan değeri λ 'dır. Denklem 1.11.a. süperiletkenler için “**Ohm Yasası**” olarak kabul edilebilir. London teorisi akının yüzeye yakın bölgelere nüfuz ettiğini ifade eder. Bu mesafe “London Nüfuz Derinliği (λ_L)” olarak adlandırılır ve değişimi Şekil 1.9'daki gibidir. Nüfuz derinliği denklem (1.12) uyarınca sıcaklık ile değişir.

$$\lambda_{(T)} = \lambda_{(0)} \sqrt{1 - \left[\frac{T}{T_c} \right]^4} \quad ; \quad \lambda_{(0)} = \sqrt{\frac{m}{\mu_0 n_s e^2}} \quad (1.12)$$



Şekil 1.9 Uygulanan manyetik alanın bir süperiletken içerisine girişi⁽²¹⁾

Dış manyetik alan süperiletken madde içerisinde üstel olarak azalır. Geçiş sıcaklığına gelindiğinde, çiftlenmiş elektron sayısında azalma gözlenir ve bunun sonucunda nüfuz derinliği artar. Oksit süperiletkenler için bilinen nüfuz derinlikleri, LaBaCuO için 1200 Å, YBCO için 1400 Å mertebesindedir. Yüzeyde oluşan akımın süperiletken içindeki manyetik akıyı yok etmesi de bu teorinin önemli bulgularından biridir⁽²²⁾.

1.8. Ginzburg – Landau Teorisi

1950 yılında Ginzburg ve Landau'nun bazı varsayımlara dayandırdıkları bu teori, sıfır manyetik alanda faz geçişini doğru olarak tanımlamıştır⁽²³⁾. Ginzburg ve Landau, sıcaklığa bağlı nüfuz derinliği λ 'nın yanı sıra yine sıcaklığa bağlı eş uyum uzunluğu ξ 'yi teorik olarak elde etmişlerdir. Ginzburg–Landau Parametresi olarak bilinen κ , bu iki uzunluğun oranıdır.

$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} \quad (1.13)$$

κ değerinin belirli bir değerden büyük veya küçük olması, malzemenin süperiletkenlik tipinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: ara durumda; normal ve süperiletken bölgeler arasındaki sınırdaki geçiş aniden olmaz. Akı; süperiletken yüzeyden bir miktar, nüfuz derinliği kadar girebilmektedir ve bu sınırdaki $\kappa \ll 1$ durumu pozitif yüzey enerjisine, bu pozitif yüzey enerjisi de I. tip süperiletkenliğe işaret ederken, $\kappa \gg 1$ durumu negatif yüzey enerjisine ve dolayısıyla II. tip süperiletkenlik gösterir. Yani,

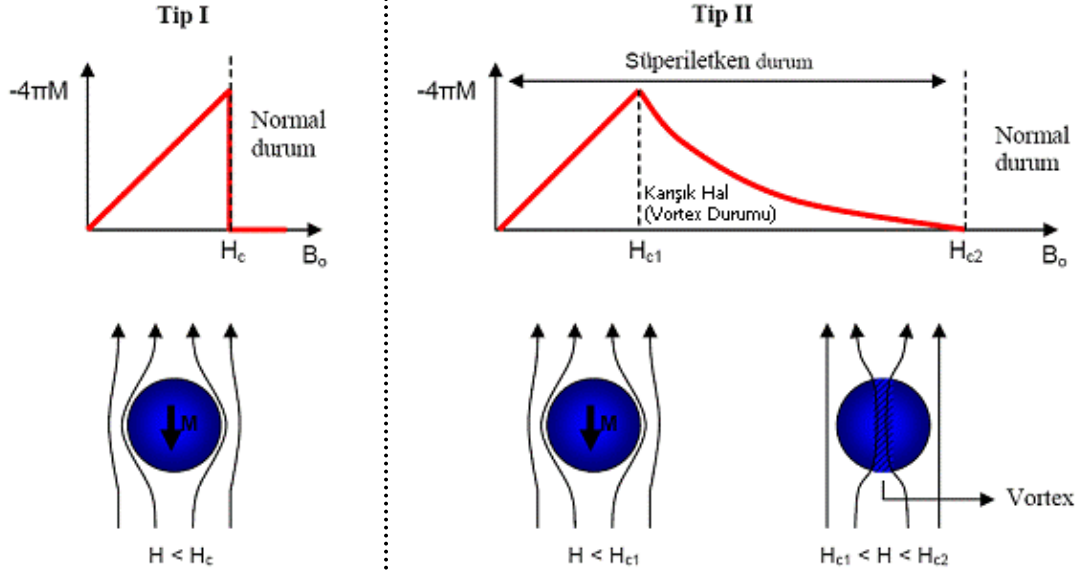
$$\frac{\xi}{\lambda} \begin{cases} > \sqrt{2} & \text{ise; } I. \text{ tip} \\ < \sqrt{2} & \text{ise; } II. \text{ tip} \end{cases}$$

Normal durumdan süperiletken duruma geçiş, bir faz dönüşümü olarak düşünülebilir. Bu geçişte bir ara yüzey ortaya çıkar. Geçiş sırasında bu yüzeyde bir enerji oluşur. Yüzey enerjisinin pozitif veya negatif olması süperiletkenliğin tipini belirler. Pozitif ise I. tip süperiletken, negatif ise II. tip süperiletkendir.

1.9. I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler

Bir manyetik alan içindeki davranışlarına göre süperiletkenler; I. ve II. tip olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Süperiletkenlik özelliği gösteren niobiyum (Nb) ve vanadyum (V) dışında tüm metalik elementler I. tip süperiletkendir. Nb ve V elementleri ve süperiletkenlik özelliği gösteren tüm alaşım ve bileşikler II. tip süperiletkendir. Tüm yüksek sıcaklık süperiletkenleri II. tip süperiletken sınıfına girerler.

Bu iki tip süperiletkenlerde temel mekanizma, yani; elektron-fonon-elektron etkileşmesi aynıdır. Sıfır manyetik alandaki süperiletken-normal durum geçiş özellikleri de benzerdir. İyi bir I. tip süperiletken H_c kritik manyetik alan değerine kadar tümüyle diamanyetik olup, manyetik alanı dışlar. H_c 'den büyük bir alan değerinde ise; Şekil 1.10'da görüldüğü gibi süperiletken durum aniden ve tamamen ortadan kalkar. İyi bir II. tip süperiletken ise; H_{c1} alan değerine kadar benzer şekilde davranır⁽⁸⁾. Ancak H_{c1} 'den daha büyük bir alan uygulandığında süperiletkenlik hemen ortadan kalkmaz. H_{c1} 'den büyük alanlarda manyetik alan kısmen dışlanır, fakat numune, elektriksel olarak süperiletken olma özelliğini belirli bir miktar sürdürür.

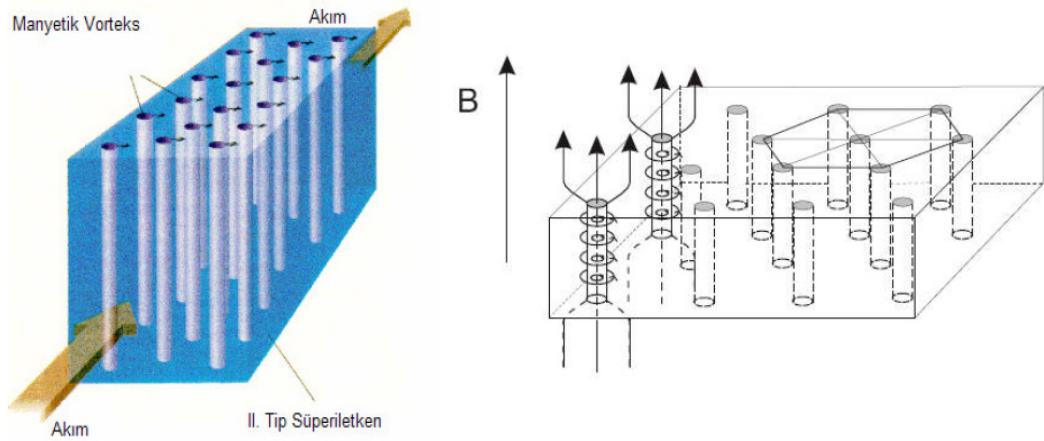


Şekil 1.10 I. ve II. tip süperiletkenlerin manyetik alan içerisindeki davranışları⁽²⁴⁾

Yüksek bir H_{c2} alan değerinden sonra dış akı tamamen numune içine girmeye başlar ve süperiletkenlik ortadan kalkar. I. tip süperiletkenlerin kritik H_c değerleri çok düşük olduğundan süperiletken mıknatıs yapımında kullanışlı değildir. II. tip süperiletkenler, genellikle normal durumda yüksek öz dirence sahip, yani elektronik ortalama serbest yolları küçük olan alaşım veya geçiş metallere aittir.

I. ve II. tip süperiletkenler arasındaki önemli farklılıklardan biri de; normal durumda iletim elektronlarının ortalama serbest yollarının farklı olmasıdır. I. tip süperiletkenler için eş uyum uzunluğu, nüfuz derinliğinden büyüktür. Ortalama serbest yol küçükse, eş uyum uzunluğu da küçük olur, ancak nüfuz derinliği büyür. O zaman süperiletken II. tip olur.

II. tip süperiletken H_{c1} 'den H_{c2} 'ye kadar olan bölge boyunca normal ve süperiletken bölgelerden oluşan karışık bir durumda olup buna “girdap durumu” denir^(19,21). Deneysel gözlemlere göre bu durumda numune; süperiletken bir hacim içinde yer alan ince çubuklardan (manyetik akı) veya küçük dairesel bölgelerden oluşur (Şekil 1.11). Normal iletken durumundaki bu küçük bölgelere; **fluxoid** adı verilir. Bunların varlıkları elektron mikroskobu ile görülebilir. Girdap durumunda dış manyetik alan girdap içine düzgün bir şekilde girer. Ayrıca onu çevreleyen süperiletken madde içine de λ nüfuz derinliğine kadar az da olsa girebilir.



Şekil 1.11 Süperiletken içersindeki akı tüpleri ve oluşan akı girdapları^(24,25)

H_{c2} değerinin yüksek olması, yüksek manyetik alan sağlayan süperiletken magnetlerin yapılmasına imkân verdiğinden, II. tip süperiletkenler teknolojik uygulamalarda önemlidir.

Uygulanan manyetik alan değeri artırılırsa malzeme içerisindeki girdap sayısı da artar. H_{c2} alan değerinde meydana gelen girdaplar üst üste binerler ve malzeme süperiletken fazdan normal faza geçiş yapar. Malzeme içerisinde oluşan girdaplar altıgen (hexagonal) bir yapı oluştururlar (Şekil 1.11). Bu yapının örgü parametresi a_0 , uygulanan manyetik alana bağlıdır. Bu yapı ilk olarak Abrikosov tarafından teorik olarak bulunduğu için; “Abrikosov örgüsü” de denir ve

$$a_0 = \sqrt{\frac{\Phi_0}{H}} \quad (1.14)$$

ile verilir.

Burada Φ_0 her bir girdaptaki kuantumlanmış akı miktarıdır ve değeri

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2,067 \cdot 10^{-15} \text{ Weber} \quad (1.15)$$

kadardır. Burada h , Planck sabiti ve e , elektronun yüküdür. Manyetik indüksiyon, m^2 başına girdap sayısı olan n ile doğrudan

$$H = n\Phi_0 \quad (1.16)$$

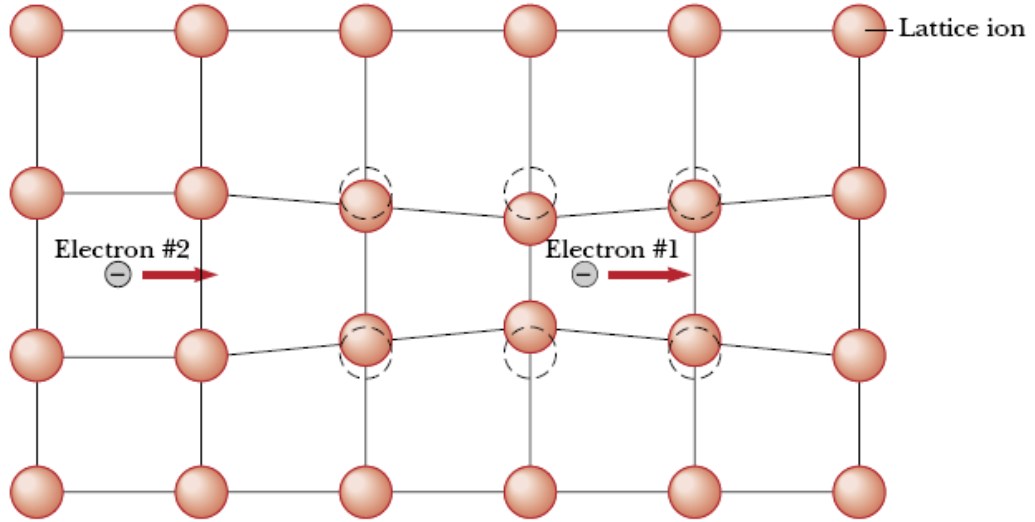
şeklinde ilişkilidir⁽²⁶⁾.

Süperiletken malzemeye bu kısmî akı girmesi sayesinde, malzeme, normal hâle dönmeksizin, uygulanan güçlü manyetik alanlara karşı dayanabilir. Süperiletkenlik, bu karışık hâlde üst kritik alan H_{c2} 'ye kadar devam eder. H_{c2} 'nin değeri, yüksek geçiş sıcaklığına sahip oksit süperiletkenler için, yaklaşık olarak 150 Tesla kadar büyük olabilir. H_{c2} 'den daha büyük alanlarda, süperiletken normal hâle döner⁽²⁶⁾.

1.10. Süperiletkenliğin Mikroskobik Modeli

1950’de örgü titreşimlerinin süperiletkenlikte etkin rol oynadıkları ve elektron-fonon etkileşmesinin süperiletkenliğe neden olabileceği anlaşıldıktan sonra 1957 yılında süperiletkenliğin ilk mikroskobik kuantum teorisi John Bardeen, Leon Cooper ve John Schrieffer tarafından oluşturuldu ve *BCS Teorisi* olarak adlandırıldı^(27,28).

Bu teorinin özü; Fermi yüzeyine yakın dar bir enerji aralığında bulunan elektronlar arasındaki net bir çekimsel etkileşme olup, mutlak sıfır civarındaki süperiletkenliği açıklamaya yöneliktir. Bu teoriye göre, her elektron zıt momentum ve spine sahip diğer bir elektron ile çiftlenmiş olup bunlar “Cooper çifti” olarak anılırlar. Elektronlar; zıt momentum ve spine sahip oldukları zaman bağlanma enerjileri en büyük değerini almaktadır. Elektronlar arasındaki bu çekim etkileşmesi, taban (süperiletken) durumu, üst (normal) durumdan ayıran bir enerji aralığı oluşturur. Bu enerji aralığı Fermi enerji düzeyine yerleşmiştir⁽²⁹⁾.



Şekil 1.12 Negatif yüklü bir atom, süperiletken kafesindeki pozitif yüklenmiş iki iyon arasından, geçerken, iyonlar içe doğru çekilir. Kafes yapısındaki bu bozunma, bu bölgede pozitif yüklerin artmasına ve bu bölgenin negatif yüklü elektronlar için bir çekim uygulamasına sebep olur⁽³⁰⁾

Bu teoriye göre; negatif yüklenmiş bir elektron, süperiletken kafes yapısındaki pozitif yüklenmiş bir iyonun yanından geçer. Bu durum da fononların itilmesine ve elektronların etrafında pozitif bir yük oluşmasına sebep olur. Şekil 1.12’de hareket eden bir elektronun çekimden dolayı kafes yapısında meydana gelen değişim görülmektedir⁽²⁹⁾. Elektronlar geçerken ve geçtikten sonra kafes yapısı bir yay gibi ileri geri hareket eder ve ikinci bir elektronda bu yolu takip eder. Bu işlem esnasında birbirini itmesi gereken elektronlar bir ağ oluştururlar. Fononların oluşturduğu çekim kuvveti; elektronların birbirini itmesine sebep olan kuvveti etkisiz hâle getirerek süperiletkenliği sağlarlar. Bu geçiş sırasında iletken içersinden geçen elektronlar birbirine bağlanmışlardır. Elektronlar, fononlar tarafından aralarında belirli bir mesafe olmak kaydıyla sıraya dizilirler.

Cooper çiftindeki elektronlar; momentumları değişmeyecek şekilde birbirlerini saçarlar. Zayıf bağ ile bir birlerine bağlı oldukları için sürekli parçalanırlar ve başka eşler ile bir araya gelerek yeni çiftler oluştururlar.

BCS teorisi; düşük sıcaklık süperiletken malzemelerin (I. tip) büyük bir kısmına başarıyla uygulanmış olmasına karşın, yüksek sıcaklık süperiletken malzemeler (II. tip) için geçerli değildir. *BCS* teorisinin başarılı olduğu yönleri şu şekilde sıralayabiliriz:

Elektronlar arasındaki çekim etkileşmesi, taban durumu uyarılmış durumdan ayıran bir enerji aralığı oluşturur. Kritik alan, termal özellikler ve elektromanyetik özelliklerin çoğu enerji aralığının sonuçlarıdır.

Eş uyum uzunluğu ve sızma derinliği *BCS* teorisinin doğal bir sonucudur. London denklemi uzayda çok yavaş değişen manyetik alanlar için elde edilirken; süperiletkenlerde ise Meissner olayı doğal yolla elde edilir.

Enerji aralığı ve geçiş sıcaklığı arasındaki ilişki $E_g / k_B T_c = 3,53$ olup, boyutsuz bir büyüklüktür.

Bir süperiletken halkadan geçen akım kuantumlanmıştır ve etkin yük e 'nin iki katı yani $2e$ 'dir⁽³¹⁾.

1.11. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri

BCS teorisinin öngörüsüne göre 30 K'in üstünde kritik geçiş sıcaklığına sahip süperiletkenler "Yüksek Sıcaklık Süperiletkenleri" (YSS) olarak adlandırılmaktadır ve ilk örnekleri 1986 yılında ortaya çıkmıştır. Yüksek J_c ve H_c değerlerine sahip olmaları nedeniyle teknolojik olarak yüksek kullanım potansiyeline sahiptirler. Ayrıca, uygulamalarda geleneksel süperiletkenlerin aksine, üretimi ucuz ve kolay olan sıvı azot sıcaklığında kullanılabilirler.

YBaCuO, BiSrCaCu, TlBaCaCuO ve HgBaCaCuO gibi yüksek sıcaklık süperiletken seramik oksitler anizotropik tabakalı kristal yapıdadır. Bu tür malzemelerin birçoğunda bakır oksit bulunur ve bu tür süperiletkenlerde, süperiletkenliği sağlayan bu CuO_2 tabakalardır⁽³²⁾. YSS seramiklerin diğer önemli bir özelliği de; metalik davranış göstermeleridir. Pek çok oksit malzeme, elektriksel bakımdan yalıtkan özellik gösterdiği hâlde YSS seramik oksitler metalik özellik gösterirler. Bakır içeren oksit kristallerinin oda sıcaklığındaki iletkenlikleri, bazı düzensiz metalik alaşımların iletkenlikleri mertebesindedir.

Teknolojik uygulamalar için süperiletkenler, ince ve kalın filmler, tel ve şerit hâlinde üretilmektedirler. Mühendislik uygulamaları açısından bu malzemeler, bugün dünyanın birçok ülkesinde geniş pazar payı potansiyeline sahip durumdadır.

Bugün ulaşılan en yüksek kritik geçiş sıcaklığı $Hg_{12}Tl_3Ba_{30}Ca_{30}Cu_{45}O_{127}$ için 138 K'dir⁽¹⁰⁾. Bu malzemeleri kullanarak; elektromanyetik beyin dalga dedektörleri, levitasyon trenleri (Maglev), yüksek çözünürlüklü mikrodalga filtreleri ve yüksek alanlı mıknatısları üretme çalışmasına devam edilmektedir.

1.12. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinin Yapısal Özellikleri

Cu-O içeren süperiletken bileşiklerde, süperakımlar, maksimum; bu düzlemlere dik doğrultularda ise düşük olduğu gerçeği kesin olarak bilinmektedir. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ince filmlerindeki bakır-oksijen düzleminde 10^{10} A/m²'lik kritik akım yoğunluğu değerine ulaşılabilir(33). Bu, aslında akımın iki boyutlu olması anlamına gelmektedir. Sınır etkileri (tane sınırları) gibi faktörler nedeniyle, katı (bulk) seramiklerde akım yoğunluğu çok daha düşüktür. Örneğin, çok kristalli yapıdaki $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ numunelerinde kritik akım yoğunluğu $\sim 5 \cdot 10^5$ A/m² civarındadır(33). Pek çok uygulama için bu değerlerin düşük olduğu görülmüştür.

Bu malzemelerde, akımın çok iyi aktığı tanecikler ve bu tanecik ara yüzeylerinde, yalıtkan gibi davranan safsızlıklar mevcuttur. Akım; hem taneciklerden, hem de tanecikleri ayıran sınırlardan geçmek zorundadır. Bundan dolayı tanecikler arası akım, zayıf bağ davranışı olarak bilinen Josephson olayı ile gerçekleşir. Pek çok bilim adamı, bu malzemelerdeki kritik akımı bu etkilerin sınırladığına inanmaktadır(29,33,34).

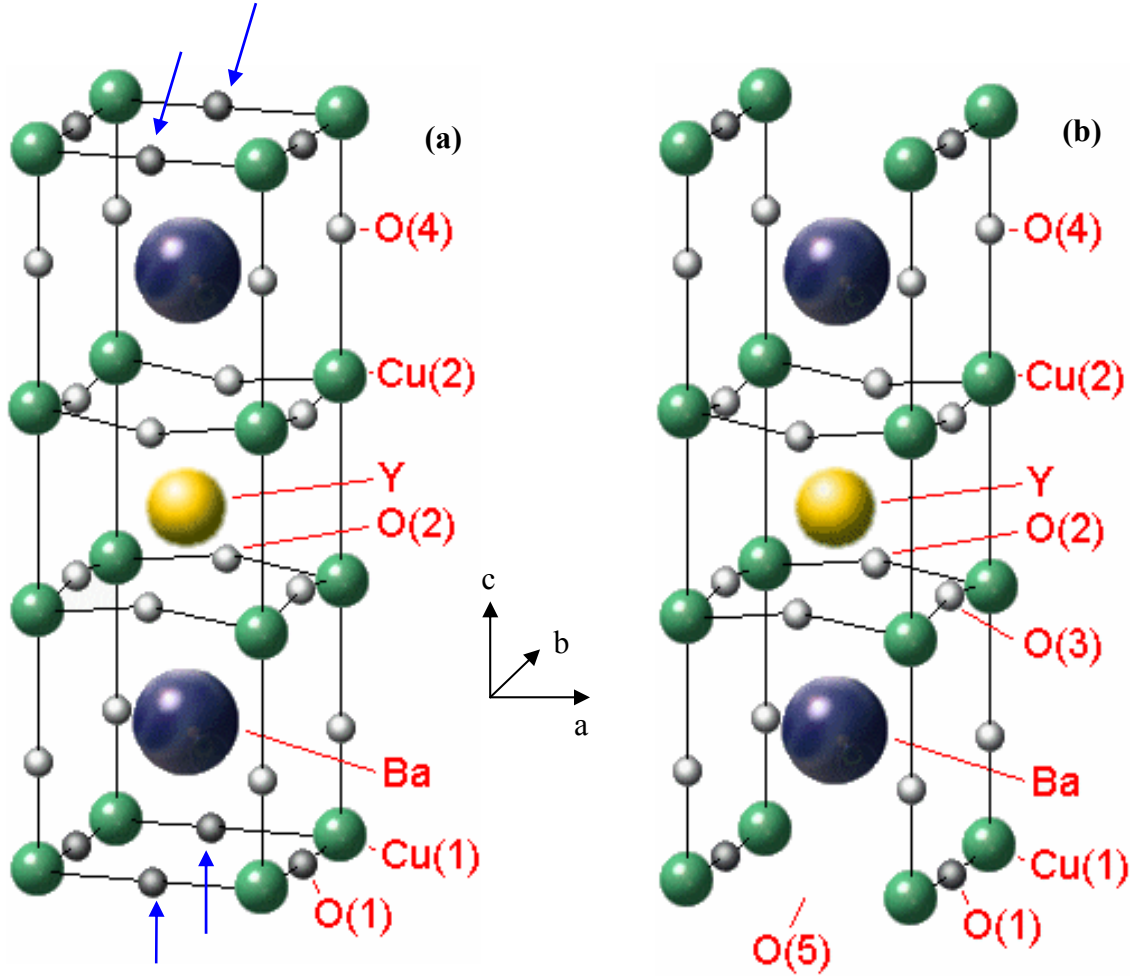
Süperiletkenler için önemli parametrelerden biri de manyetik davranışlarıdır. Manyetik alanın sızma derinliği ve Cooper çiftlerinin oluşum mesafesine göre süperiletkenin tipi tayin edilmektedir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde eş uyum uzunluğu, nüfuz derinliğinden çok küçük olduğundan bunların hemen hepsi II. tip süperiletkendir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin alt kritik manyetik alan H_{c1} değeri düşük, üst kritik manyetik alan H_{c2} değeri çok yüksektir(32). Bunun sonucunda manyetik vortekslerin (girdapların) sabitlenmesi zayıflamakta ve bu durum kritik akım etkisini azaltmaktadır.

Hemen hemen tamamı izotropik olan düşük sıcaklık süperiletkenlerinin aksine, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde yüksek uzaysal anizotropi görülmektedir. Anizotropi; kritik alan, kritik akım yoğunluğu, manyetik alanın girme derinliği ve direnç ölçümlerinde kendisini göstermektedir. Bi, Tl ve Hg-tabanlı bileşikler, La ve Y-tabanlı bileşiklerden daha fazla anizotropiktir. Anizotropi, yüksek sıcaklık süperiletkenliği için esas olduğu varsayılan tabakalı kristal yapıdan kaynaklanmaktadır.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerine çeşitli nadir elementleri katılarak, bunların bir takım özelliklerinin incelenmesi amaçlanır. Bu katkıların bazıları T_c 'nin değişmesine sebep olurken, bazıları da J_c ve H_c 'yi değiştirmektedir^(29,34).

1.13. YBCO'nun Kristal Yapısı

Malzeme bilimciler, bakır oksitlerin yapısını perovskite yapı olarak sınıflandırmışlardır. Bu yapıda bakır-oksijen ilişkisi çok önemli bir rol oynar. Şekil 1.13'den görülebileceği gibi iki farklı bakır (Cu) yeri ve dört farklı oksijen (O) yeri mevcuttur. CuO_2 düzlemleri ve Cu-O zincirleri vardır. Örneğin, CuO_2 düzlemleri c -eksenine dik olarak uzanırlar⁽³⁵⁾. YBCO, oksijen miktarına bağlı olarak hem tetragonal hem de ortorombik yapı hâlinde bulunabilir fakat süperiletken durum sadece ortorombik yapıda meydana gelmektedir. Tetragonal yapı $700^\circ C$ ile $950^\circ C$ sıcaklık aralığında gözlenir. Sıcaklık azaldıkça ve oksijen miktarı arttıkça $700^\circ C$ 'de yapı tetragonal fazdan ortorombik faza geçer.

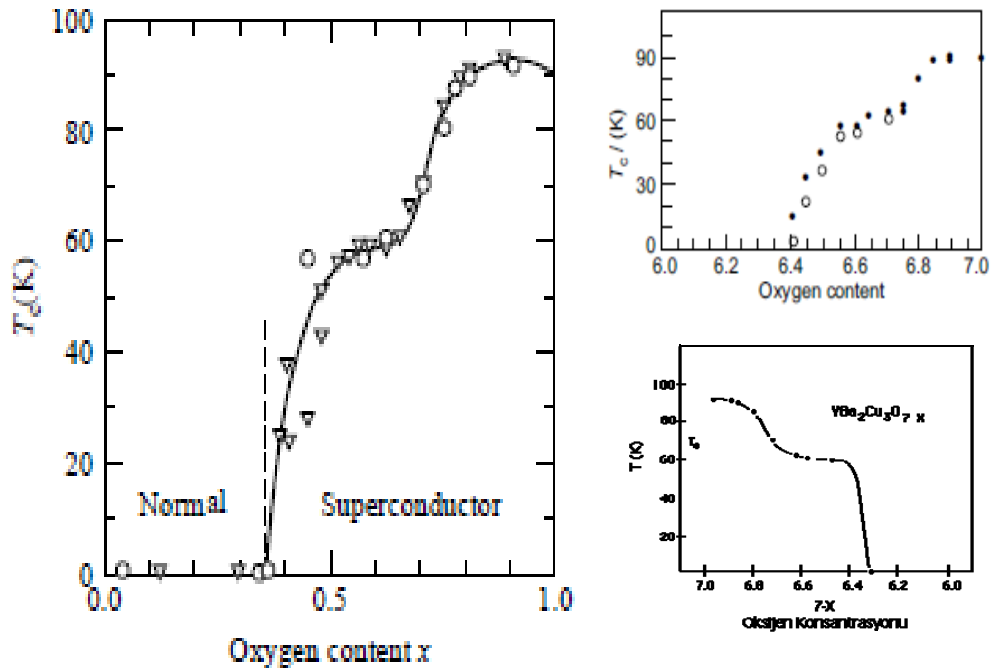


Şekil 1.13 YBCO'nun kristal yapısı. (a) Ortorombik, (b) Tetragonal faz⁽³⁶⁾

Yitrium atomu CuO₂ düzlemlerini ayırır. Yitrium yerine üç değerlikli atom konulursa, süperiletken özelliklerde çok fazla değişiklik gözlenmez⁽²⁵⁾. Ortorombik fazda *a*-yönündeki oksijen eksikliği, birim hücrenin hafifçe sıkışmasına neden olur. Böylece *a*-örgü parametresi *b*-örgü parametresinden küçük olur⁽²⁵⁾.

Ortorombik yapıda hem CuO₂ düzlemleri hem de Cu-O zincirleri süperiletkenliğe katkı sağlarlar. CuO₂ düzlemleri taşıyıcı yükleri (hole) içerirler.

YBCO'nun içerdği oksijen miktarı kristal yapıyı ve CuO_2 düzlemleri içindeki "hole" konsantrasyonunu belirler. Oksijen miktarı $x = 6,0$ olduğunda; $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ bileşiği tetragonal faza sahiptir ve yalıtkandır. Oksijen miktarı $x = 6,6$ olduğunda; tetragonal yapı, ortorombik yapıya geçer. Oksijen miktarını daha da arttırdıkça ($x = 6,94$) geçiş sıcaklığı en yüksek değerine ulaşır (93 K). Bu durum Şekil 1.14'de gösterilmiştir. Oksijen miktarı; $x = 6,94$ 'ün üzerine çıktığında; geçiş sıcaklığı aniden 4 K değerine düşer. Bunun sebebi; CuO_2 düzlemlerinin aşırı bir hole konsantrasyonuna sahip olmasıdır yani; en uygun değer aşılmasıdır⁽²⁵⁾.



Şekil 1.14 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ bileşiğinde, oksijen miktarı x 'in fonksiyonu olarak süperiletkenlik kritik sıcaklığının değişimi^(36,37)

1.14. Yitriyum Bulunduran Süperiletken Bileşikler

Yitriyum bulunduran bazı süperiletken bileşikler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 1.2 Yitriyum bulunduran bazı süperiletken bileşikler⁽¹⁰⁾

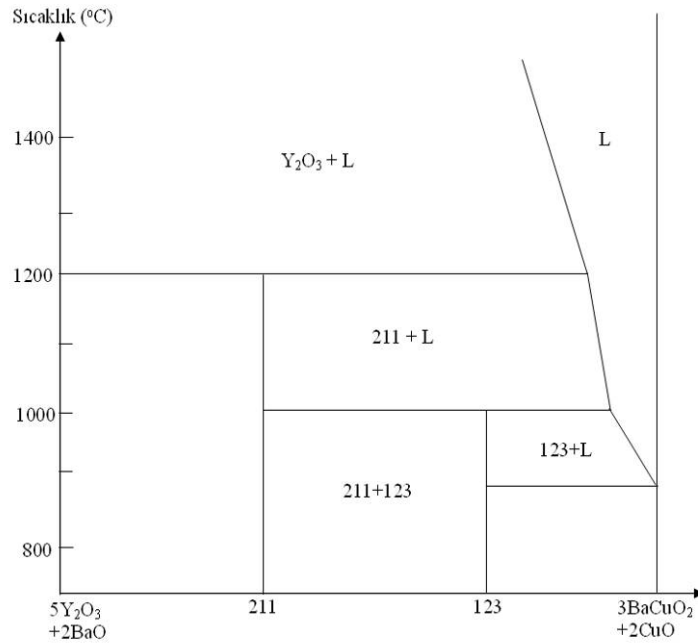
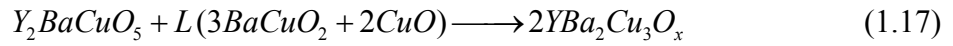
No	Malzeme	$\sim T_c$ (K)
1	$YBa_2Cu_3O_{6,5}$	25
2	$YBa_2Cu_3O_7$	92
3	$YBa_2Cu_3O_{7-x}$	92
4	$YBa_2Cu_4O_{8+}$	101
5	$Y_2Ba_4Cu_7O_{14}$	40
6	$Y_2Ba_4Cu_7O_{15}$	95
7	$Y_2Ba_5Cu_7O_x$	96
8	$Y_3Ba_4Cu_7O_{16}$	96
9	$Y_3Ba_5Cu_8O_x$	105
10	$YSr_2Cu_3O_7$	62
11	$YSrCa_2Cu_4O_{8+}$	101
12	$Y_2CaBa_4Cu_7O_{16}$	97
13	$(Y_{0,5}Lu_{0,5})Ba_2Cu_3O_7$	107*
14	$(Y_{0,5}Tm_{0,5})Ba_2Cu_3O_7$	105*
15	$(Y_{0,5}Gd_{0,5})Ba_2Cu_3O_7$	97*

(* Henüz kesinlik kazanmış değil).

1.15. YBa₂Cu₃O₇ Bileşiğinin Faz Diyagramı

YBCO sisteminde iki çeşit peritektik reaksiyon gözlenmiştir^(37,38). Daha önceden oluşturulan YBCO (123) bileşiği, 1200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda Şekil 1.15'de görüldüğü gibi Y₂O₃ + Sıvı faz (L) olarak ayrışır⁽³⁹⁾. Burada sıvı faz L, BaO+CuO karışımı olarak bilinmektedir. Sıcaklık 1200°C'nin altına düşürüldüğünde; bu iki faz, peritektik bir reaksiyonla Y₂BaCuO₅ (211) bileşiğini oluşturur.

Sıcaklık 1000°C civarında iken Y₂BaCuO₅ (211), sıvı faz ile tekrar reaksiyona girerek YBa₂Cu₃O_x bileşiğini oluşturur:



Şekil 1.15 Y-Ba-Cu-O Sisteminin ikili faz diyagramı⁽³⁷⁾

YBa₂Cu₃O_x süperiletkeninin oluşmasından sonra, artık kalan sıvı fazın süperiletken yapı içersine homojen olarak dağılması gerekmektedir. Bu olmadığı zaman bazı fiziksel özellikler; örneğin kritik akım yoğunluğu, istenilen düzeyde sonuç vermemektedir. En son yapının homojen olması için öncelikle 211 dağılımının yapı içerisinde homojen olması gereklidir. 211, sıvı faz içerisine düzenli ve küçük çaplarda dağıtılırsa süperiletken fazın büyüme oranı artacaktır⁽³⁹⁾. Fakat 211+L bölgesinde 211'in büyüklüğünün kontrolü imkânsızdır. Bunun için başlangıç noktası olan Y₂O₃ + L bölgesi kullanılır. 211 bölgesinin kontrolü Y₂O₃ bölgesinin kontrolü ile yapılabilir. Çünkü 211'ler Y₂O₃ den oluşmaktadır. Sonuç olarak; eğer Y₂O₃ katı parçacıkları başlangıçta sıvı faz içerisine homojen olarak dağıtılırsa, 211 fazı da 123 fazı içerisinde homojen olarak dağılmış olacaktır. Bunu elde etmek için Eritme – Hızlı Soğutma yöntemi çok yaygın olarak kullanılmaktadır⁽³⁹⁾.

Bu yöntem kullanılırken, eritilip hızlı soğutulmuş olan YBa₂Cu₃O_x numunesi, doğrudan büyütme işlemine tabi tutulmamalıdır. Çünkü, hızlı soğutulmuş olan plakalar yapısal olarak homojen değildir ve Y₂O₃ parçacıkları büyüktür. Son yapıda 211'in homojen ve küçük boyutta dağıtılması için bu plakalar iyice öğütülmelidir⁽³⁹⁾.

Bu, literatürde; *Eritme – Toz – Eritme – Büyütme (Melt-Powder-Melt-Growth, MPMG)* yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntem; *Hızlı Soğutma – Eritme – Büyütme (Quench-Melt-Growth, QMG)* yönteminin değiştirilmiş bir şeklidir.

1.16. YBa₂Cu₃O₇ Bileşiminin Kristal Yapısı

Oksit süperiletkenler; perovskite yapıya sahiptirler. Şimdiye kadar bulunan pek çok yüksek sıcaklık oksit süperiletken (seramik süperiletkenler), iki veya üç metalle birlikte bakır metalinden oluşmuştur. Örneğin 123 bileşiği olarak bilinen YBa₂Cu₃O_{7-x}, Y, Ba ve Cu metallere oluşmuştur. Burada “x” oksijen eksikliğini göstermektedir. YBCO süperiletkenlerinin kristal yapısı, oksijen miktarına oldukça bağlıdır. Bu değer; $x = 1$ (YBa₂Cu₃O₆) ve $x = 0$ (YBa₂Cu₃O₇) arasında değiştiği takdirde, süperiletkenin kristal yapısı ortorombik yapıdan tetragonal yapıya dönüşür. Bu, Şekil 1.13’de gösterilmiştir. Eğer, $0 < x < 0,5$ ise bileşik ortorombik ve süperiletken; $0,5 < x < 1$ arasında ise; tetragonal ve yarıiletken özellik göstermektedir⁽⁴⁰⁾.

Bu durum Çizelge 1.3’de gösterilmiştir. Oksijen miktarındaki değişim malzemenin hazırlanması sırasında ısıtma ve soğutma şartlarına bağlıdır. Oksijen miktarı arttıkça, süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı da artar.

Çizelge 1.3 Oksijen miktarı ve kritik sıcaklıklar arasındaki ilişki

Kompozisyon	x - değeri	Geçiş Sıcaklığı
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	0	~ 92 K
YBa ₂ Cu ₃ O _{6,75}	0,25	~ 60 K
YBa ₂ Cu ₃ O _{6,50}	0,50	~ 25 K
YBa ₂ Cu ₃ O ₆	1,0	Süperiletken değil

Şekil 1.14'de görüldüğü gibi, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ortorombik birim hücresi c -ekseni boyunca Y, Cu(2), BaO, Cu(1), BaO, Cu(2) ve Y düzlemlerinden oluşan bir paket gibidir. Temel yapıda üç kübik yapı vardır. Bunlardan ikisinin merkezinde Ba atomu, diğerinde ise, Y atomu yer alır. Bu küplerin her köşesinde Cu atomları, kenar ortalarında ise oksijen atomları yer almaktadır.

Yitriumun en yakın sekiz oksijen komşusu, baryumun ise en yakın on oksijen komşusu vardır. Ayrıca iki tane Cu(1) ve iki tane Cu(2) düzlemleri vardır. Cu(2) düzlemleri perovskite yapıya örnektir. Oksijen boşluğu ise Y düzleminde dört tane, Cu(1) düzleminde ikişer tane olmak üzere toplamda sekiz tanedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Giriş

Bu bölümde, süperiletken malzeme hazırlama tekniklerinden bazıları hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan malzemenin hazırlanışı ve kullanılan deneysel ölçüm yöntemleri tanıtılacaktır.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde kullanılan malzeme hazırlama teknikleri, süperiletkenlerin fiziksel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, seramik süperiletkenler hazırlanırken çok değişik yöntemler denenmektedir. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır: Nitrat Yöntemi⁽²⁶⁾, Eritme-Döküm Yöntemi⁽⁴¹⁾, Sol-Gel Yöntemi, Püskürtmeli Kurutma Yöntemi, Çökeltme Yöntemi (Çözelti-Jel Yöntemi), Katıhal Tepkime Yöntemi. Bunlardan birkaçını inceleyelim.

i) Katıhal Tepkime Yöntemi

Katıhal tepkime yöntemi; süperiletkenlik araştırma grupları tarafından çokça tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu yöntemde bileşikler, oksit veya karbonat gibi başlangıç maddeleri ile hazırlanır. Başlangıç maddeleri, uygun oranlarda karıştırılır ve homojen bir karışım elde edebilmek için havanda saatlerce öğütülür.

Öğütme işleminden sonra ilk ısı işlem olan kalsinasyon aşamasına geçilir. Bu işlemin amacı başlangıç karışımlarında bulunan istenmeyen bazı maddelerin gaz hâlinde ortamdan uzaklaşmasını ve ikili bazı fazların oluşumunu sağlamaktır. Bu da katıhal tepkime yönteminin temelini teşkil eder.

Kalsinasyon işlemleri için tozlar, bir potaya konularak programlanabilir bir fırın içerisinde belirli sıcaklıklarda, belirli sürelerde tutulurlar. Daha sonra fırından çıkarılan tozlar tekrar havanda öğütülür. Buna, “ara öğütme” denir ve bu işlem birkaç kez tekrarlanabilir.

Kalsinasyondan sonra sinterleme öncesi şekil vermek ve tanecikler arası bağlantıları güçlendirmek için presleme yapılır. Presleme için genellikle 4–6 ton basınç uygulanır. YBCO numuneleri oksijene duyarlı olduğu için sinterleme işlemi oksijen ortamında yapılır. Sinterleme işlemi, numunenin sıcaklığının oda sıcaklığından, belirlenen tavlama sıcaklığına kadar artırılması ve belirli süre bu sıcaklıkta bekledikten sonra yavaşça oda sıcaklığına soğutulması işlemlerini içermektedir.

Katıhal tepkime yönteminde ara öğütme⁽⁴²⁾, optimum tavlama süresi ve sıcaklığı⁽⁴³⁾ ile yavaş soğutma oranları çok önemlidir⁽⁴⁴⁾. Numunelerin ısıtılmasından sonra içinde meydana gelebilecek iç zorlanma ve gerilmelerden kaçınmak için fırın yavaşça soğutulmalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir başka nokta ise, kalsinasyon kabının doğru seçilmesidir⁽²⁸⁾. Çünkü, yüksek sıcaklıklarda kabın yapıldığı malzemedan, numune içerisine sızmalar olabilir.

Bu yöntemde numunenin öğütülme, kalsinasyon ve sinterleme süresi ve sıcaklığı süperiletken malzemenin cinsine göre değişmektedir. Kalsinasyon sırasında sıcaklık BSCCO ile TBCCO aileleri için 750 – 850°C arasında ve YBCO ailesi için 850 – 950°C arasındadır^(28,33).

ii) Eritme Döküm Yöntemi

Bu yöntemde, katıhal yöntemindeki gibi öncelikle stokiyometrik oranlarda tartılan başlangıç tozları karıştırılıp 20–30 saat öğütülür. Öğütülen tozlar kalsinasyon işlemine tabi tutulur^(28,33,41). Bu işlem sonunda, sıcaklığı programlanabilir bir fırına, erime noktası yüksek bir pota içerisinde konulan başlangıç tozları, oda sıcaklığından itibaren malzemenin eriyebileceği yüksek bir sıcaklığa (1050–1250°C) çıkartılır ve belirli bir süre bekletilir. Eriyik hâline gelen toz karışım çok kısa bir sürede soğuk bir plakaya dökülür ve ikinci bir plaka ile de hızlıca üzerine bastırılır. Böylece, çok ince tabakalar şeklinde elde edilen malzeme, amorf özelliği kazanmış olur. Daha sonra bu ince tabakalar öğütülerek toz hâline getirilir. Bu tozlar preslenerek istenilen büyüklükte kalıp hâline dönüştürülür ve ihtiyaç duyulan süre ve sıcaklıkta sinterlenerek süperiletken malzeme elde edilmiş olur.

Bu yöntem; yapı içerisindeki gözenekleri azaltarak, yüksek yoğunlukta, homojen numunelerin hazırlanmasına imkân sağlamaktadır⁽⁴¹⁾. Böylece parçacıklar arası bağlantılar artmakta ve var olanlar kuvvetlenmektedir. Bunun sonucunda da numunelerin elektriksel, yapısal ve mekanik özellikleri iyileşmektedir⁽²⁸⁾. Bu yöntemin bir başka avantajı da, değişik şekil ve büyüklükte numune hazırlanabilmesidir. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise, yüksek sıcaklıklarda pota ile süperiletken madde arasında oluşabilecek kimyasal reaksiyonlardır. Bu reaksiyonları önlemek için genellikle yüksek erime sıcaklığına sahip platin krozeler kullanılmaktadır^(28,41).

iii) Nitrat Yöntemi

Katıhal ve eritme döküm metotları kadar yaygın olmayan ve son yıllarda ortaya çıkan, seramik süperiletken hazırlama yöntemlerine alternatif olarak ortaya çıkmış bir yöntemdir. Bu yöntemde; hazırlanmak istenilen malzeme miktarı kadar, amonyum nitrat malzemeye karıştırılır. Bu karışım bir beher içerisine konularak yaklaşık 180–220°C arasındaki bir sıcaklıkta karıştırılarak sıvı hâle gelmesi sağlanır. N₂O, NO₂ vb. gibi gazların çıkışı gözlenirken karıştırma işlemine devam edilir. 180°C'den itibaren ısıtma işlemi daha hızlı (10–15 °C/dk) yapıldığında, yaklaşık 240°C'de ekzotermik bir reaksiyon sonucunda yoğun bir gaz çıkışıyla, sıcaklığın aniden 400°C civarlarına çıkması, karışımın sıvı hâlden siyah renkli katı hâle dönüşmesine neden olur. Hızlı bir ekzotermik reaksiyonun, stokiyometri kaymasına neden olabileceği düşüncesiyle düşük hızlı ısıtma işlemi tercih edilir. Yavaş ısıtma ile birlikte bir taraftan da malzemenin sürekli olarak karıştırılması, gaz çıkışının sürekli ve düzenli olmasını sağlar. Böylece ani bir ekzotermik reaksiyon gözlenmeyip, sıvı hâlden katı hâle dönüşüm, nispeten daha uzun bir sürede gerçekleşir⁽²⁶⁾.

Oluşan çökelti öğütülerek toz hâline getirilir ve 24–48 saat aralığında kalsine edilir. Kalsine edilen tozlar öğütüldükten sonra preslenir ve sonrasında yüksek sıcaklıklarda ısıl işlemlere tabi tutularak süperiletken yapı elde edilir. Bu metodun homojen, ince tane ve kısa ısıl işlem süresi gibi avantajları vardır^(26,33).

2.2. Deneysel Çalışmalar

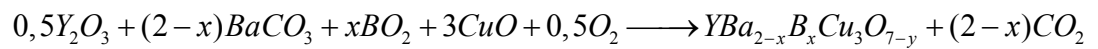
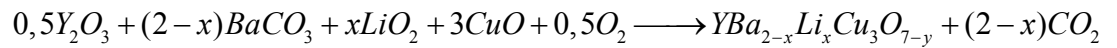
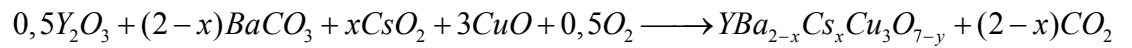
2.2.1. $YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ (M= Li, Cs, B) Bileşiğinin Hazırlanması

$YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$, $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ve $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiklerini hazırlamak için kullanılan kimyasal bileşiklerin saflık dereceleri ve molekül ağırlıkları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 $YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ (M=Li, Cs, B) bileşiğini hazırlamak için kullanılan bileşiklerin saflık dereceleri ve molekül ağırlıkları

Element		Saflık (%)	Molekül Ağırlığı (gr)
Simge	İsim		
Y_2O_3	Yitriyum Oksit	99,99	225,81
$BaCO_3$	Baryum Karbonat	99,98	197,35
CuO	Bakır Oksit	99,995	79,54
Li_2O	Lityum Oksit	97	29,88
Cs_2CO_3	Sezyum Karbonat	99,9	325,8
B_2O_3	Bor Oksit	99	70,02

Çizelge 2.1’deki kimyasal bileşikler kullanılarak;



bağıntılarına göre 3 farklı başlangıç kompozisyonu hazırlandı.

Bunların her birinde $x = 0,005, 0,01$ ve $0,1$ alınarak 5 gramlık toplam dokuz farklı karışım, Çizelge 2.2'deki gibi hazırlandı.

Çizelge 2.2 5 gr'lık $YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ ($M= Li, Cs, B$) bileşiklerini üretmek için kullanılan başlangıç karışım miktarları

Katkı	Numuneye Verilen İsim	Katkı Miktarı (x)	Atomik Ağırlık (gr)	Y_2O_3 (gr)	$BaCO_3$ (gr)	$M(Li,Cs,B)$ (gr)	CuO (gr)	Toplam (gr)
Lityum	YLi0005	0,005	745,3	0,75745	2,64112	0,0005	1,60093	5
	YLi001	0,01	744,388	0,75837	2,63773	0,001	1,60289	5
	YLi01	0,1	727,9725	0,77548	2,57522	0,0103	1,63904	5
Sezyum	YCs0005	0,005	746,0399	0,7567	2,6385	0,0055	1,59934	5
	YCs001	0,01	745,8677	0,75687	2,6325	0,0109	1,59971	5
	YCs01	0,1	742,7694	0,76003	2,52392	0,1097	1,60639	5
Bor	YB0005	0,005	745,5345	0,75721	2,64029	0,0021	1,60043	5
	YB001	0,01	744,8569	0,7579	2,63607	0,0042	1,60188	5
	YB01	0,1	732,6614	0,77051	2,55874	0,0422	1,62855	5

Bu kimyasal bileşikler, $1/10000$ gr hassasiyete sahip Precisa XB 220A model hassas bir terazi ile tartıldı. Bu tozlar; agat havan içerisinde 20 dakika karıştırıldıktan sonra homojen bir karışım elde etmek için, yaklaşık olarak 2 saat kadar elle öğütüldüler.

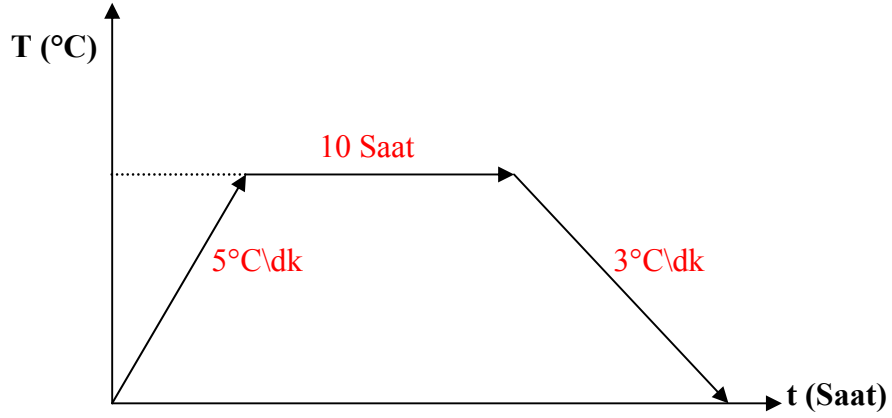
Seramik potalara konulan toz numuneler oda sıcaklığında Protherm ısı kontrol birimi kullanılan ALSER marka programlanabilir bir fırına yerleştirildi (Şekil 2.1). Fırının sıcaklığı dakikada $5^\circ C$ hızla artırılarak her bir katkı için farklı sıcaklıklarda ısı işlem uygulandı.



Şekil 2.1 Protherm Alser marka programlanabilir fırın

i) Lityum Katkısı İçin Uygulanan Isıl İşlemler

Seramik potada oda sıcaklığındaki fırına konulan lityum katkılı YLi0005 ($x=0,005$), YLi001 ($x=0,01$) ve YLi01 ($x=0,1$) toz numuneler, fırının sıcaklığı Şekil 2.2'de görüldüğü gibi dakikada 5°C hızla artırılarak oda sıcaklığından 915°C 'ye kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 10 saat bekletildiler. Daha sonra yaklaşık $3^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ hızla oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Elde edilen bileşiğin sert yapıda olmadığı ve kısmen yeşil renkte olduğu görüldü. Numune tekrar agat havana konulup yaklaşık 4 saat daha öğütüldükten sonra aynı işlemler sırasıyla tekrar uygulandı. Bu kez fırın sıcaklığı 930°C 'ye ayarlandı ve fırından çıkan malzemenin sert yapıda ve siyah renkte olduğu gözlemlendi.



Şekil 2.2 Kalsinasyon işlem süreci

ii) Sezyum Katkısı İçin Uygulanan Isıl İşlemler

Oda sıcaklığındaki fırına konulan sezyum katkıli YCs0005 ($x=0,005$), YCs001 (0,01) ve YCs01 (0,1) toz numuneler; Şekil 2.2’de görüldüğü gibi dakikada 5°C hızla ısıtılarak 900°C’de 10 saat bekletildi. Daha sonra 3°C/dk hızla oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Elde edilen bileşiğin sert yapıda ve siyah renkte olduğu görüldü.

iii) Bor Katkısı İçin Uygulanan Isıl İşlemler

Bor katkıli YB0005 ($x=0,005$), YB001 ($x=0,01$) ve YB01 ($x=0,1$) toz numuneler, 5°C/dk hızla 850°C’ye kadar ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 10 saat bekletildi. Daha sonra 3°C/dk hızla oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Elde edilen bileşiğin sert yapıda ve siyah renkte olduğu görüldü.

Fırından çıkarılan üç farklı katkı yapılmış siyah renkli numuneler, agat havanda 1 saat kadar daha öğütülüp, toz haline getirildiler.

2.2.2. Presleme İşlemi

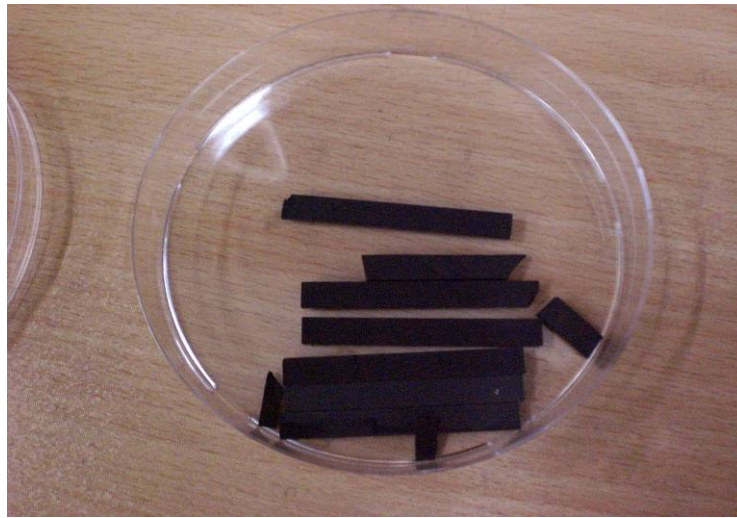
Toz bileşikler iyice öğütüldükten sonra; bu tozların her biri 1,80 gr gelecek şekilde tartıldı ve Şekil 2.3’de görülen uzunluğu 4 cm olan çelik kalıplara konuldu. TUMAS (Max. 40 MPa) marka hidrolik pres ile (Şekil 2.4) 20 MPa basınç altında 5 dakika kadar preslendi. Sonuçta ~4 cm uzunluğunda preslenmiş numuneler üretildi (Şekil 2.5). Üretilen bu numuneler daha sonra 3 eşit parçaya bölündüler (2 x 4 x 10 mm).



Şekil 2.3 Yaklaşık 4 cm uzunluğunda, 4 mm genişliğinde, 2 mm derinliğinde olan çelik kalıp



Şekil 2.4 TUMAS marka, maksimum 40 MPa'lık hidrolik pres

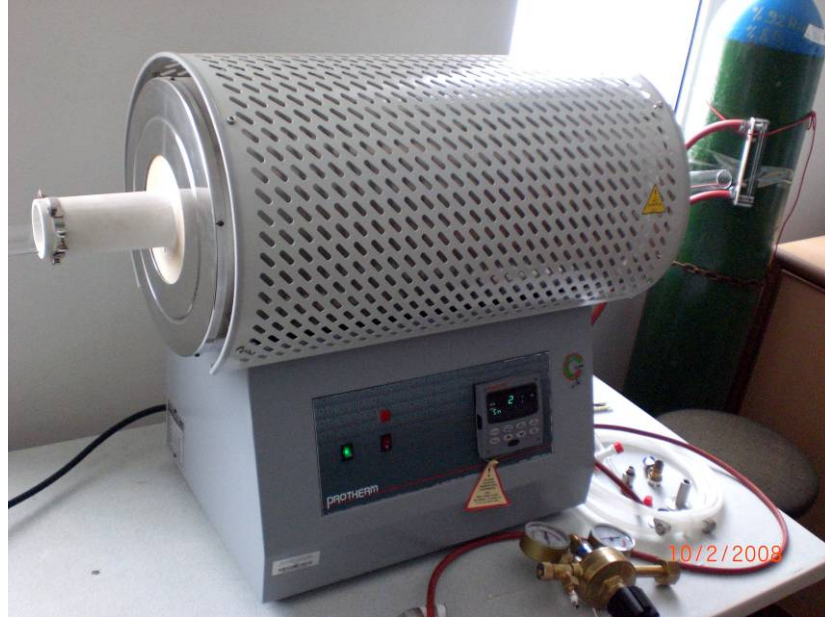


Şekil 2.5 Preslenmiş numuneler

2.2.3. Tavlama İşlemi

Numuneler, tavlama işlemleri için Şekil 2.6'da gösterilen Protherm marka silindirik bir fırına oda sıcaklığında konuldu ve 10°C/dk hızla 950°C'ye kadar ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 24 saat oksijen atmosferinde bekletilen numunelerin sıcaklığı, daha sonra 3°C/dk hızla 500°C'ye düşürüldü ve bu sıcaklıkta 2 saat oksijen atmosferinde bekletildi. Ardından aynı hızla oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneler fırından çıkarıldı.

Sinterlenen bu numunelerin siyah renkli oldukları gözlemlendi. Bu işlemler, 9 farklı numune için ayrı ayrı tekrarlandı.



Şekil 2.6 Sinterleme işlemi için kullanılan Protherm marka silindirik fırın

2.2.4. SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) Çalışmaları

Taramalı elektron mikroskobu ile görüntü elde edilmesi, yüksek gerilim altında hızlandırılmış elektronların malzeme yüzeyine çarptırılıp, yansıyan ışınların dedektör tarafından algılanması prensibine dayanır. Yansıyan elektronlar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan x-ışınları kullanılarak yüzeyin topografisi elde edilir. Böylece, numunelerin yüzey yapıları, içerdikleri fazlar ve taneciklerin yapı içerisindeki düzenlenimleri hakkında bilgi edinilebilir.

SEM görüntüleri, Bolu İzzet Baysal Üniversitesi'nde bulunan Şekil 2.7'de gösterilen JEOL JSM-6390L marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak 20 kV çalışma voltajında, 1000 ve 5000 kat büyütme ile alındı.



Şekil 2.7 JEOL JSM-6390L model taramalı elektron mikroskobu

2.2.5. X-Işını Toz Kırınımı Çalışmaları

X-ışını toz kırınım desenlerinden elde edilen veriler, karışık kristal fazların belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. X-ışını kırınım desenleri ölçümleri ile malzemenin kristal yapısı, örgü tipi, örgü parametreleri gibi yapısal bilgilerine ulaşılır. Toz kırınım metodu; üç boyutlu hkl bilgisini tek boyutlu $d(hkl)$ bilgisine indirger⁽⁴⁵⁾.

Üretilen numunelerin x-ışını kırınım analizleri, Bolu İzzet Baysal Üniversitesi'nde bulunan, Şekil 2.8'da gösterilen Rigaku Multiflex marka difraktometre ile CuK_α ışını kullanılarak, $0,02^\circ$ adımlarla ve $2\theta = 5 - 60^\circ$ aralığında 36 kV / 26 mA çalışma şartlarında yapıldı.

YBCO süperiletkenleri ortorombik yapıda olduğundan a , b , c -örgü parametreleri, x-ışını kırınım desenlerinden yararlanılarak

$$d(h, k, l) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{h}{a}\right)^2 + \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{c}\right)^2}} \quad (2.1)$$

bağıntısından hesaplanır. Burada d , düzlemler arası uzaklık; h , k , l ise Miller indisleridir.



Şekil 2.8 Rigaku Multiflex model XRD cihazı

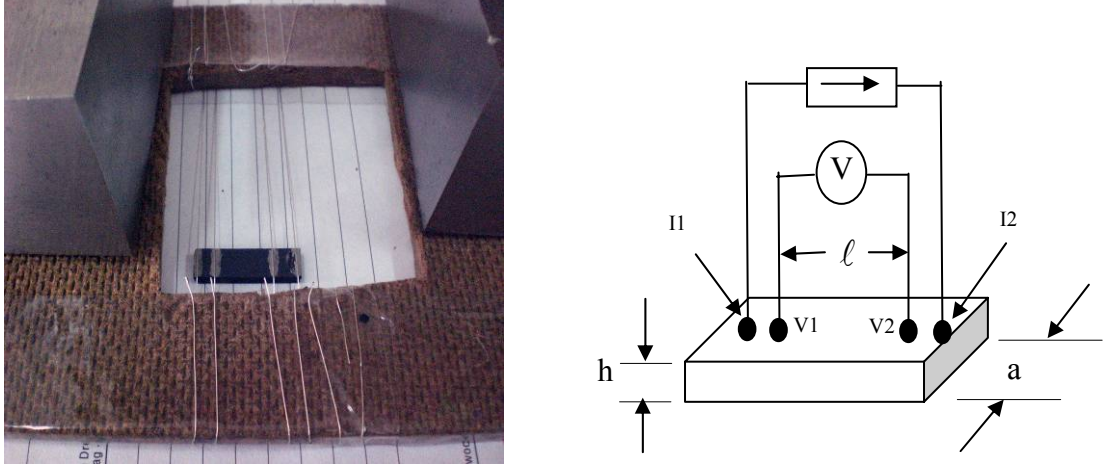
2.2.6. Elektriksel Özdirenç Ölçümleri

Üretilen numunelerin özdirençlerinin ölçümleri için standart dört nokta yönteminden yararlanıldı. Bunun için numunelere Şekil 2.9’da gösterildiği gibi ultrasonik lehim makinesi kullanılarak, bakır tellerle indiyum lehim kontaklar yapıldı. Ölçüm hatalarını en aza indirebilmek için kontakların aynı hat üzerinde yer almalarına ve kontaklar arası mesafenin de eşit olmasına dikkat edildi. Daha sonra numunelerin özdirençleri Şekil 2.10’da gösterilen deneysel düzenekle, sıcaklığa bağlı olarak

$$\rho = \frac{V}{I} \cdot \frac{A}{\ell} \quad (2.2)$$

bağıntısı ile hesaplandı.

Burada A , numunelerin kesit alanı ($A = a \cdot h \text{ mm}^2$); ℓ , iç kontaklar arası mesafe; V , iç kontaklardan ölçülen gerilim ve I ; numuneye uygulanan akımdır.



Şekil 2.9 Standart dört nokta yöntemine göre (a) numunelere yapılan kontaklar ve (b) parametrelerin şematik gösterimi⁽⁴⁷⁾

Elektriksel özdirenç ölçümleri, Bolu İzzet Baysal Üniversitesi'ndeki Şekil 2.10'da gösterilen 10-300K arasında ölçüm yapabilen Croyogenic marka sıvı helyum, kriyostat sistemi ile yapıldı. Ölçümler sırasında numuneye 5 mA'lık akım uygulandı. Bu ölçümlerle numunelerin süperiletkenlik, kritik geçiş sıcaklığı ve normal bölge özdirenci gibi parametreleri belirlendi.

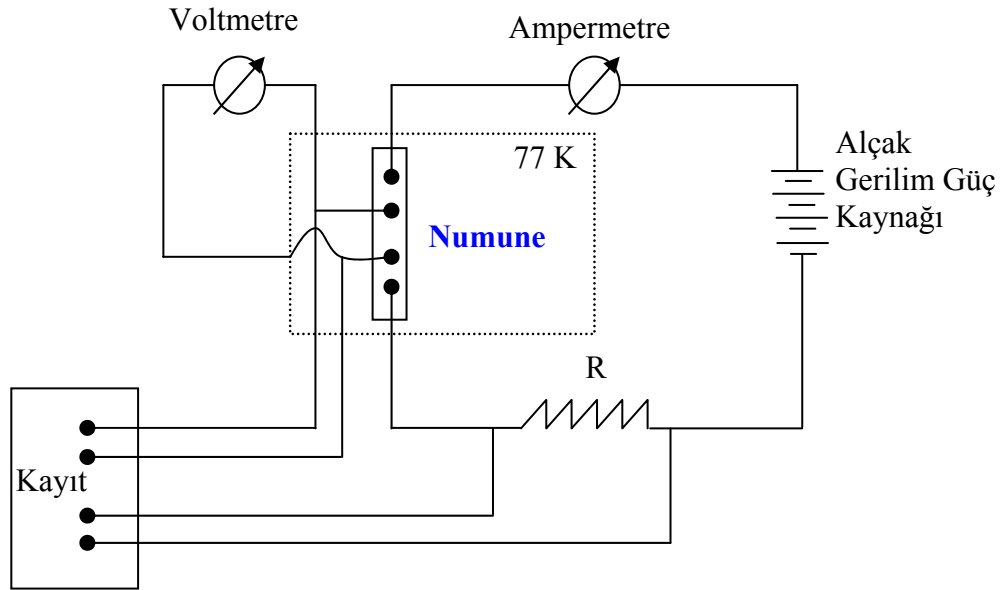


Şekil 2.10 Özdirenç ölçümlerinin yapıldığı Cryogenic marka sıvı helyum kriyostat sisteminin fotoğrafı

2.2.7. Kritik Akım Yoğunluğu Ölçümleri

Süperiletkenlerin önemli parametrelerinden biri de kritik akım yoğunluğudur. Teknolojik uygulama açısından J_c 'nin belirlenmesi önemlidir. Kritik akım yoğunluğu ölçümleri Şekil 2.11'de şematik olarak gösterildiği gibi sıvı azot sıcaklığında (77 K) dört nokta yöntemi kullanılarak yapıldı. Numuneler, sıvı azot sıcaklığında süperiletken durumda iken, güç kaynağından devreye azar azar akım verilir ve uçlar arasında gerilim gözlenir.

Akım yeterince arttırıldığında, iç uçlar arasında bir gerilim gözlenir ve bu gerilime karşılık gelen akım değeri “kritik akım (I_c)” olarak adlandırılır. Bu değerin, numune kesit alanına bölümü ile de “kritik akım yoğunluğu (J_c)” bulunur.



Şekil 2.11 Kritik akım ölçümlerinde kullanılan devrenin şeması

2.2.8. EDS (Energy Dispersive Spectrometry) İle İnceleme

Elektron mikroskopundan gönderilen elektron demetinin numune yüzeyindeki atomlar ile etkileşmesi sonucunda farklı dalga boyunda x-ışınları oluşur. X-ışınları her element üzerinden farklı dalga boyunda ve açıda saçılırlar. Bu x-ışınları dedektöre ulaşır ve bir bilgisayar yazılımı tarafından işlenerek nicel ve nitel analizler yapılır⁽⁴⁸⁾.

Üretilen numunelerin nokta analizi ve % olarak atomik dağılımların belirlenmesi, Bolu İzzet Baysal Üniversitesi'nde bulunan JEOL JSM-6390L marka taramalı elektron mikroskobuna ilave edilmiş "EDS2006 Model 550i IXRF System" marka bir dedektör kullanılarak yapıldı (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 EDS2006 Model 550i IXRF System isimli EDS cihazı

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Giriş

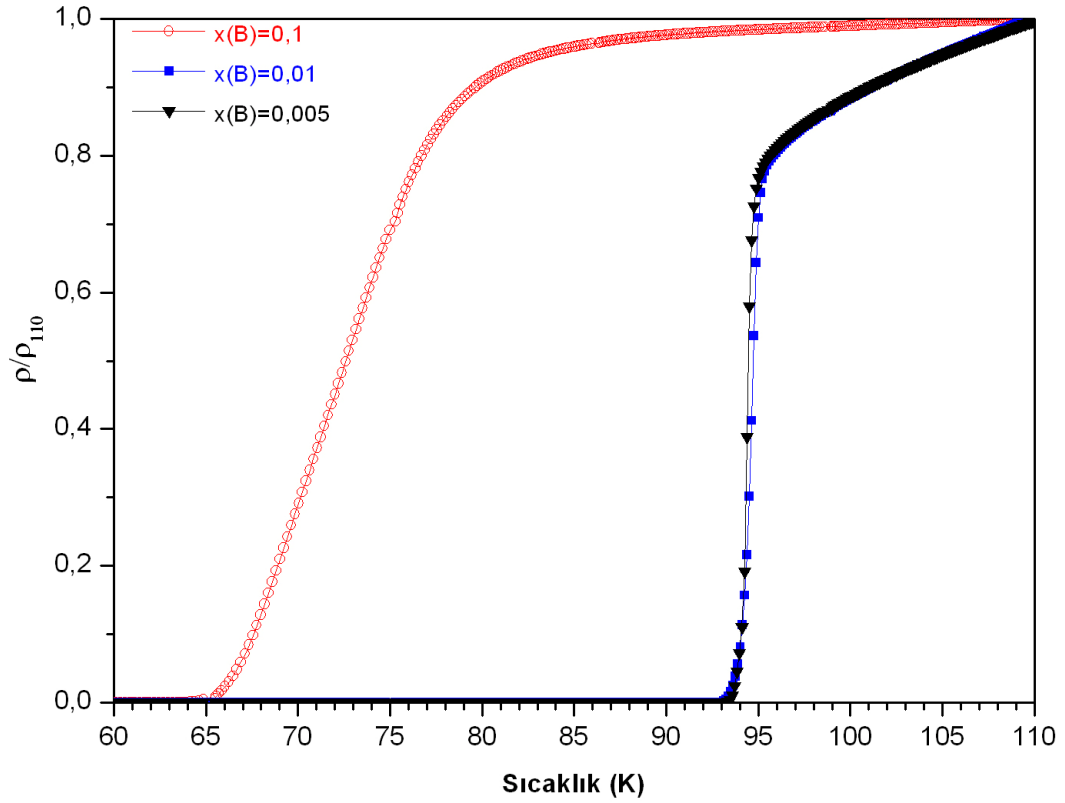
Klasik katihal tepkime yöntemi ile hazırlanan B, Cs ve Li katkılı $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$, $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ve $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ süperiletken bileşiklerinin, x-ışını kırınım desenleri, SEM ve EDS analizleri ile elektriksel özdirenç ve kritik akım yoğunluğu ölçümleri yardımıyla; katkı miktarının, numunenin yapısal ve elektriksel özelliklerine etkisi incelendi.

3.2. Elektriksel Özdirenç Ölçümleri

Şekil 3.1'de $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ süperiletken bileşiğinin $x=0,005$, $0,01$ ve $0,1$ katkı oranları için özdirençinin sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Buna göre $x=0,005$ ve $x=0,01$ katkısında, kritik geçiş sıcaklığı yaklaşık $93,5$ K olarak ölçülmesine rağmen $x=0,1$ katkısında bu değer 65 K'e kadar düşmektedir. Bu durum, katkılanan bor miktarının artmasıyla T_c değerinin ciddi bir şekilde düştüğünü göstermektedir.

Diğer yandan, $x=0,1$ katkısının normal bölge özdirenci, diğer iki katkıdan çok daha yüksek çıktığından bunları aynı grafikte gösterebilmek için $\rho=110$ K'de değerler normalize edilmiştir. Şekle göre, katkı miktarının artması, T_c değerini azaltıp, normal bölge özdirencini artırmaktadır.

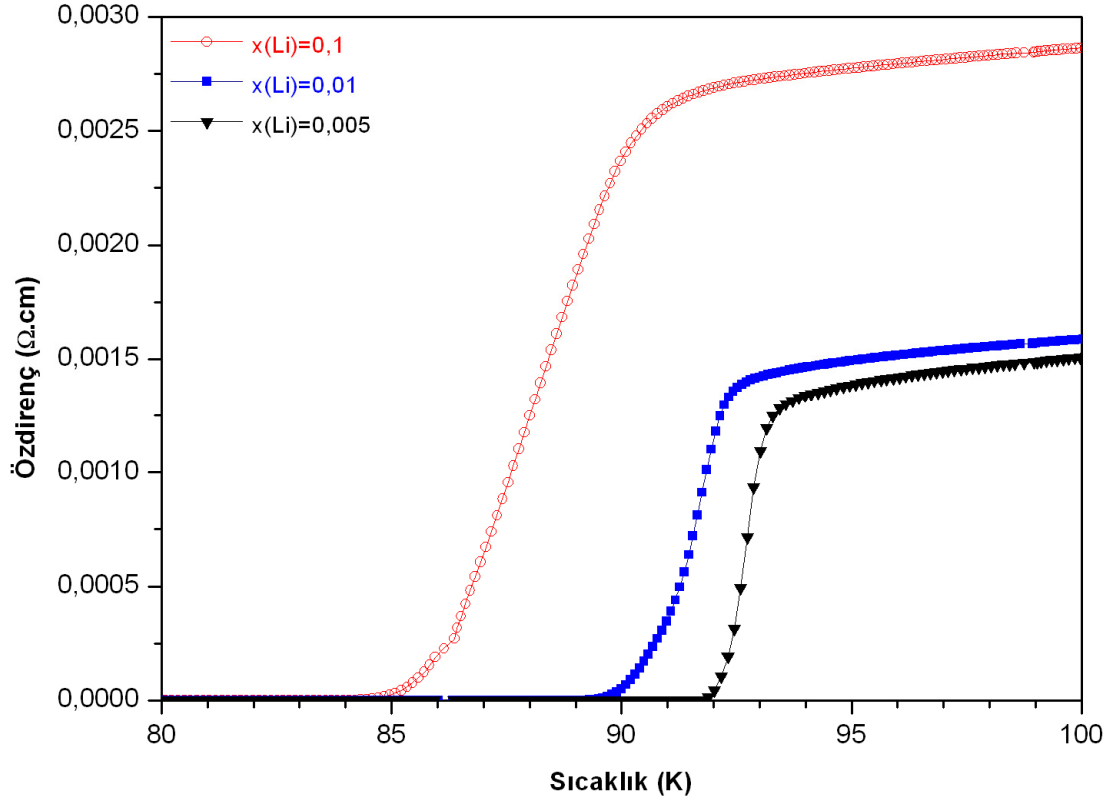
Yapılan literatür taraması^(49,55) sonucu elektriksel özdirenç ölçümlerinde, bor katkısının artması ile kritik geçiş sıcaklığının düştüğü görülmektedir. Bu durum, yaptığımız ölçümleri desteklemektedir.



Şekil 3.1 $\text{YBa}_{2-x}\text{B}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($x = 0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin normalize edilmiş özdirenç-sıcaklık değişim eğrileri

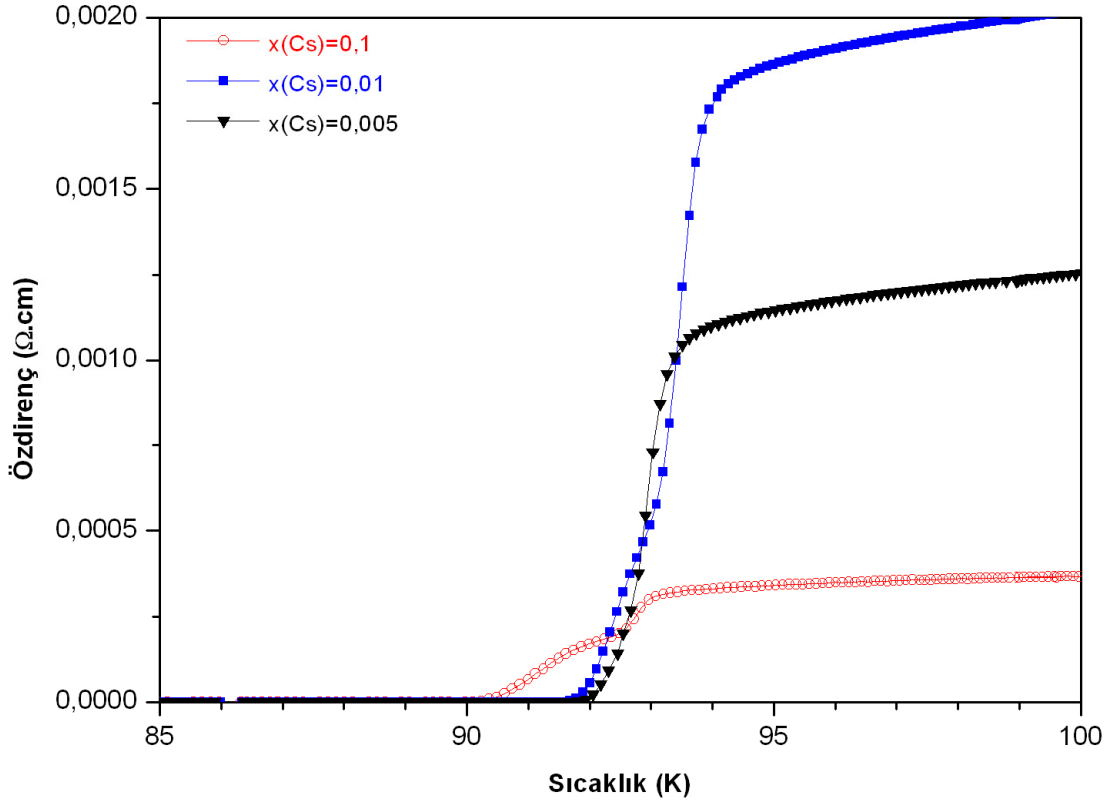
$\text{YBa}_{2-x}\text{Li}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ süperiletken bileşiğinin $x=0,005, 0,01$ ve $0,1$ katkı oranları için özdirençinin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.2’de görülmektedir. Buna göre $x=0,005$ lityum katkısında kritik geçiş sıcaklığı yaklaşık 92 K olarak ölçülmüştür. Bu değer, saf hâldeki YBCO bileşiğinin kritik geçiş sıcaklığı mertebesinde dir. Öte yandan, lityum katkı miktarını $x=0,01$ olarak aldığımızda T_c değeri 90 K ’e düşmektedir. Son olarak, katkı miktarını $x=0,1$ aldığımızda T_c değeri bu sefer 85 K ’e gerilemiştir.

$\text{YBa}_{2-x}\text{Li}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ bileşiğinde Li katkısının artmasıyla, kritik geçiş sıcaklığı bir miktar düşmektedir. Bununla birlikte katkı miktarının artmasıyla birlikte normal bölge özdirençinde de artış gözlenmiştir.



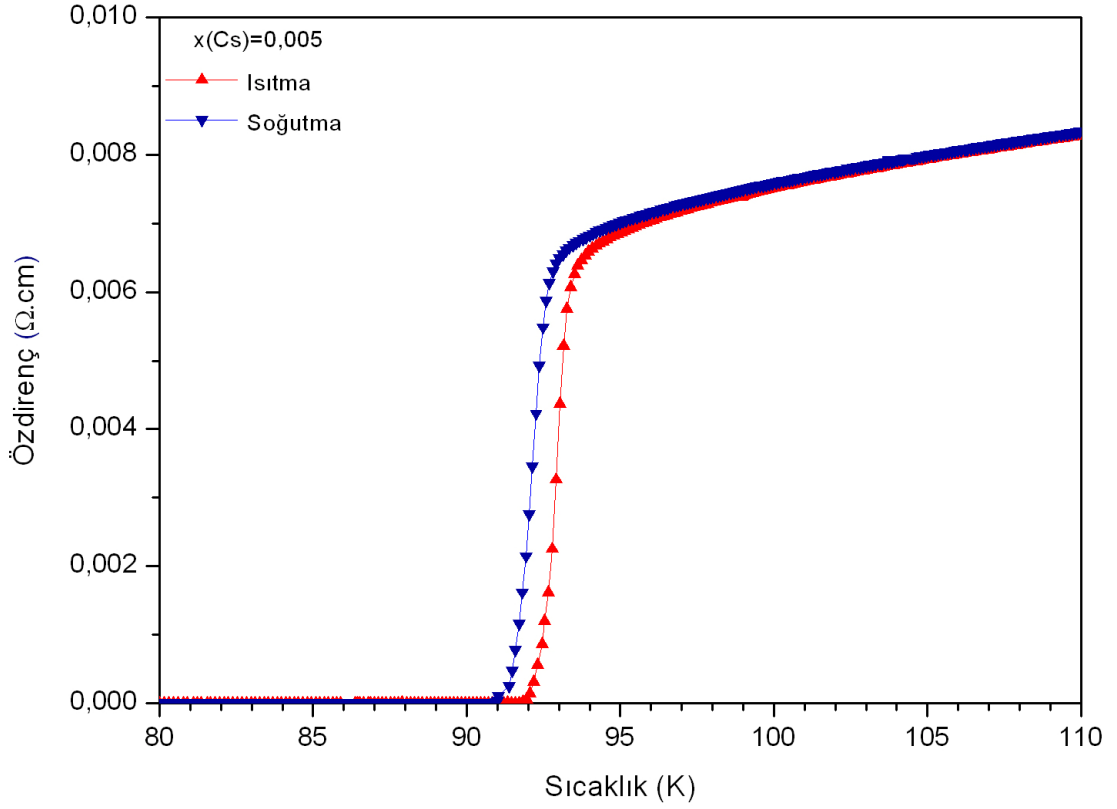
Şekil 3.2 $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ ($x = 0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin özdirençlerinin sıcaklıkla değişim eğrileri

Son olarak $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinde Ba yerine yüzde $x=0,005, 0,01$ ve $0,1$ oranlarında sezyum katkılanarak özdirencin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.3'deki gibi elde edildi. Buna göre $x=0,005$ sezyum katkısında kritik geçiş sıcaklığı 92 K olarak ölçüldü. Bu değer, saf YBCO bileşiğinin kritik geçiş sıcaklığı ile hemen hemen aynıdır. Katkı miktarını artırarak üretilen ikinci numune için ($x=0,01$) de geçiş sıcaklığı yine yaklaşık 92 K olarak ölçüldü. Ancak normal bölge özdirencinin yaklaşık iki kat arttığı anlaşıldı. Sezyum katkısı $x=0,1$ olarak alındığında ise, T_c değerinin yaklaşık $90,3$ K'e düştüğü görüldü. Yani lityum katkı miktarının artmasıyla birlikte kritik geçiş sıcaklığı nispeten çok az azalmaktadır. Oysa, bu değer, bor katkısı için 65 K olarak gözlenmiştir.



Şekil 3.3 $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ($x = 0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin özdirençlerinin sıcaklıkla değişim eğrileri

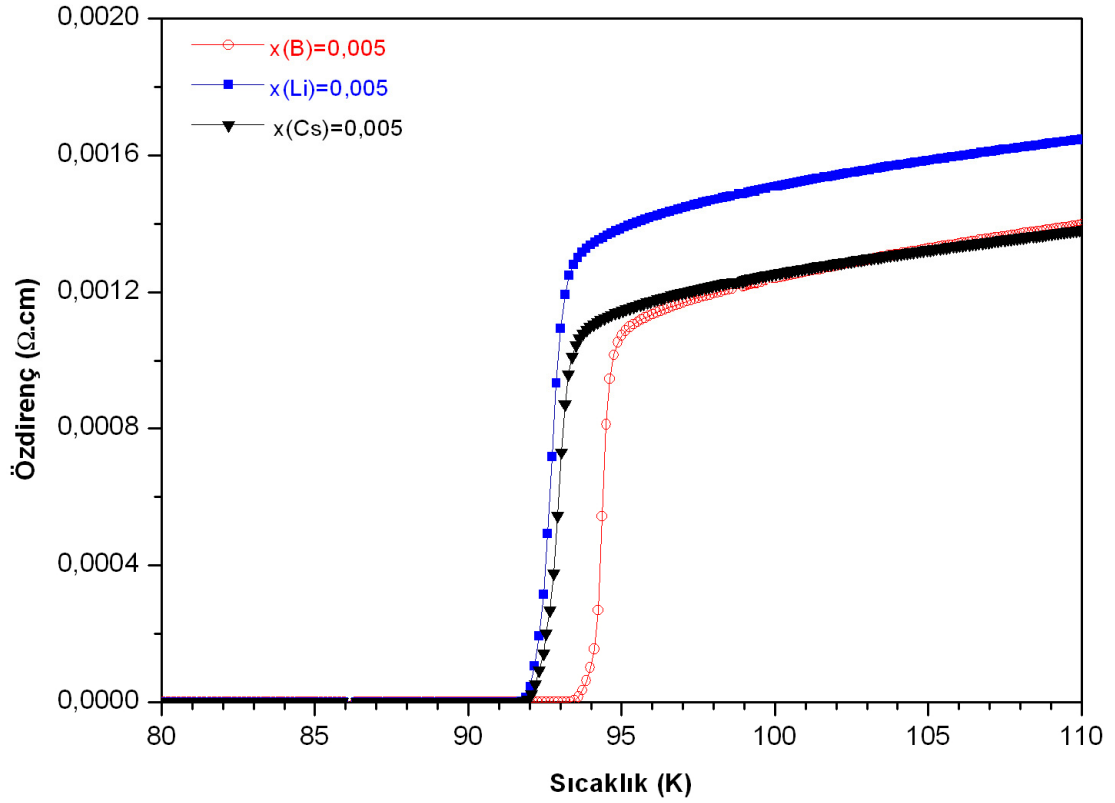
M. Ausloos ve arkadaşlarının⁽⁵⁰⁾ Ba yerine 0,05 Cs katarak yaptıkları çalışmada kritik geçiş sıcaklığı 80 K olarak rapor edilmiştir. Oysa 0,005, 0,01 ve 0,1 Cs katarak ürettiğimiz numunelerde bu değer sadece 90,3 K'e kadar inmiştir (Şekil 3.3). J. Bishop ve arkadaşları⁽⁵¹⁾ elektriksel özdirenç ölçümlerinde, soğutma sırasında gözükten geçiş sıcaklığının, ısıtma sırasındaki geçiş sıcaklığından genellikle daha düşük olduğundan bahsetmektedir. Bu amaçla, 0,005 Cs katkılı numunenin hem ısıtma hem de soğutma sırasında ölçümleri kaydedildi ve bu durum Şekil 3.4'de gösterildi. Buna göre, ısıtma sırasındaki T_c değerinin soğutma sırasındaki T_c değerinden 1 K kadar daha büyük olduğu anlaşıldı.



Şekil 3.4 Cs katkılı $\text{YBa}_{1.995}\text{Cs}_{0.005}\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ numunesinin ısıtma ve soğutma sırasında özdirenç değişim eğrileri

Şekil 3.5’de $\text{YBa}_{1.995}\text{M}_{0.005}\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($\text{M}=\text{B}, \text{Li}, \text{Cs}$) bileşikleri için özdirençin sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Buna göre, aynı katkı miktarı ($x=0,005$) için bor katkıli bileşikte 93,5 K’de geçiş gözlenirken diğer iki bileşikte yaklaşık 92 K’de bir T_c değeri gözlenmiştir.

Dikkat edilecek bir diğer nokta ise, lityum katkıli numunenin normal bölge özdirençinin, diğer iki katkıdakinden bir miktar daha yüksek olduğudur.

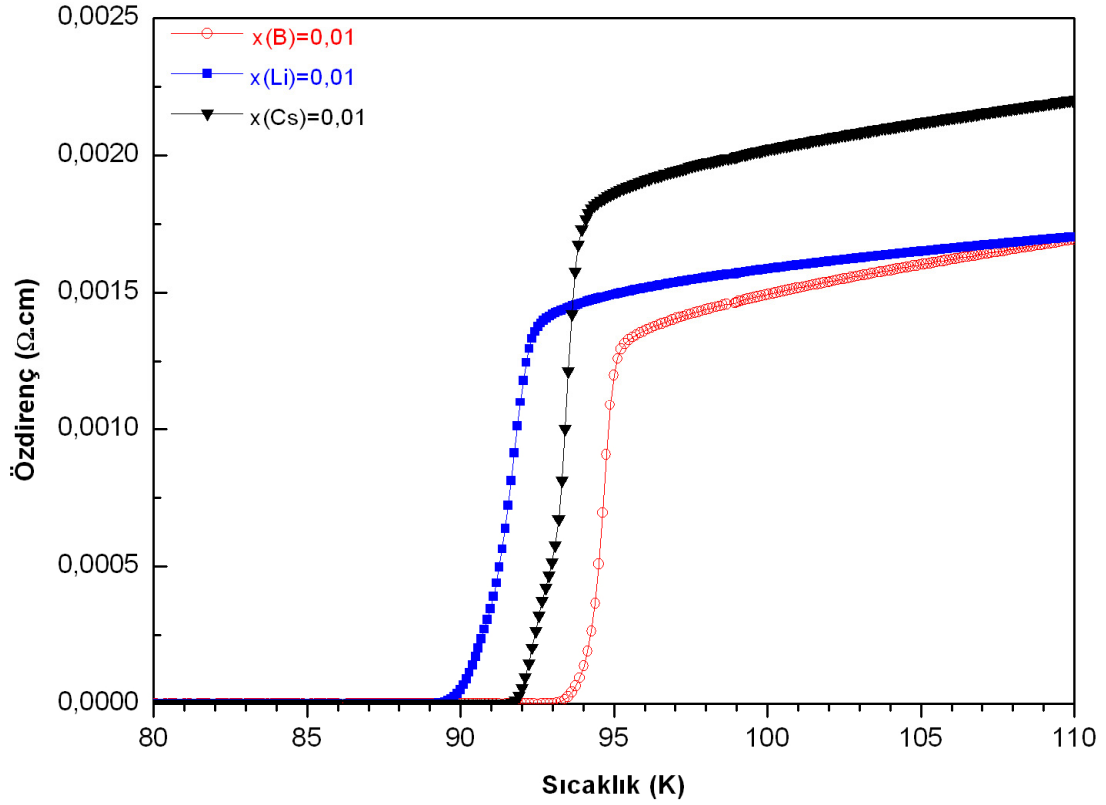


Şekil 3.5 $x=0,005$ bor, lityum ve sezyum katkısı için özdirençin sıcaklıkla değişim eğrileri

$YBa_{1,99}M_{0,01}Cu_3O_{7-y}$ ($M=B, Li, Cs$) bileşiğinde Ba yerine $x=0,01$ Bor katıldığında Şekil 3.6'da görüldüğü gibi kritik geçiş sıcaklığı yaklaşık $93,5$ K'dir. Bu değer, katkısız YBCO bileşiğinin T_c değerinden bir miktar daha iyidir.

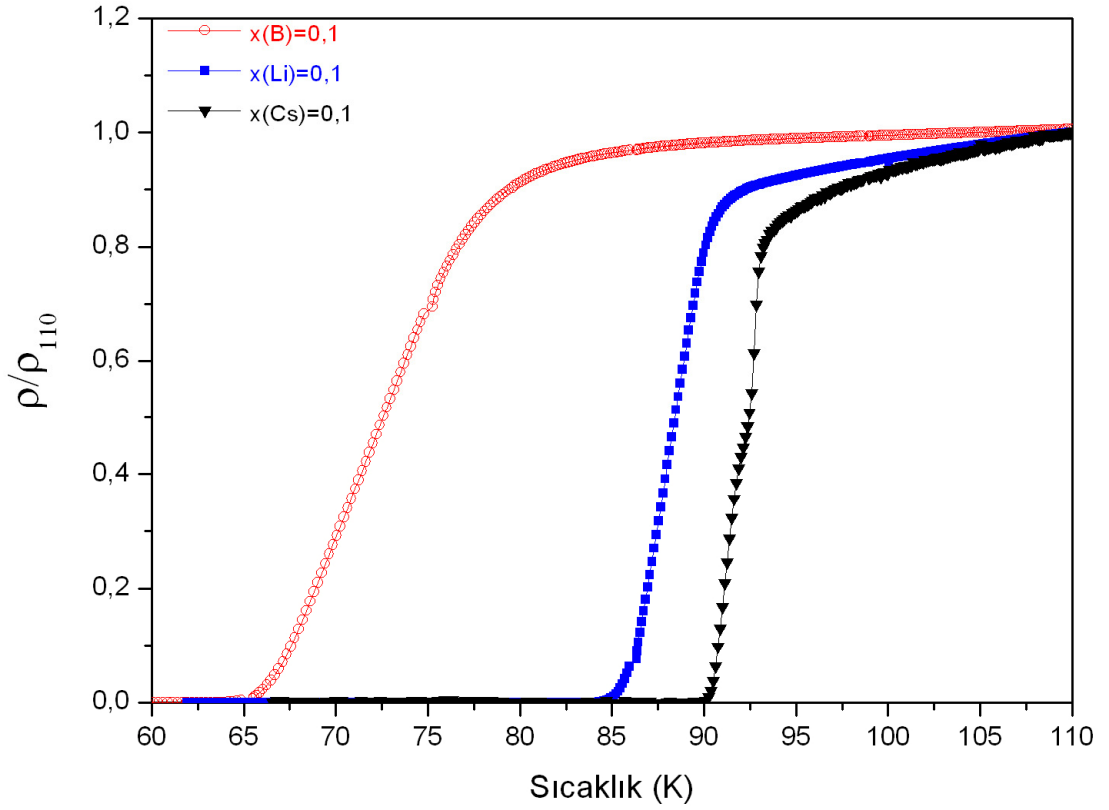
YBCO bileşiğine yüzdece $0,01$ sezyum katıldığında, kritik geçiş sıcaklığı 92 K olmaktadır. Ba yerine aynı oranda lityum katıldığında ise T_c değeri yaklaşık 90 K'e düşmektedir (Şekil 3.6).

Buna göre Li katkısı, diğer iki katkıya göre kritik geçiş sıcaklığını daha belirgin bir şekilde düşürmektedir. Ancak lityumlu bileşiğin normal bölgedeki özdirençinin sıcaklıkla değişiminin eğimi diğer iki katkıdan daha düşüktür.



Şekil 3.6 $x=0,01$ bor, lityum ve sezyum katkısı için özdirençin sıcaklıkla değişim eğrileri

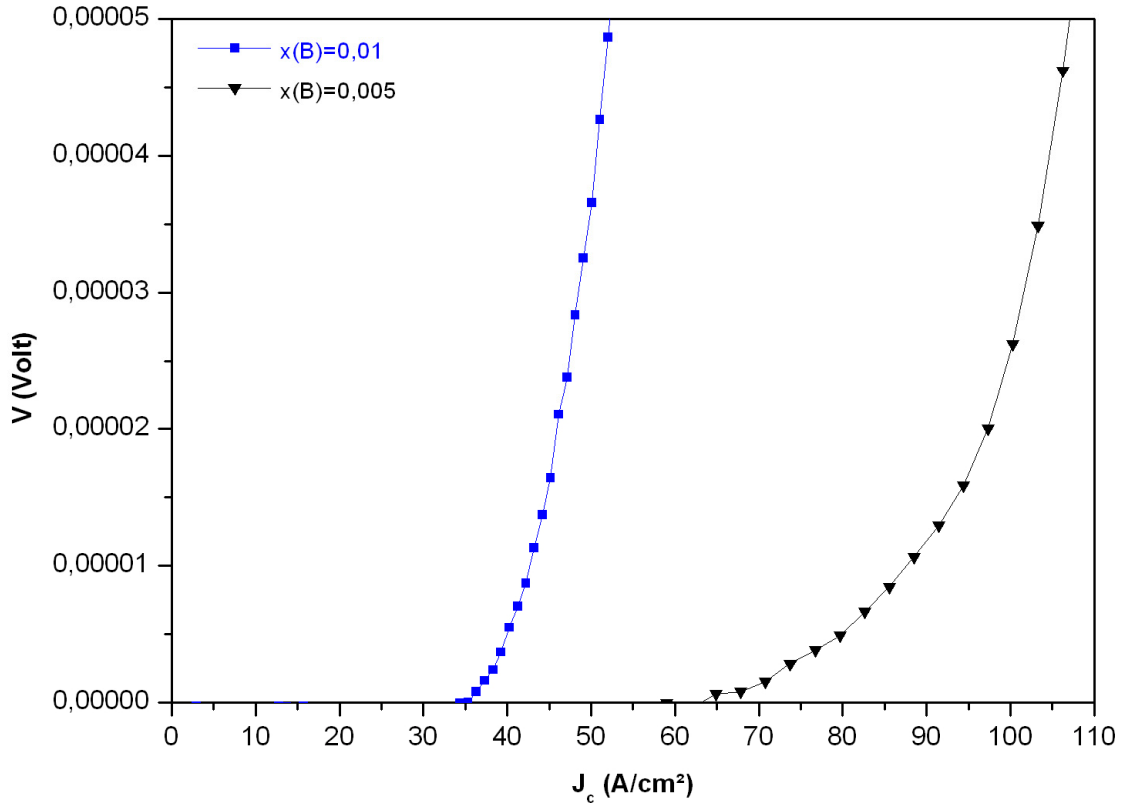
$YBa_{1,9}M_{0,1}Cu_3O_{7-y}$ ($M=B, Li, Cs$) bileşiğinde Ba yerine kütlece yüzde 0,1 oranında bor, lityum ve sezyum katıldığında özdirençin sıcaklıkla değişimi Şekil 3.7’de görüldüğü gibidir. Buna göre, Ba yerine $x=0,1$ bor katkısı yapıldığında kritik geçiş sıcaklığı yaklaşık 65 K olarak ölçüldü. Aynı oranda lityum katkısı yapıldığında ise T_c değerinin yaklaşık 85 K’e düştüğü fakat aynı oranda sezyum katıldığında ise T_c ’nin yaklaşık 91 K’de kaldığı gözlemlendi. Bor katkılı numunenin normal bölge özdirençinin diğer iki katkılı numunenin özdirençlerinden çok daha düşük olması nedeniyle grafiğin daha iyi gözlenebilmesi için özdirenç değerleri 110 K’deki özdirenç değerlerine bölünerek normalize edildi.



Şekil 3.7 $x=0,1$ bor, lityum ve sezyum katkıları için normalize edilmiş öz direncin sıcaklıkla değişim eğrileri

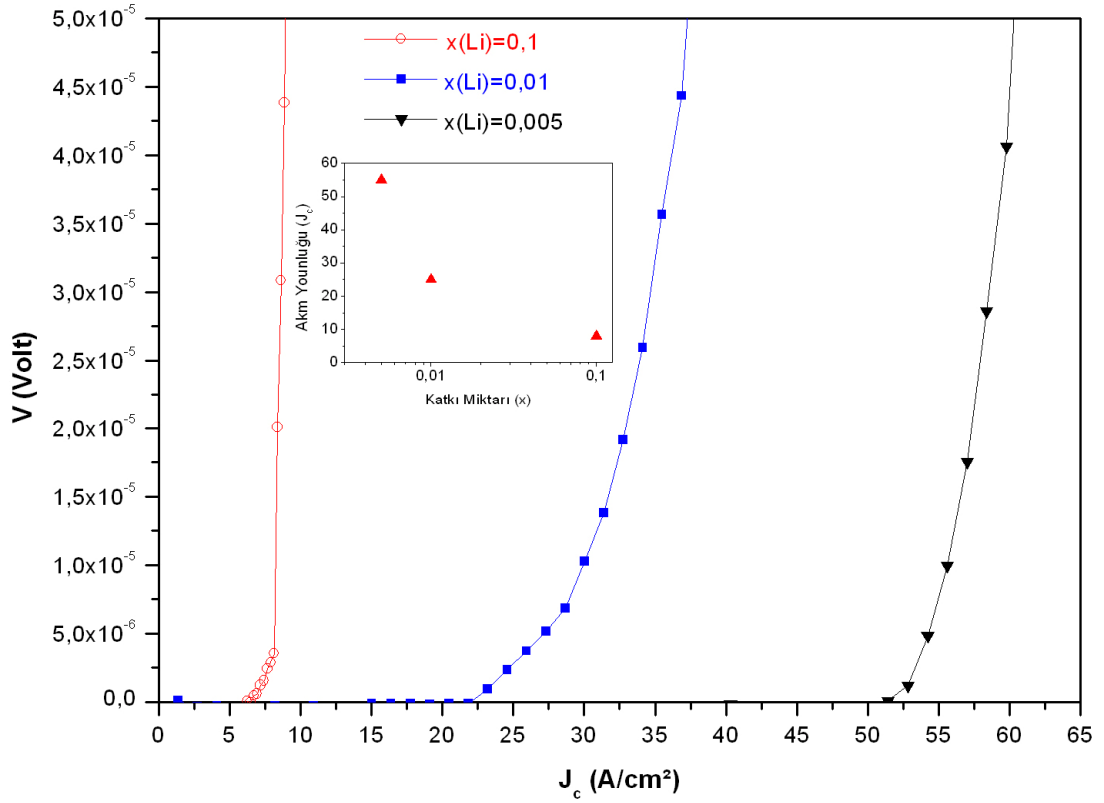
3.3. Kritik Akım Yoğunluğu Ölçümleri

Kritik akım yoğunlu ölçümleri, standart dört nokta yöntemiyle, sıvı azot sıcaklığında (77 K) ve akım; 5'er mA'lik adımlarla artırılarak uygulandı. $YBa_2-xB_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01$) bileşiği için ölçüm sonuçları Şekil 3.8'de görülmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda bor katkı miktarının artmasıyla J_c değerinin azaldığı gözlenmektedir. Kritik akım yoğunluğu $x=0,005$ katkısı için yaklaşık 65 A/cm^2 iken $x=0,01$ katkısı için yaklaşık 35 A/cm^2 değerine kadar düşmüştür. Bu da gösteriyor ki bor katkısı, kritik akım yoğunluğunu çok hızlı bir biçimde düşürmektedir.



Şekil 3.8 YBa_{2-x}B_xCu₃O_{7-y} (x=0,005 ve x=0,01) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri

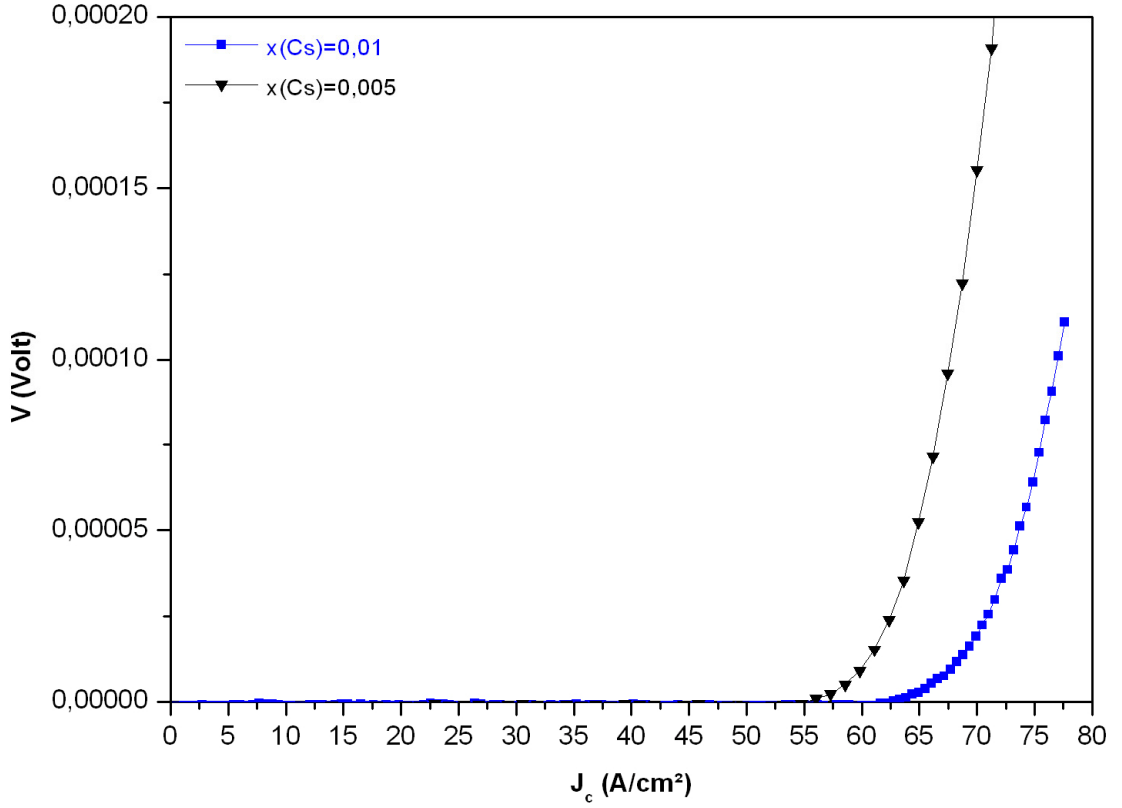
Şekil 3.9’da YBa_{2-x}Li_xCu₃O_{7-y} (x=0,005, 0,01, 0,1) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim grafikleri görülmektedir. Lityum katkı miktarının en düşük olduğu YBa_{1,995}Li_{0,005}Cu₃O_{7-y} bileşiğinde J_c yaklaşık 55 A/cm² değerinde iken, katkı miktarı x=0,01 alındığında bu değer yaklaşık 22,5 A/cm²,ye düşmektedir. En yüksek katkı oranı olan x=0,1’de ise kritik akım yoğunluğu çok hızlı bir şekilde 8 A/cm²,ye düşmektedir. Bor katkısında olduğu gibi lityum katkısında da katkı miktarının artması kritik akım yoğunluğunun düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 3.9 $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri

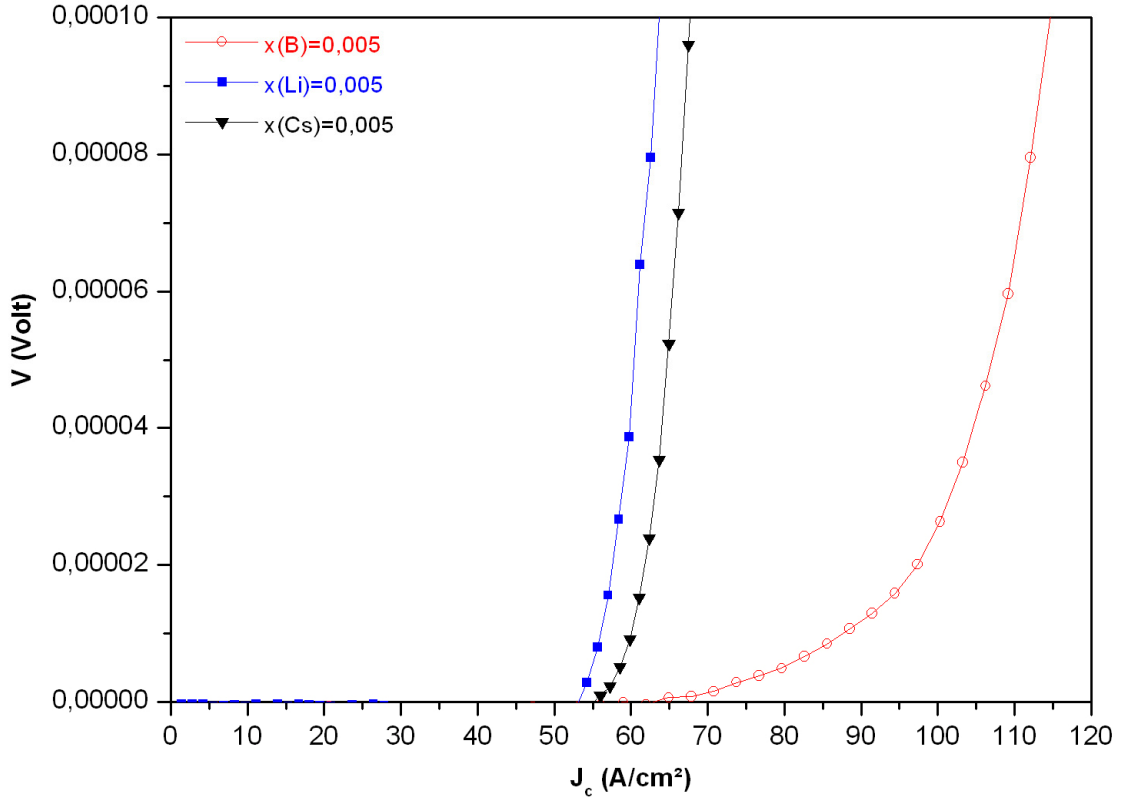
Şekil 3.10'da $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005$ ve $x=0,01$) bileşikleri için kritik akım yoğunluğunun değişimi görülmektedir. Sezyum katkı miktarı $x=0,005$ 'de kritik akım yoğunluğunun değeri yaklaşık olarak $55 A/cm^2$ 'dir. Sezyum katkısı $x=0,01$ 'de ise J_c değeri bir miktar artış göstererek $65 A/cm^2$ seviyesine çıkmaktadır.

Borlu ve lityumlu numunelerde gözlenen, katkı miktarının artmasına bağlı olarak kritik akım yoğunluğunun düşmesi olayı; sezyumlu numuneler için gözlenmedi. Sezyum katkı miktarının artması kritik akım yoğunluğu değerinde bir miktar artışa sebep olmuştur.



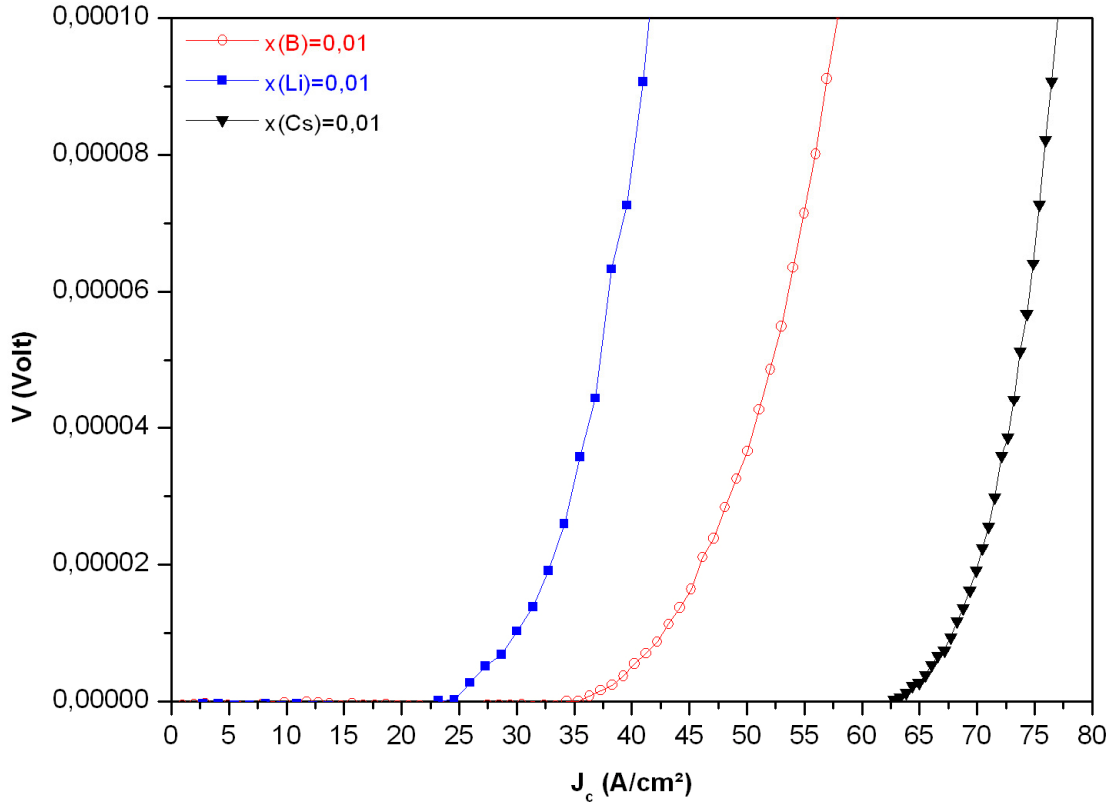
Şekil 3.10 $\text{YBa}_{2-x}\text{Li}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri

Şekil 3.11’de $\text{YBa}_{1,995}\text{M}_{0,005}\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($\text{M}=\text{B}, \text{Li}, \text{Cs}$) süperiletken bileşikleri için 77 K’deki kritik akım yoğunluğu ölçümleri görülmektedir. Bor katkılı numunede kritik akım yoğunluğu yaklaşık 65 A/cm^2 , lityum ve sezyum katkılı numunelerde ise yaklaşık 55 A/cm^2 ’dir. Borlu numunenin J_c değerinin diğerlerinden belirgin bir şekilde daha yüksek olması, Şekil 3.5’den görülebileceği gibi elektriksel özdirenç değişimleri ile de doğrulanmaktadır.



Şekil 3.11 YBa_{1,995}M_{0,005}Cu₃O_{7-y} (M=B, Li, Cs) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri

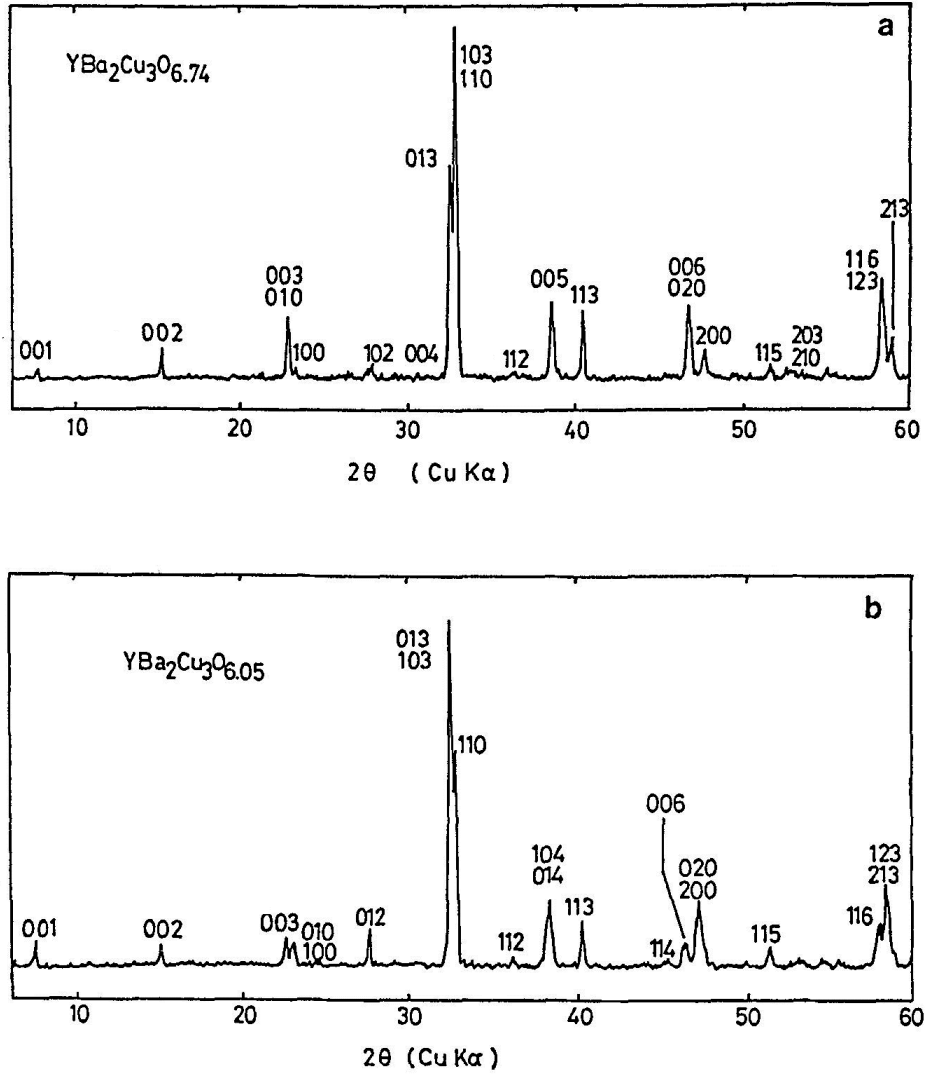
Şekil 3.12’de YBa_{1,99}M_{0,01}Cu₃O_{7-y} (M=B, Li, Cs) bileşikleri için 77 K’deki kritik akım yoğunluğu ölçümleri görülmektedir. Bor katkı miktarı x=0,005 için yaklaşık 70 A/cm²’lik kritik akım yoğunluğu gözlenirken; katkı miktarının iki katına çıkmasıyla (x=0,01) J_c değeri yarı yarıya düşmüştür (≈ 37 A/cm²). Sezyum katkılı numune için kritik akım yoğunluğu değeri yaklaşık 65 A/cm² ve lityum katkılı numune için ise yaklaşık 22,5 A/cm² olarak gözlenmiştir. Yani, lityum katkısı için, katkı miktarının iki katına çıkması, kritik akım yoğunluğunu yarıya düşürmüştür; sezyumlu katkıda ise 10 A/cm²’lik bir artışa sebep olmuştur.



Şekil 3.12 $YBa_{1,99}M_{0,01}Cu_3O_{7-y}$ ($M=B, Li, Cs$) numunelerinin kritik akım yoğunluğu değişim eğrileri

3.4. XRD Ölçümleri

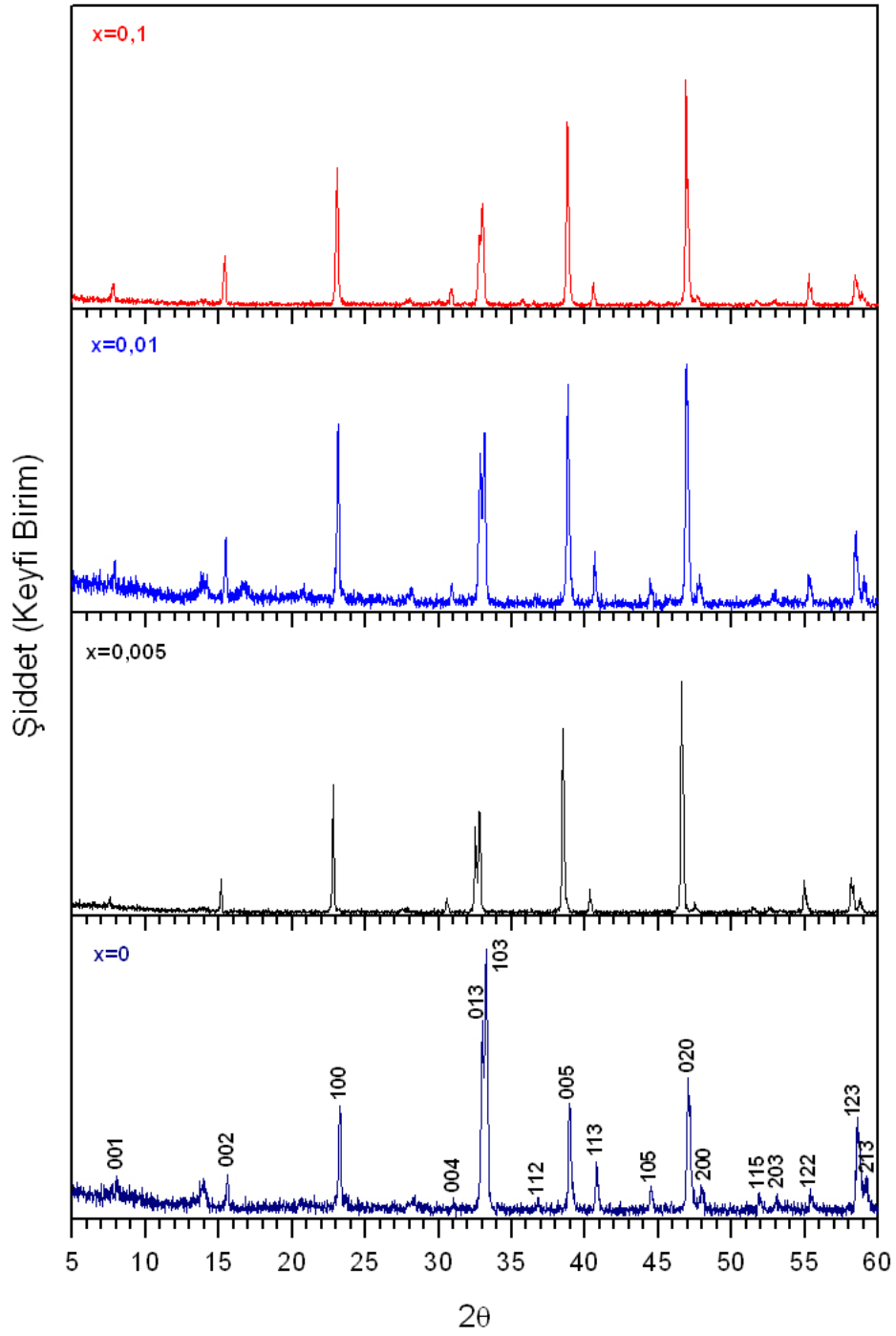
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ bileşiklerinin karakteristik x-ışınları toz kırınım desenleri, Şekil 3.13'deki gibidir. Şekilden de görülebileceği gibi, oksijen kaybına bağlı olarak kristal yapı, ortorombikten, tetragonale doğru değişmektedir.



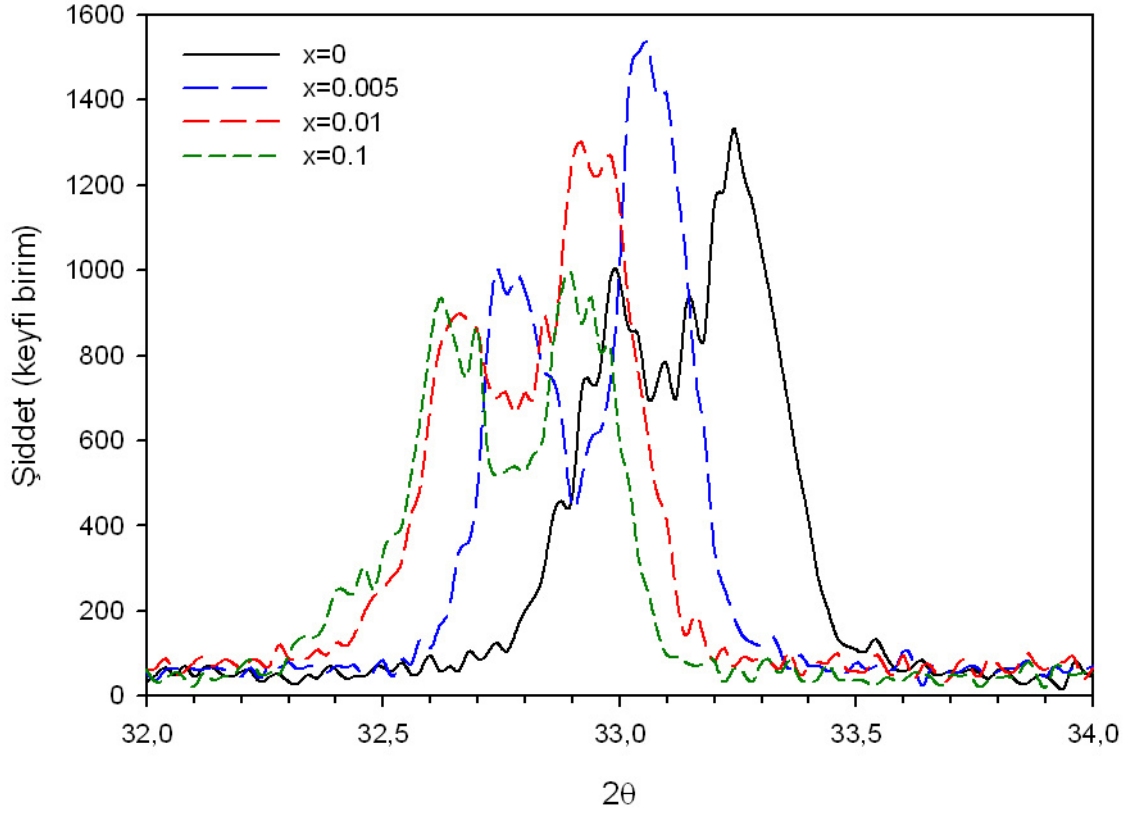
Şekil 3.13 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ bileşiğinin (a) ortorombik, (b) tetragonal yapıdaki x-ışını toz kırınım desenleri

Bu değişim, kırınım deseninde yaklaşık olarak $2\theta=32,5^\circ$ 'de bulunan (013) piki ve $2\theta=32,8^\circ$ 'de bulunan (103) pikleri ile $2\theta=46,7^\circ$ 'de bulunan (020) piki ile $2\theta=47,5^\circ$ 'de bulunan (200) piklerinden görölmektedir. Oksijen miktarı azaldıkça ikinci piklerin (103 ve 200) şiddetleri, birincilerden (013 ve 020) büyük olmaktadır.

Buna göre, Şekil 3.14'de bor katkısı yapılmış numunelere ait x-ışını toz kırınım deseni incelendiğinde (103) ve (020) piklerinin (013) ve (200) piklerinden yüksek olduğu görölmektedir. Yani, numunelerde ana faz ortorombiktir. Bu durum, hem Meissner etkisi ile hem de elektriksel özdirenç değişimleri ile doğrulanmıştır.



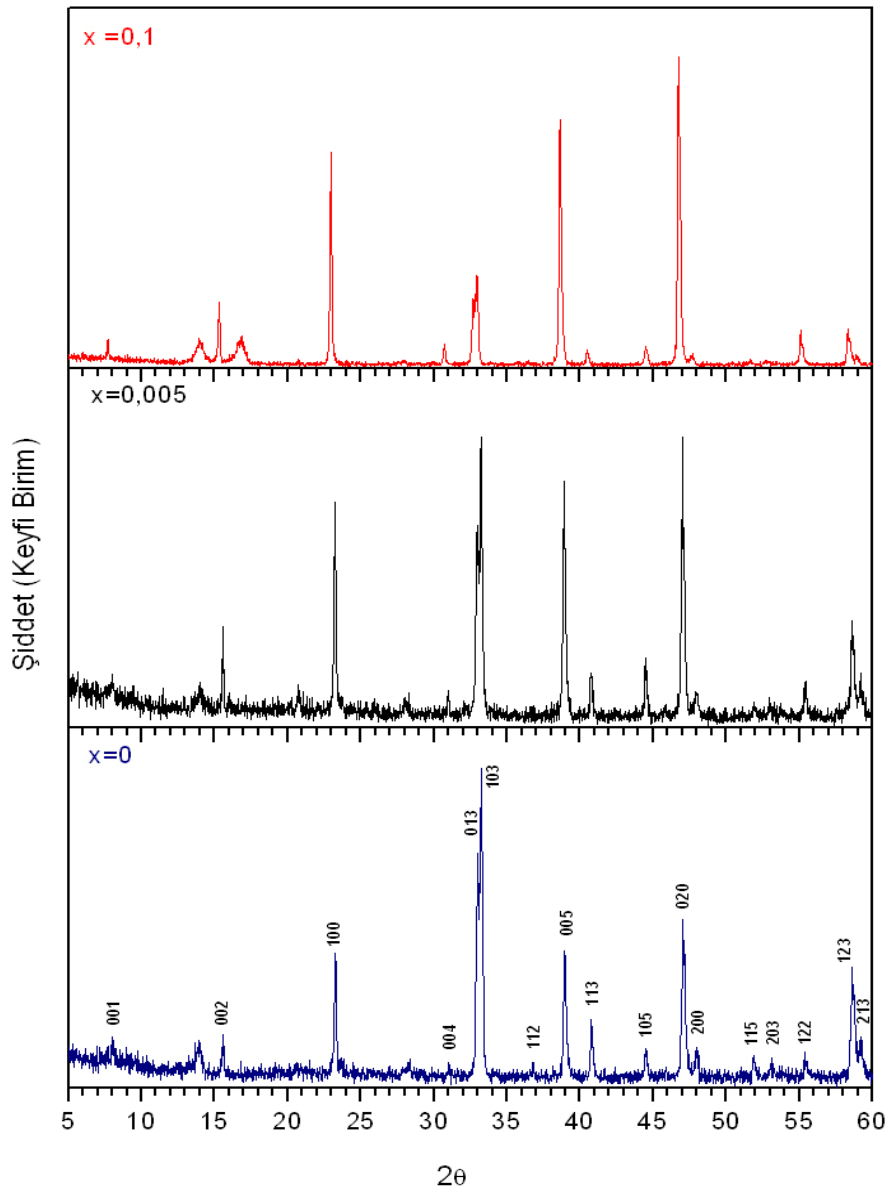
Şekil 3.14 Bor katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $\text{YBa}_{2-x}\text{B}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ numunelerinin x-ışını toz kırınım desenleri



Şekil 3.15 Bor katkılı ($x=0$; 0,005; 0,01; 0,1) $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin $32-34^\circ$ aralığındaki x-ışını kırınım desenleri

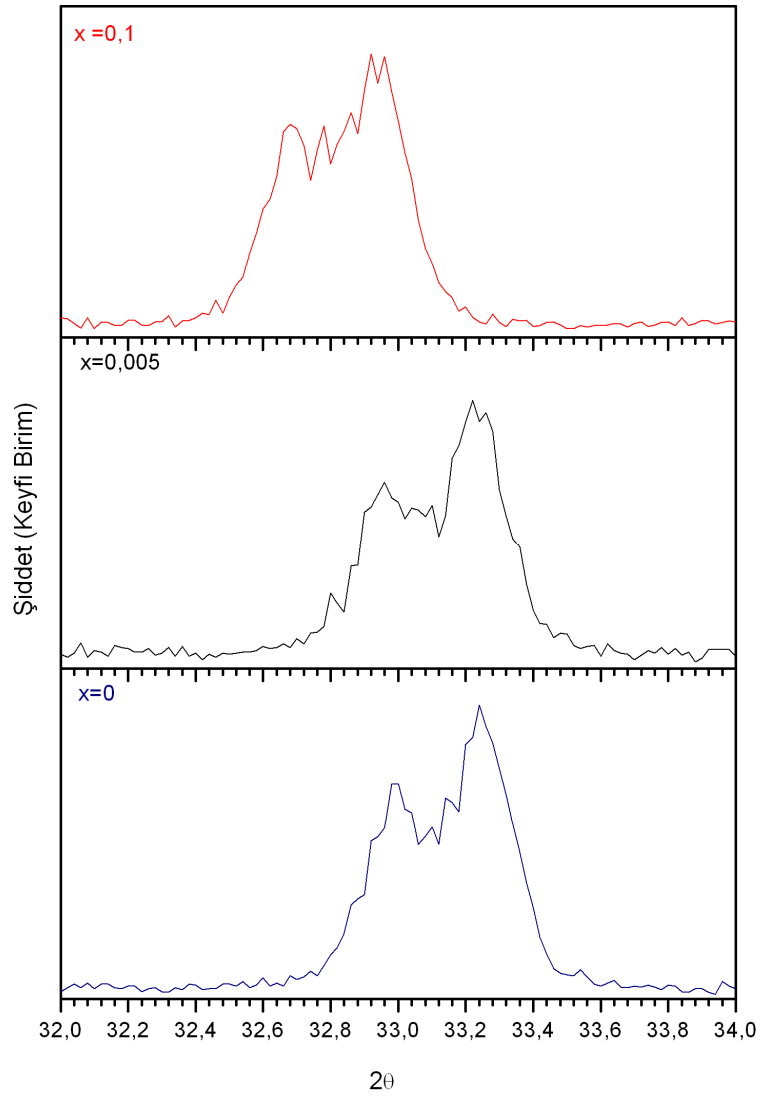
Şekil 3.15'in incelenmesi sonucu, bor katkı miktarının artmasıyla ortorombik 123-ana fazına ait hem (013) pikinin ve hem de (103) pikinin konumunun gittikçe sola doğru kaydığı gözlenmektedir. Dolayısıyla bor katkı miktarının daha fazla artması, yapıyı tetragonal hâle getirmektedir⁽⁴⁹⁾. Bu durum, Azzouz ve arkadaşlarının⁽⁴⁸⁾ çalışmalarıyla da uyumludur.

Şekil 3.16’da lityum katkısı ($x=0, 0,005, 0,1$) için x-ışınları toz kırınım desenleri görülmektedir. Buna göre, lityum katkısı artmasına rağmen (103) ve (020) piklerinin, (013) ve (200) piklerinden yüksek yani, süperiletken olan ortorombik fazın baskın olduğu görülmektedir. Bu durum, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, elektriksel özdirenç değişimleri ile de doğrulanmaktadır.



Şekil 3.16 Lityum katkılı ($x=0, 0,005, 0,1$) $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin x-ışını toz kırınım desenleri

Şekil 3.17’de lityum katkısına göre (013) ve (103) piklerinin değişimi görülmektedir. Buna göre, lityum katkı miktarının artmasıyla ortorombik 123-ana fazına ait hem (013) pikinin ve hem de (103) pikinin konumunun, bor katkılı numunelerde olduğu gibi gittikçe sola doğru kaydığı gözlenmektedir. Yani, düzlemler arası d -mesafesi bir miktar artmaktadır. Bu da katkının ara yerlere nüfus ettiğini düşündürmektedir.

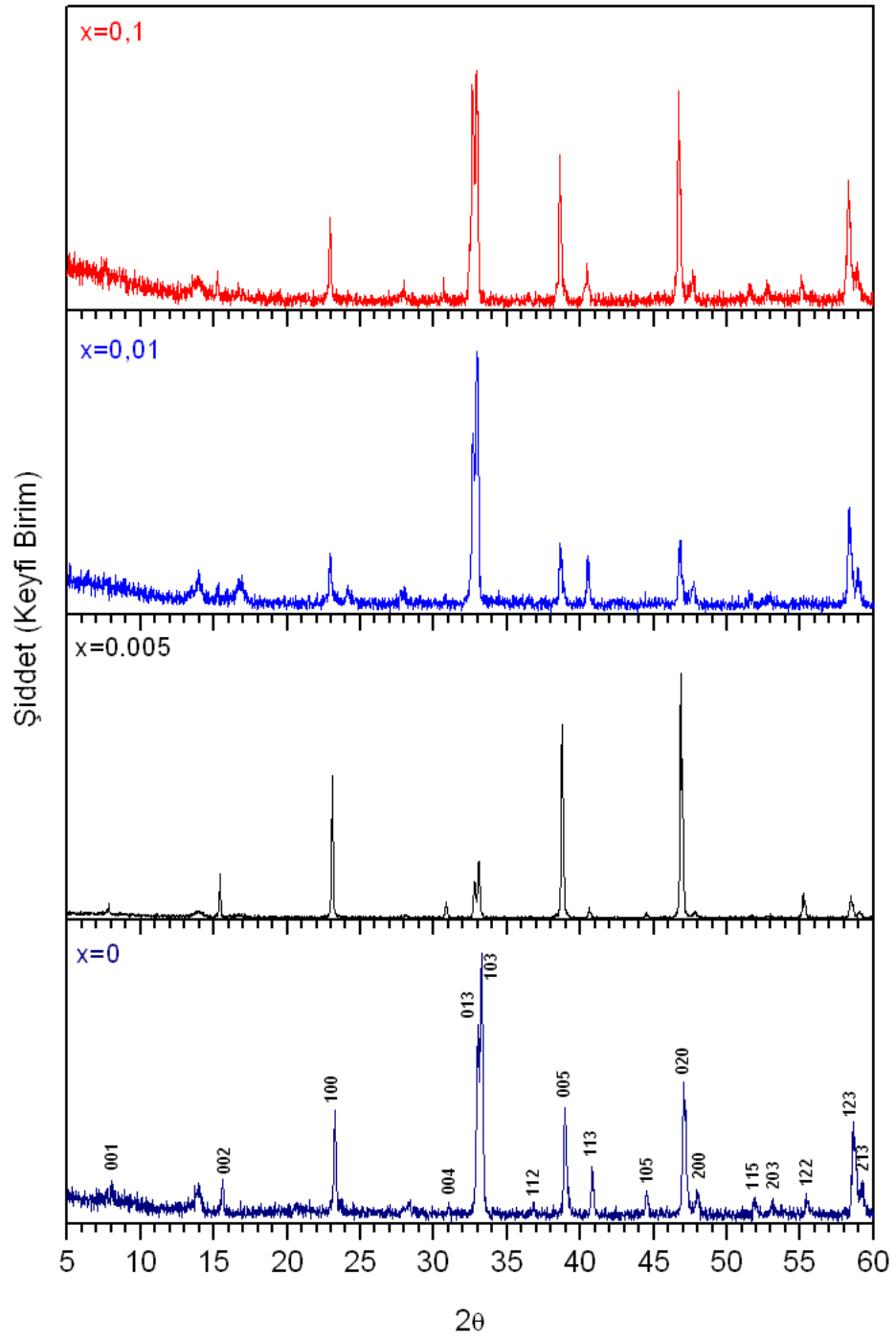


Şekil 3.17 Lityum katkılı ($x=0, 0,005, 0,1$) $\text{YBa}_{2-x}\text{Li}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ numunelerinin $32\text{--}34^\circ$ aralığındaki x-ışını toz kırınım desenleri

Sezyum katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğine ait x-ışını toz kırınım desenleri de Şekil 3.18'de görülmektedir. Buna göre, numunelerin tavlama sonucunda yapısal faz oluşumlarının tamamlandığı ve ortaya çıkan piklerin literatürde verilen⁽⁵²⁻⁵⁴⁾ $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ pikleri ile uyum içinde oldukları görülmektedir. Süperiletken olmayan tetragonal faza ait pikler, net olarak görülmemektedir. Katkı miktarının artmasıyla birlikte (020) piki sola doğru kaymış; dolayısıyla 2θ değerinde bir azalma olmuştur. Yani, d mesafesi, bir miktar artış göstermiştir.

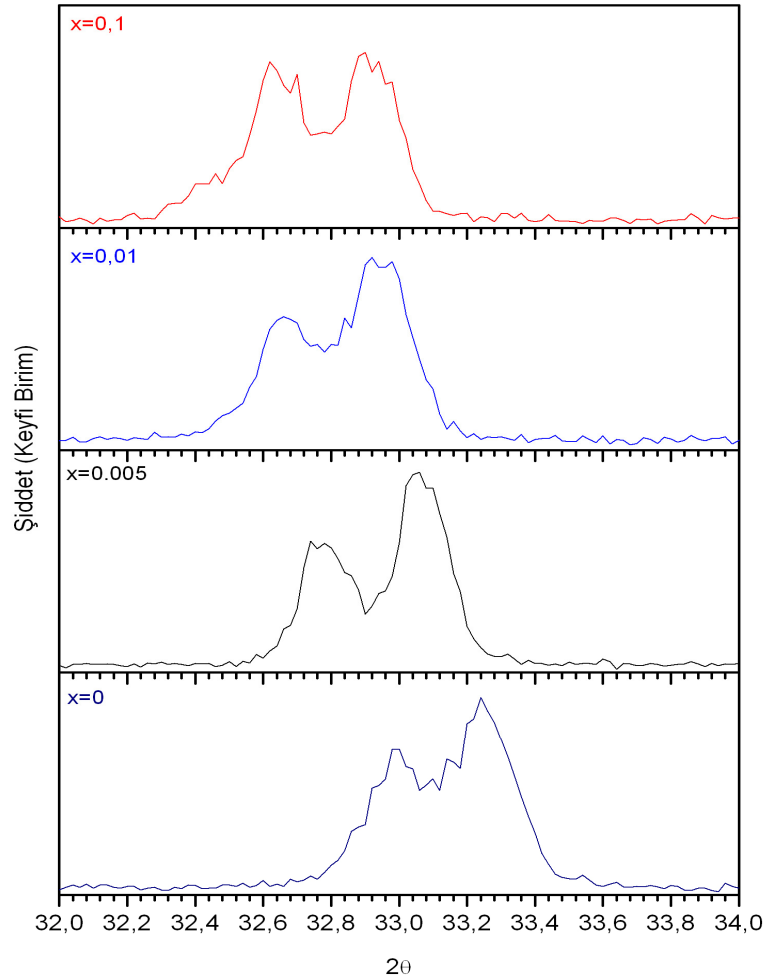
Katkı oranı en yüksek olan $x=0,1$ numunesi için (013) pikinin şiddetinin (103) piki mertebesine yaklaşmış olması, sezyum katkısının, tetragonal fazın oluşumuna neden olduğunu düşündürmektedir. (100) ve (005) piklerinin konumları da sola doğru bir miktar kaymıştır.

ICDD (The International Centre for Diffraction Data) verilerine dayanılarak, sezyuma ait karakteristik piklerin, numune pikleriyle karşılaştırılması sonucu, herhangi bir karakteristik Cs piki gözlenmemiştir. Bu da, Ba atomları yerine katılan Cs atomlarının, kristal yapıda Ba atomlarının yerine büyük bir olasılıkla yerleştiklerini göstermektedir.



Şekil 3.18 Sezyum katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $\text{YBa}_{2-x}\text{Cs}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ numunelerinin x-ışını toz kırınım desenleri

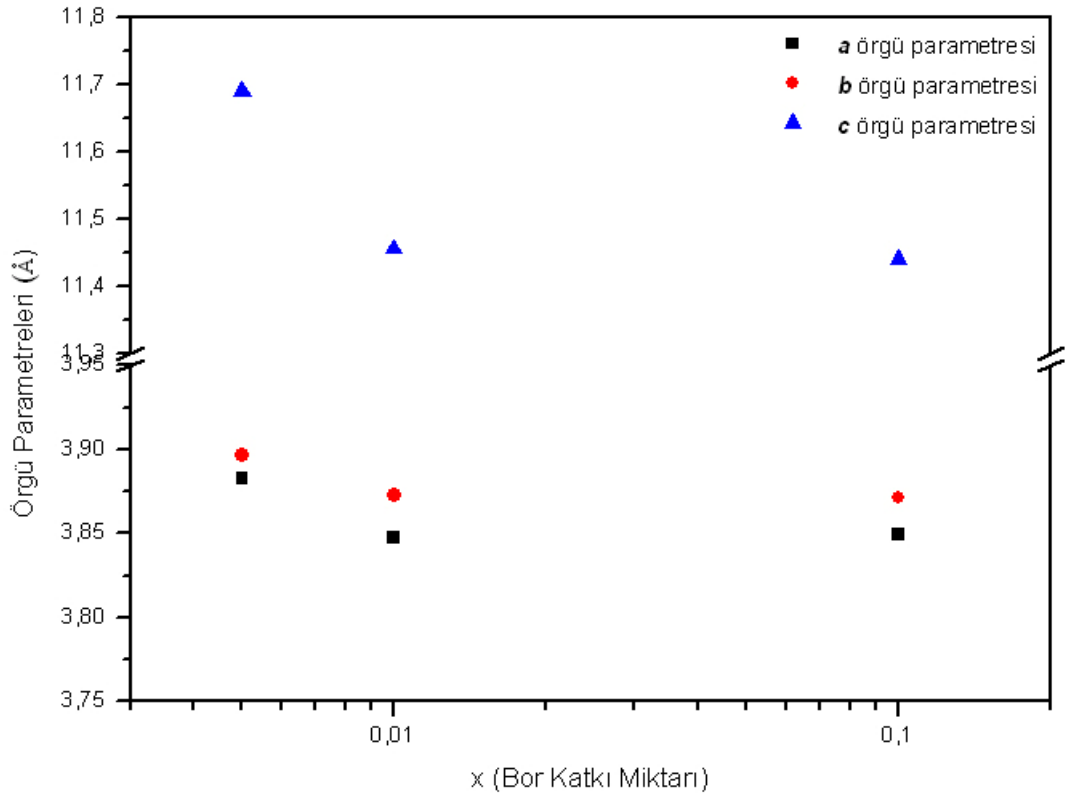
Şekil 3.19’da sezyum katkılı $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiklerinin, $2\theta=32-34^\circ$ arasındaki x-ışını toz kırınım desenleri görülmektedir. Buna göre sezyum katkı miktarının artmasıyla ortorombik 123-ana fazına ait hem (013) pikinin ve hem de (103) pikinin konumunun bor ve lityum katkılı numunelerde olduğu gibi gittikçe sola doğru kaydığı gözlenmektedir. $x=0,1$ katkılı örneğin $2\theta=32-34^\circ$ aralığındaki iki pikinin şiddetinin hemen hemen eşit çıkmış olması, tetragonal yapıya işaret etmektedir.



Şekil 3.19 Sezyum katkılı ($x=0, 0,005, 0,01, 0,1$) $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ numunelerinin $32-34^\circ$ aralığındaki x-ışını toz kırınım desenleri

3.5. Örgü Parametreleri

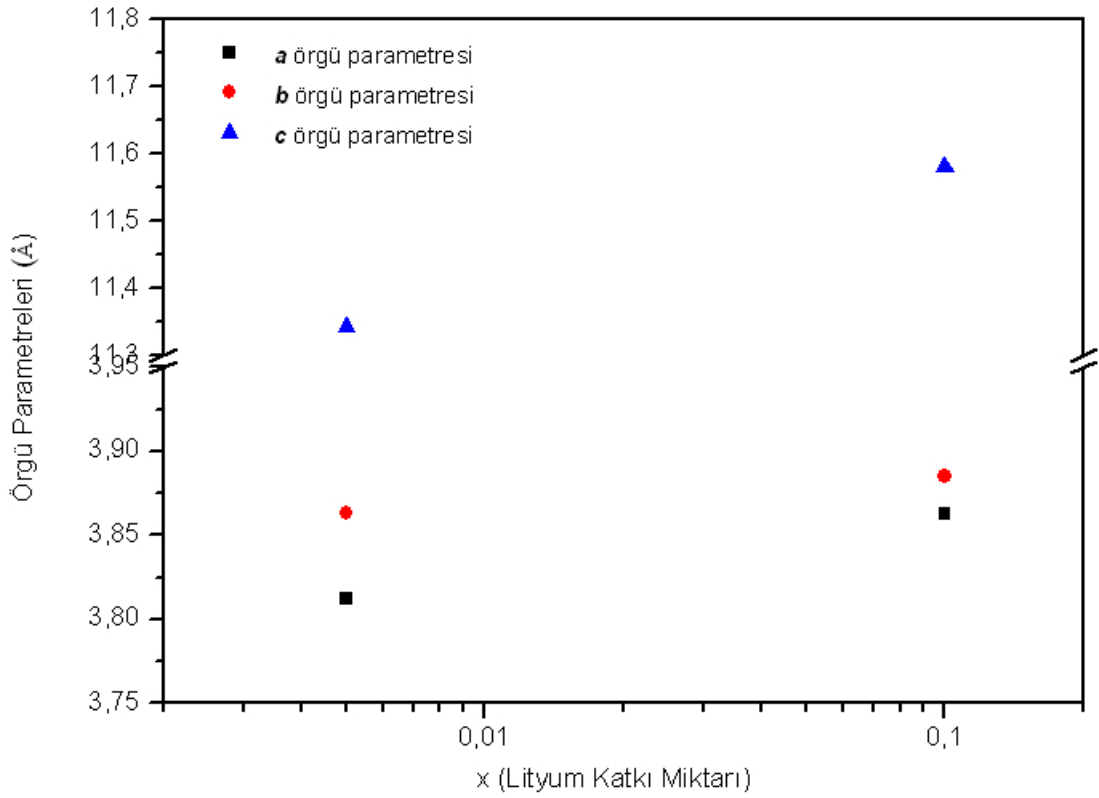
X-ışını toz kırınım desenlerinden faydalanılarak; borlu, sezyumlu ve lityumlu numunelerin her biri için örgü parametreleri hesaplandı. Şekil 3.20’de bor katkısına karşı örgü parametrelerinin değişimi görülmektedir. Buna göre, katı miktarının artmasıyla birlikte a ve b -örgü parametrelerinin birbirlerine yakın bir şekilde hareket ettikleri ve azda olsa bir azalma sergiledikleri görülmektedir. Bilindiği gibi oksijen eksikliği y -ekseni boyunca ortaya çıktığından b -örgü parametresi a -örgü parametresinden daha büyük olmalıdır.



Şekil 3.20 a , b ve c -örgü parametrelerinin bor katkı miktarına göre değişimi

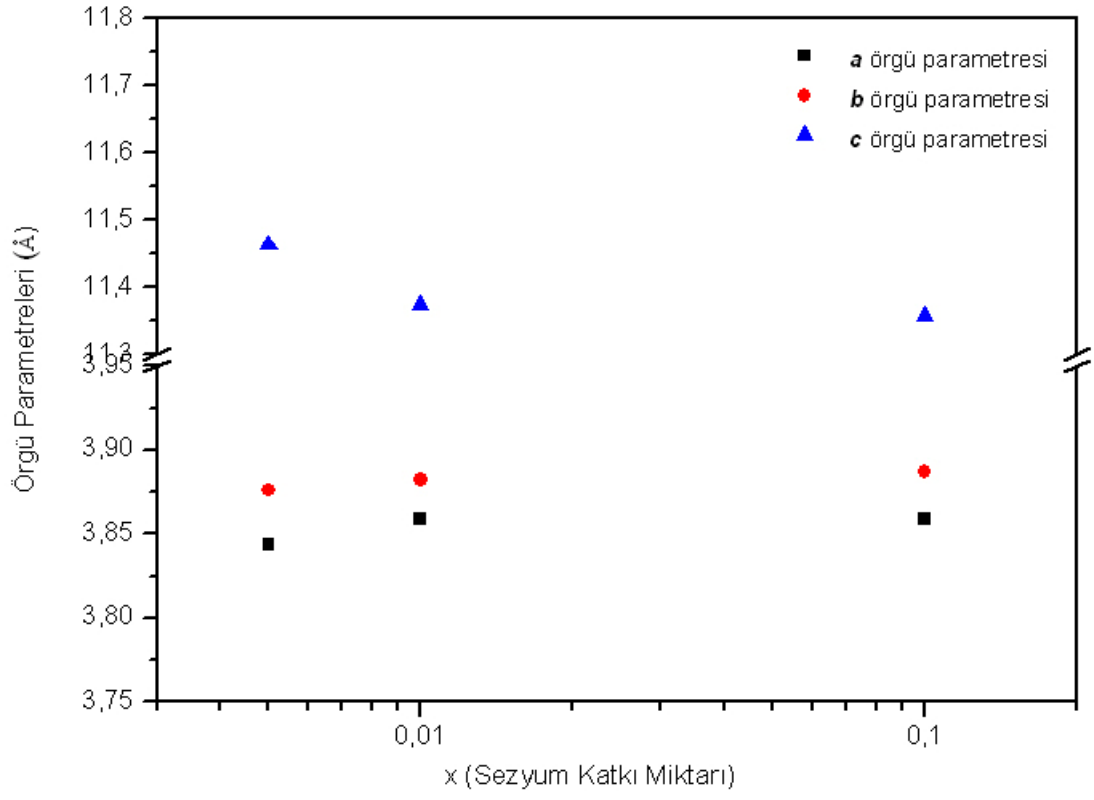
Eğer iyonik yarıçapı küçük olan bir elementle iyonik yarıçapı büyük olan bir element birim hücrede yer değiştirirse ve bu element birim hücrenin uzay boşluğunda yer alıyorsa; c -örgü parametresinin küçüleceği söylenebilir. Bu durumda, baryum elementinin iyonik yarıçapının $1,35 \text{ \AA}$ ve bor elementinin iyonik yarıçapının $0,23 \text{ \AA}$ olmasından dolayı c -örgü parametresinin azalacağı rahatlıkla söylenebilir. Çünkü Şekil 3.20'den görülebileceği gibi 123 -fazının birim hücresinde baryum iyonları, yitriumun alt ve üst tarafında yer almaktadırlar.

Şekil 3.21'de lityum katkı miktarına bağlı olarak a , b ve c -örgü parametrelerinin değişimi görülmektedir. Buna göre, katkı miktarının artması, lityumlu numunede a -örgü parametresinin hızla artmasına sebep olurken; b -örgü parametresi nispeten daha az bir artış göstermiştir. Benzer şekilde katkı miktarının artmasıyla birlikte c -örgü parametresi de artış göstermiştir.



Şekil 3.21 *a*, *b* ve *c*-örgü parametrelerinin lityum katkı miktarına göre değişimi

Şekil 3.22’de sezyum katkı miktarına bağlı olarak *a*, *b* ve *c*-parametrelerinin değişimi görülmektedir. Buna göre, katkı miktarının artmasıyla *a* ve *b*-örgü parametrelerinin belirgin bir artış göstermediği, buna rağmen *c*-örgü parametresinin bir miktar azaldığı görülmektedir. Buna, baryum atomları yerine giren sezyumun iyonik yarıçapının büyük olması (1,67 Å) nedeniyle O(5) boşluklarından dolayı *a*-eksenini bir miktar genişletmesinin ve böylece *c*-ekseninin bir miktar büzülmesinin neden olduğu tahmin edilmektedir. *b*-ekseninde bulunan O(1) iyonları nedeniyle *a* ve *b*-parametresinde çok fazla bir değişme olmayacağı tahmin edilmektedir. Bu durum 2006 yılında Ö. Bağ⁽⁴⁶⁾ tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinde de ele alınmış ve benzer bulgular ortaya çıkmıştır.

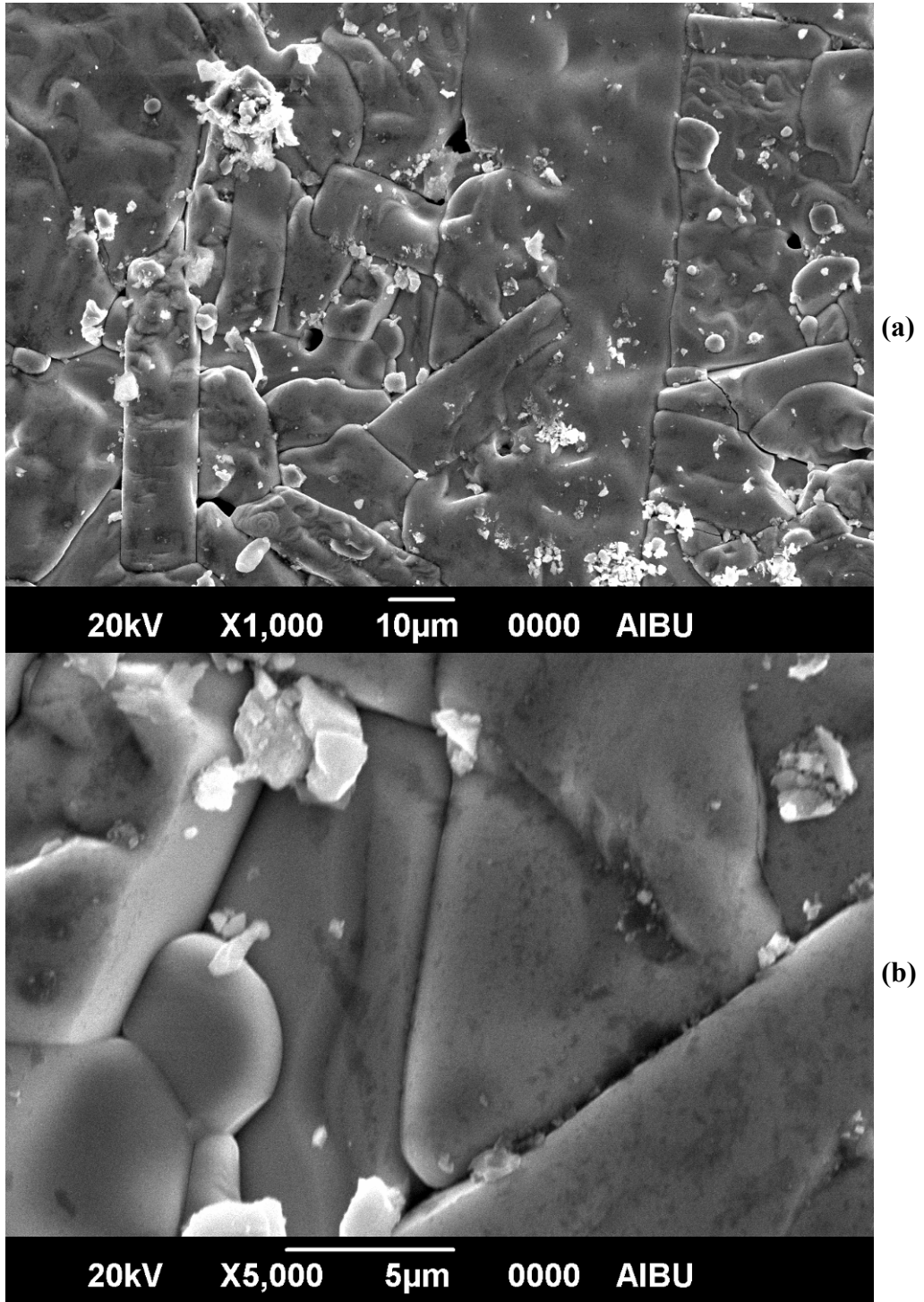


Şekil 3.22 *a*, *b* ve *c*-örgü parametrelerinin sezyum katkı miktarına göre değişimi

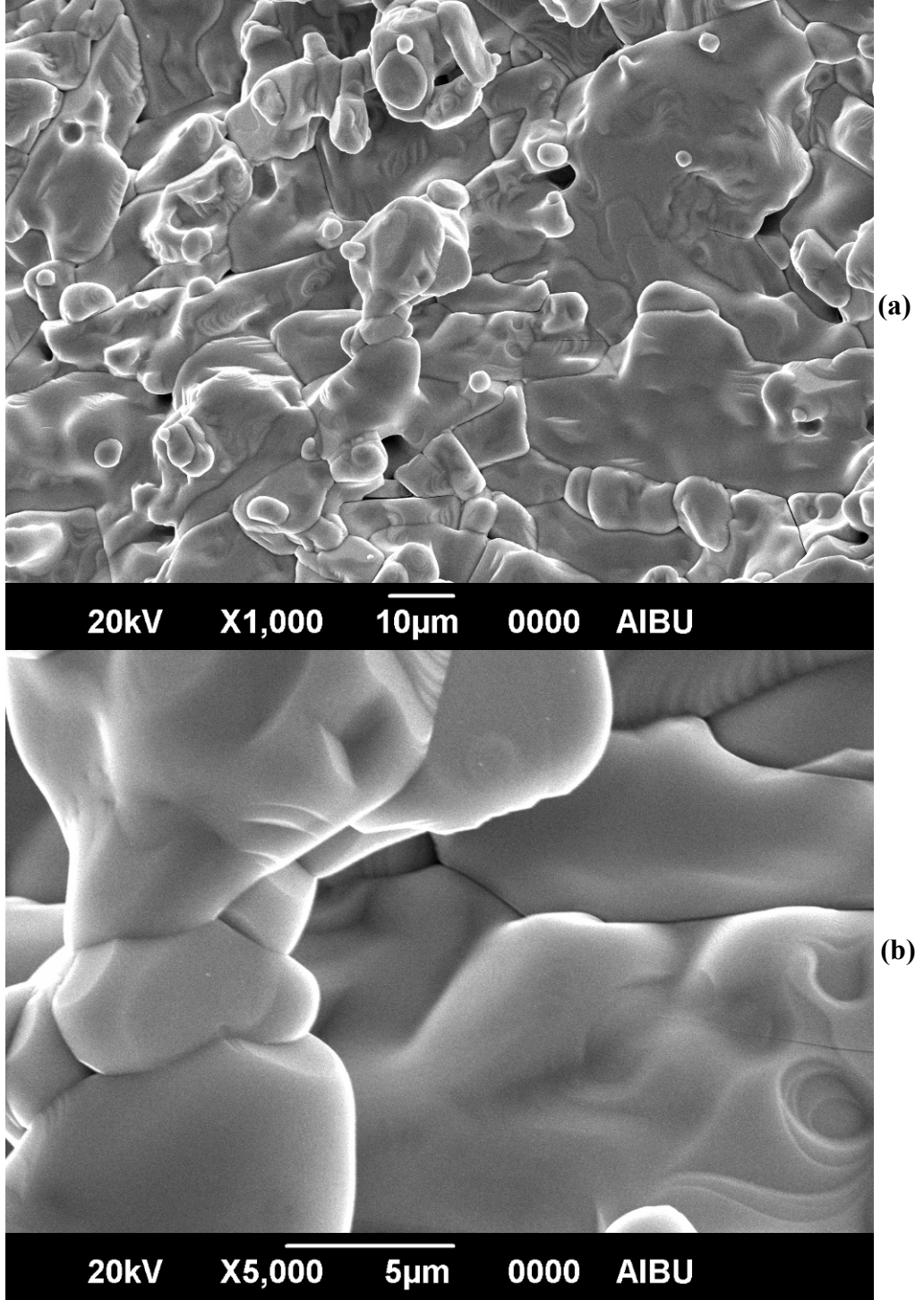
3.6. SEM İle İnceleme

i) Bor Katkılı Numuneler

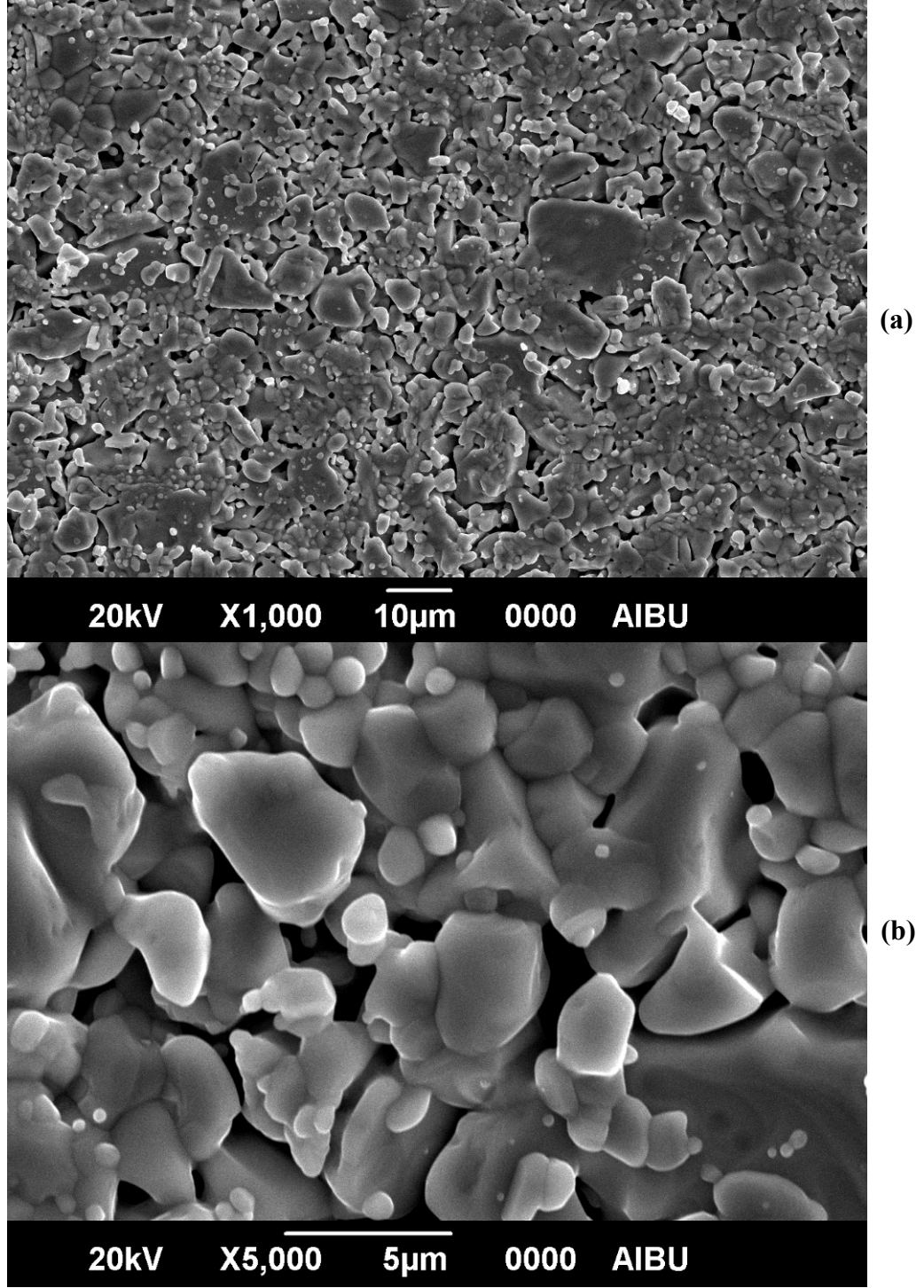
Şekil 3.23–3.25, klasik katıhal tepkime yöntemiyle üretilmiş olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile 1000 ve 5000 kez büyütme sonucu elde edilmiş fotoğraflarını göstermektedir. Buna göre; bor katkı miktarının artmasının, borun erime sıcaklığının yüksek olmasından dolayı, malzemenin erime sıcaklığının bir miktar yukarı çekilmesine neden olduğu ve böylece büyük tanelerin oluşmasını engellediği düşünülmektedir. Bor katkısı, muhtemelen YBCO'daki sıvı fazın oluşumunu arttırdığından, normalden çok daha iri tanelerin oluşumuna ve bu tanelerin birbirlerine çok iyi temasına neden olmuştur. Katkı miktarı $x=0,1$ olduğunda ise tane boyutu oldukça küçüldüğünden, taneler arası temas zayıflamakta, dolayısıyla malzeme gözenekli bir hâle gelmekte ve Şekil 3.8'de gösterildiği gibi J_c değeri de buna bağlı olarak azalmaktadır.



Şekil 3.23 Bor Katkı miktarı $x=0,005$ olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü



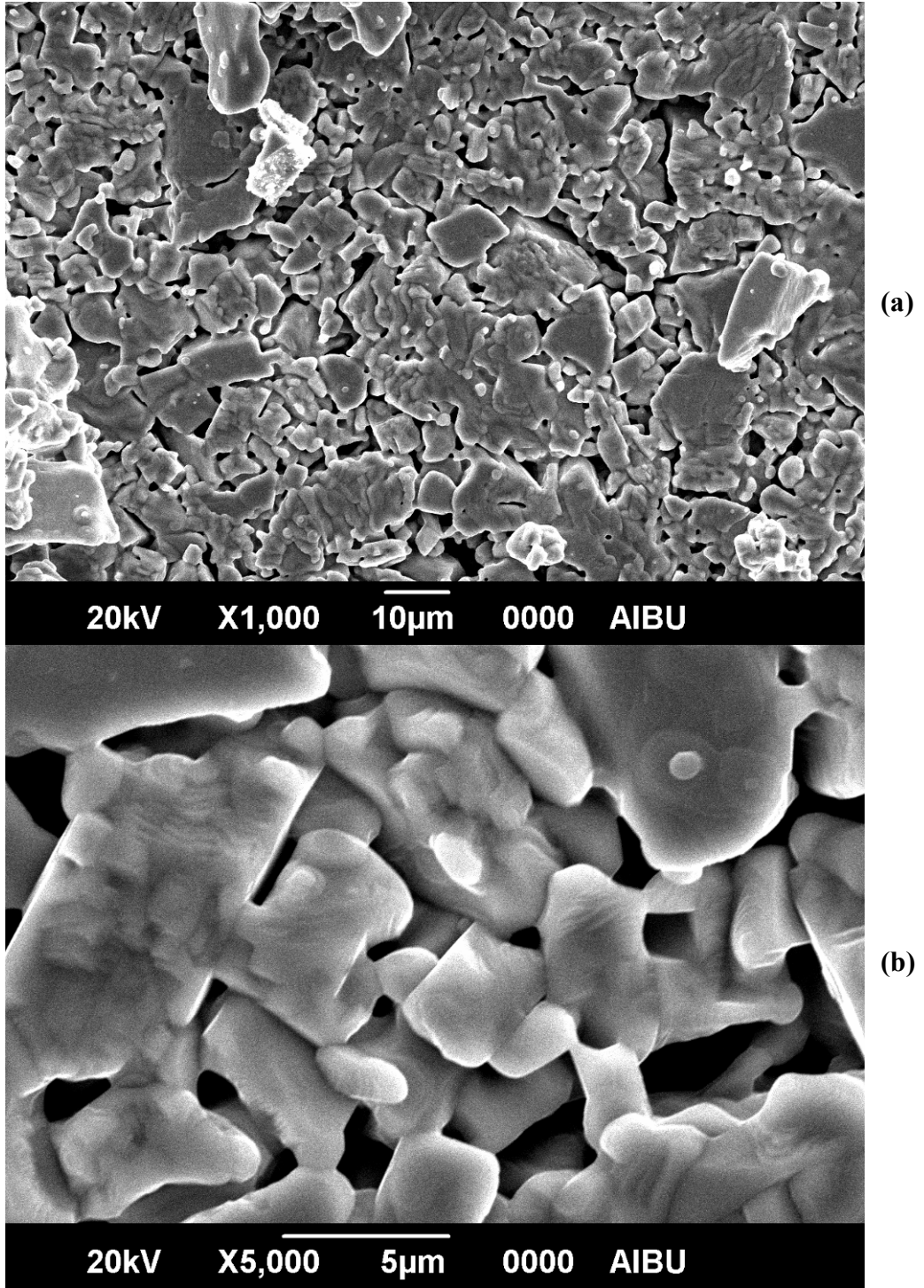
Şekil 3.24 Bor Katkı miktarı $x=0,01$ olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü



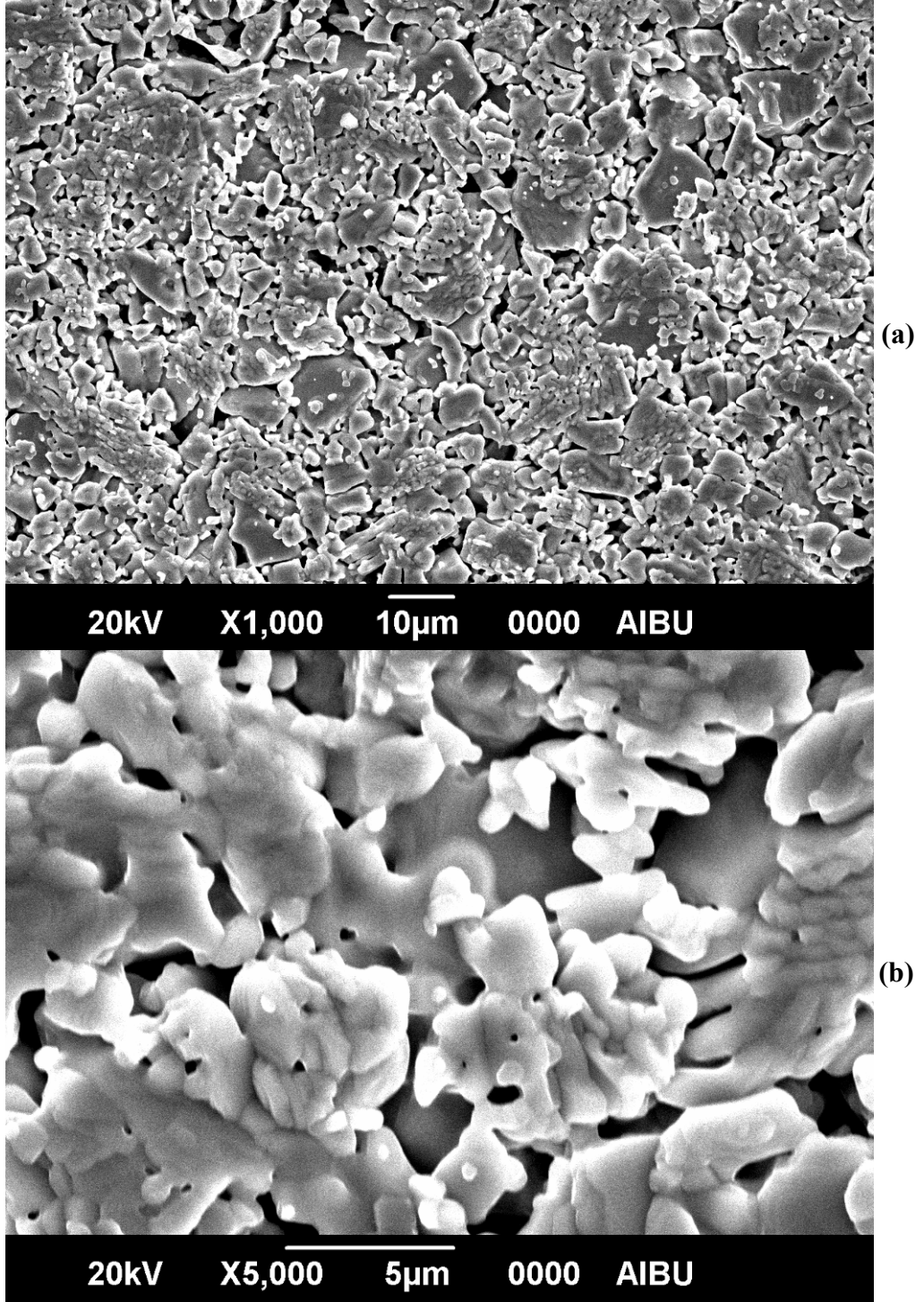
Şekil 3.25 Bor katkı miktarı $x=0,1$ olan $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

ii) Lityum Katkılı Numuneler

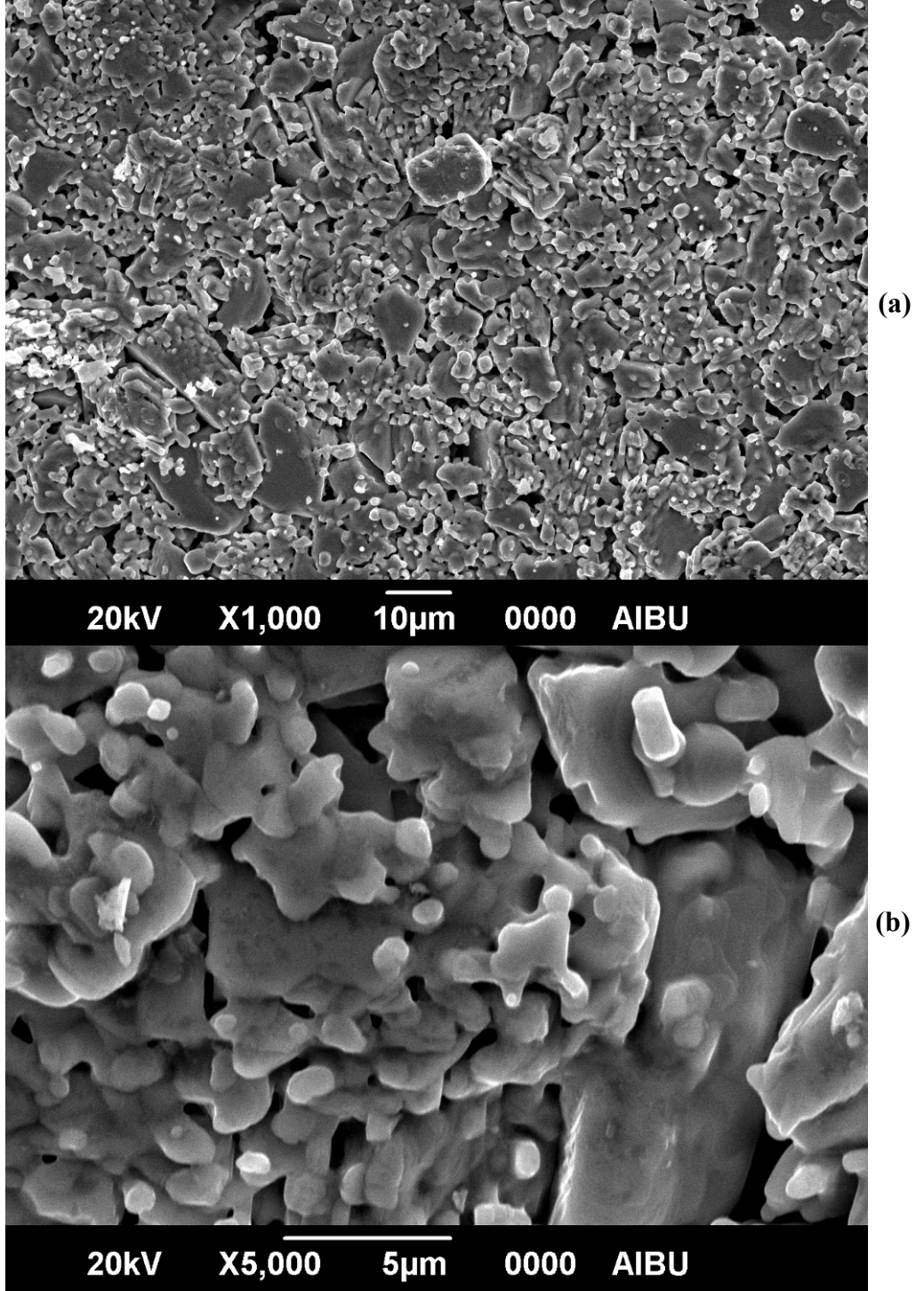
Şekil 3.26–3.28, klasik katıhal tepkime yöntemiyle üretilmiş olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile 1000 kez ve 5000 kez büyütme sonucu elde edilmiş fotoğraflarını göstermektedir. Buna göre, numune yüzeyinde genellikle küçük taneler gözlenirken, iç kısımlarda daha iri tanelerin olduğu görülmektedir. Bor katkılı numuneye kıyasla, taneler arası temas daha zayıftır. Özellikle $x=0,01$ ve $x=0,1$ lityum katkılı numunelerde taneler arası boşluklar fazladır. Bu da kritik akım yoğunluğu değerlerinin düşük olmasına neden olmaktadır. Şekil 3.9'daki kritik akım yoğunluğu ölçüm sonuçlarına göre $x=0,01$ ve $x=0,1$ katkılı numunelerde J_c değerlerinin düşük olduğu net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.26 Lityum katkı miktarı $x=0,005$ olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü



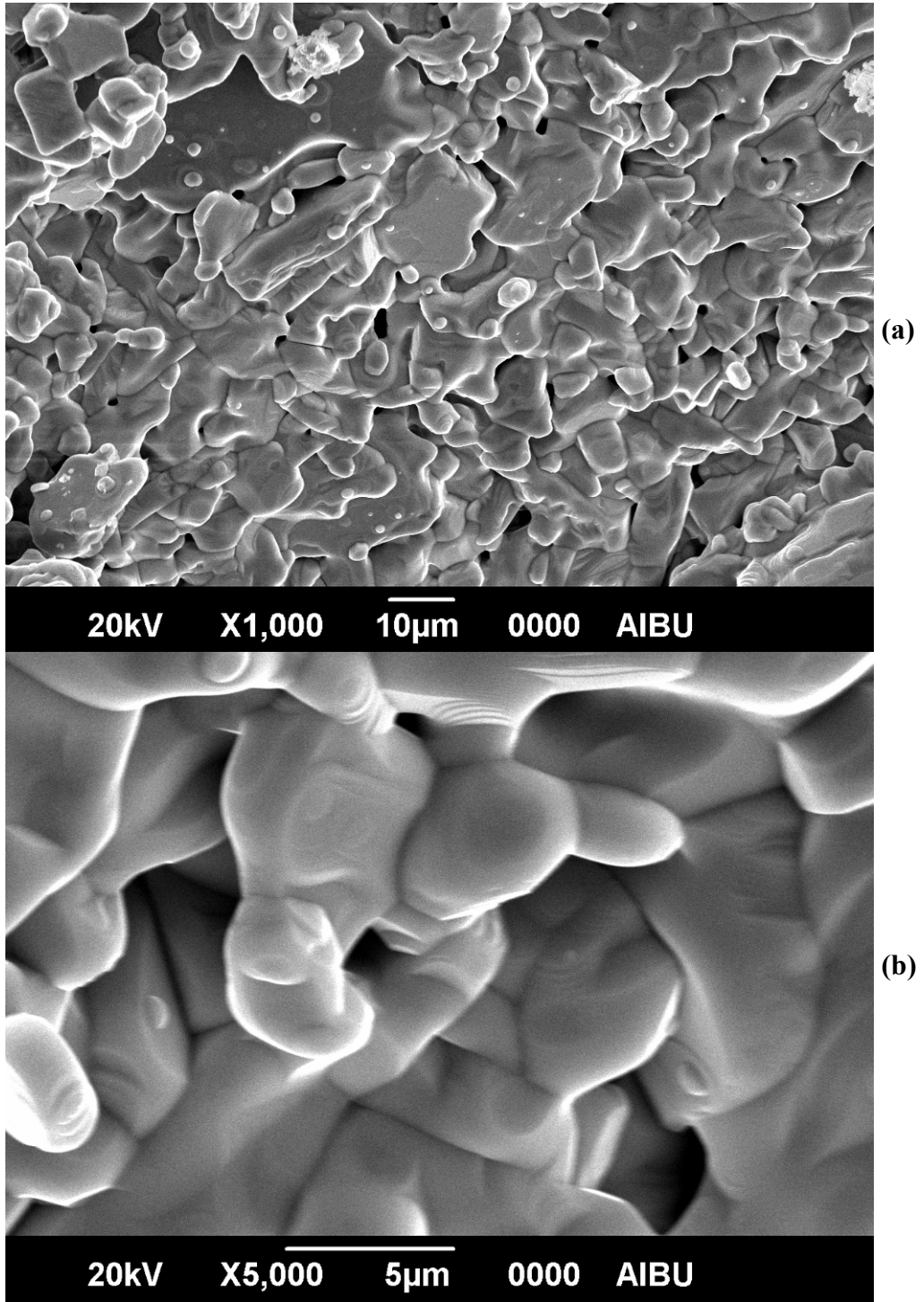
Şekil 3.27 Lityum katkı miktarı $x=0,01$ olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü



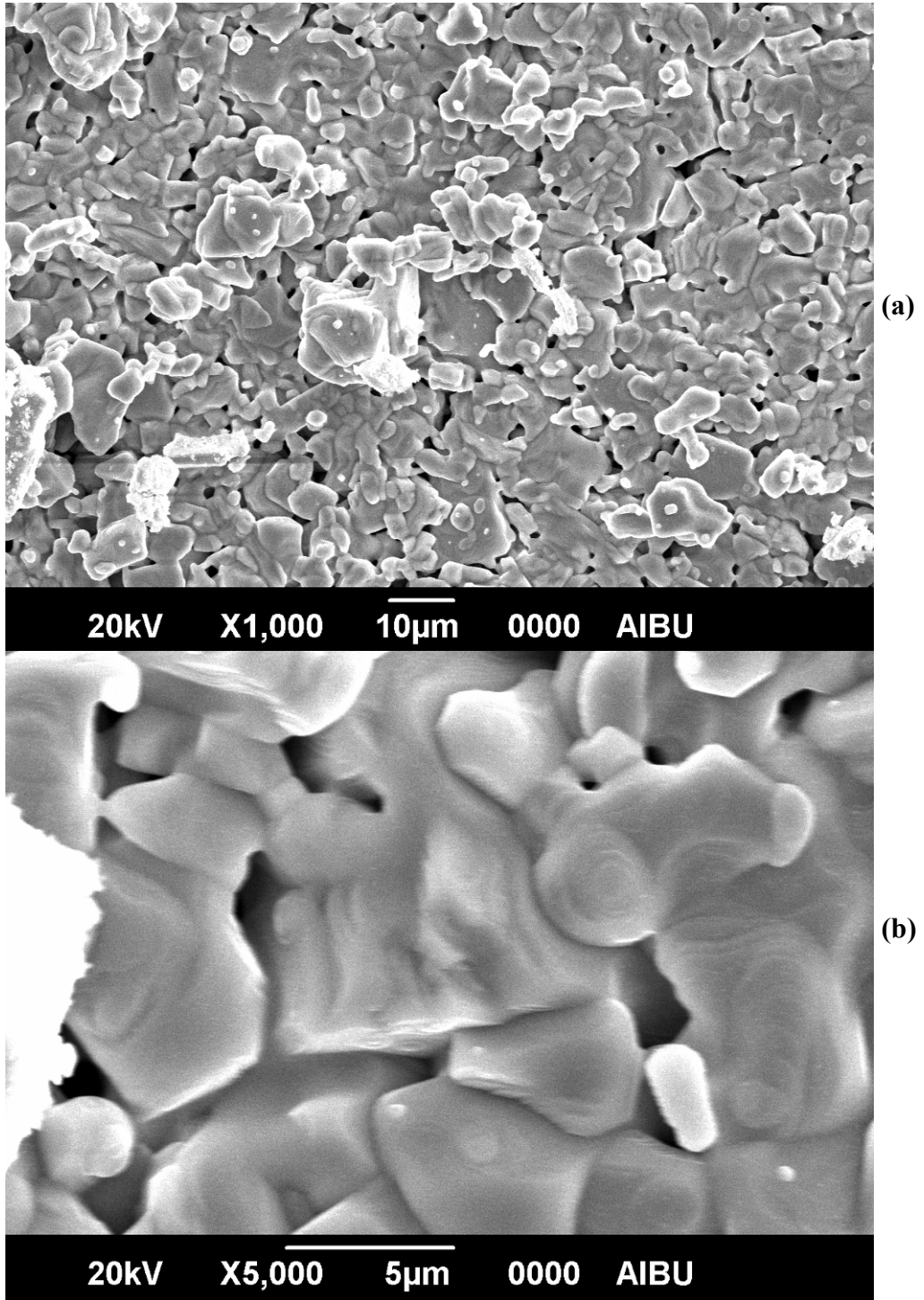
Şekil 3.28 Lityum katkı miktarı $x=0,1$ olan $YBa_{2-x}Li_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

iii) Sezyum Katkılı Numuneler

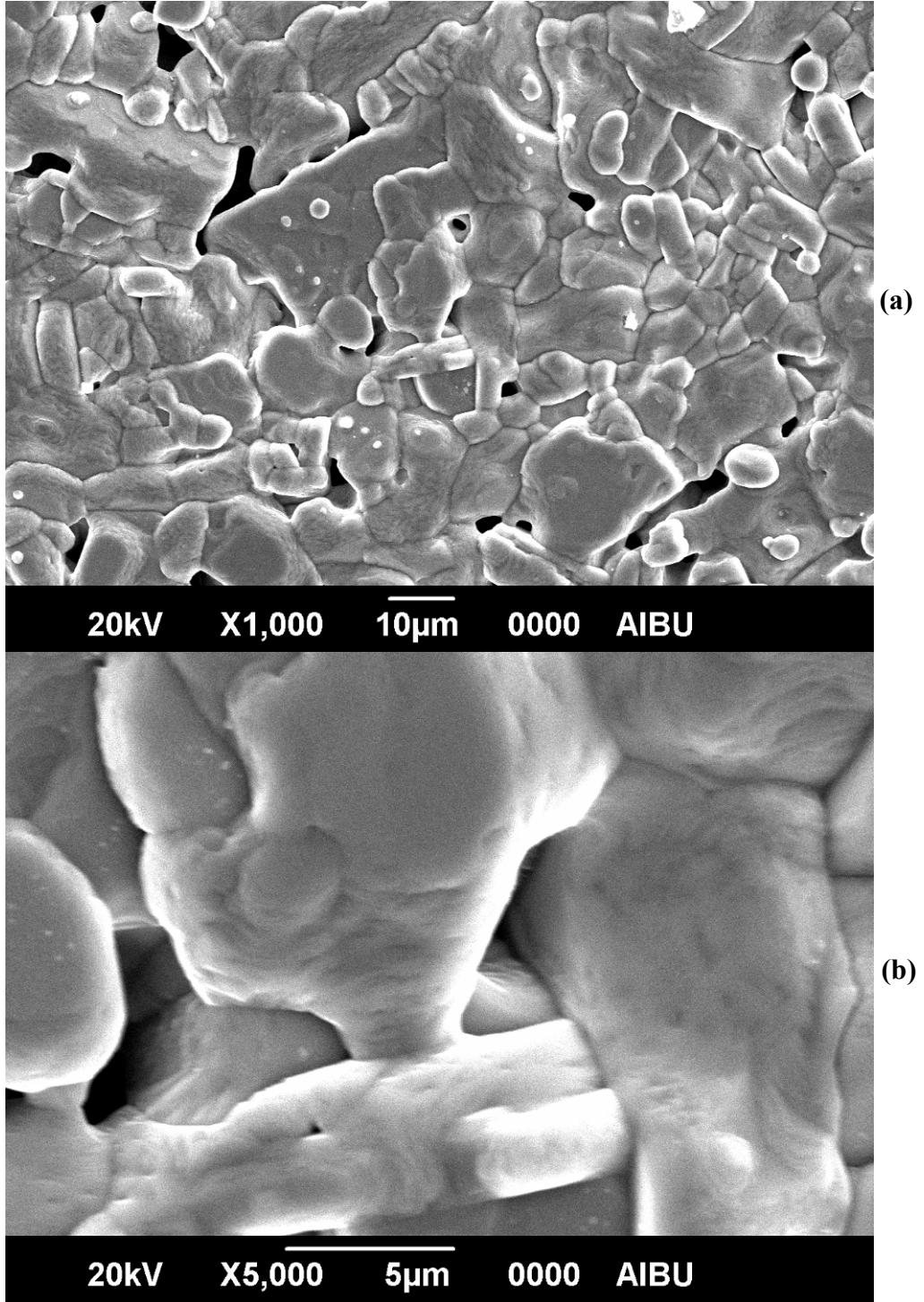
Şekil 3.29–3.31, $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ ($x=0,005, 0,01, 0,1$) numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu ile 1000 kez ve 5000 kez büyütme sonucu elde edilmiş fotoğraflarını göstermektedir. Buna göre, $x=0,005$ sezyum katkılı numunede taneler arasındaki boşluk diğer iki katkıya göre daha fazladır. Bunun sonucu olarak $x=0,005$ sezyum katkılı numunenin kritik akım yoğunluğu değerinin daha düşük olması beklenir. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi sezyumun kritik akım yoğunluğu değerleri, bu yöndeki varsayımı doğrulamaktadır. Bunun yanında $x=0,1$ katkılı numunede taneler çok iri yapıda iken $x=0,01$ katkılı numunede ise taneler daha küçüktür. Katkı miktarının artmasıyla birlikte taneler arası boşluğun azaldığına dair bir şey söylemek güçtür. Çünkü katkı miktarı $x=0,01$ olan numunede de tane boyutunda bir miktar küçülme söz konusudur. Ancak $x=0,1$ için; her iki numuneye oranla daha büyük taneler görülmekte ve taneler arası boşluklar da azalmaktadır. Bu da J_c değerinin yüksek çıkması gerektiğine işaret etmektedir.



Şekil 3.29 Sezyum katkı miktarı $x=0,005$ olan $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü



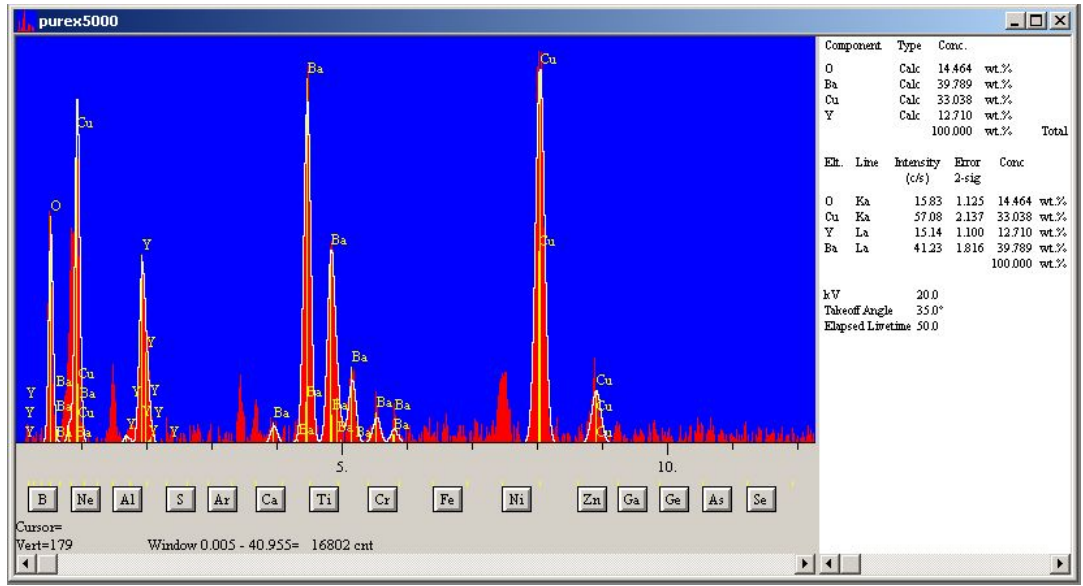
Şekil 3.30 Sezyum katkı miktarı $x=0,01$ olan $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü



Şekil 3.31 Sezyum katkı miktarı $x=0,1$ olan $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) 1000 kez ve (b) 5000 kez büyütülmüş SEM görüntüsü

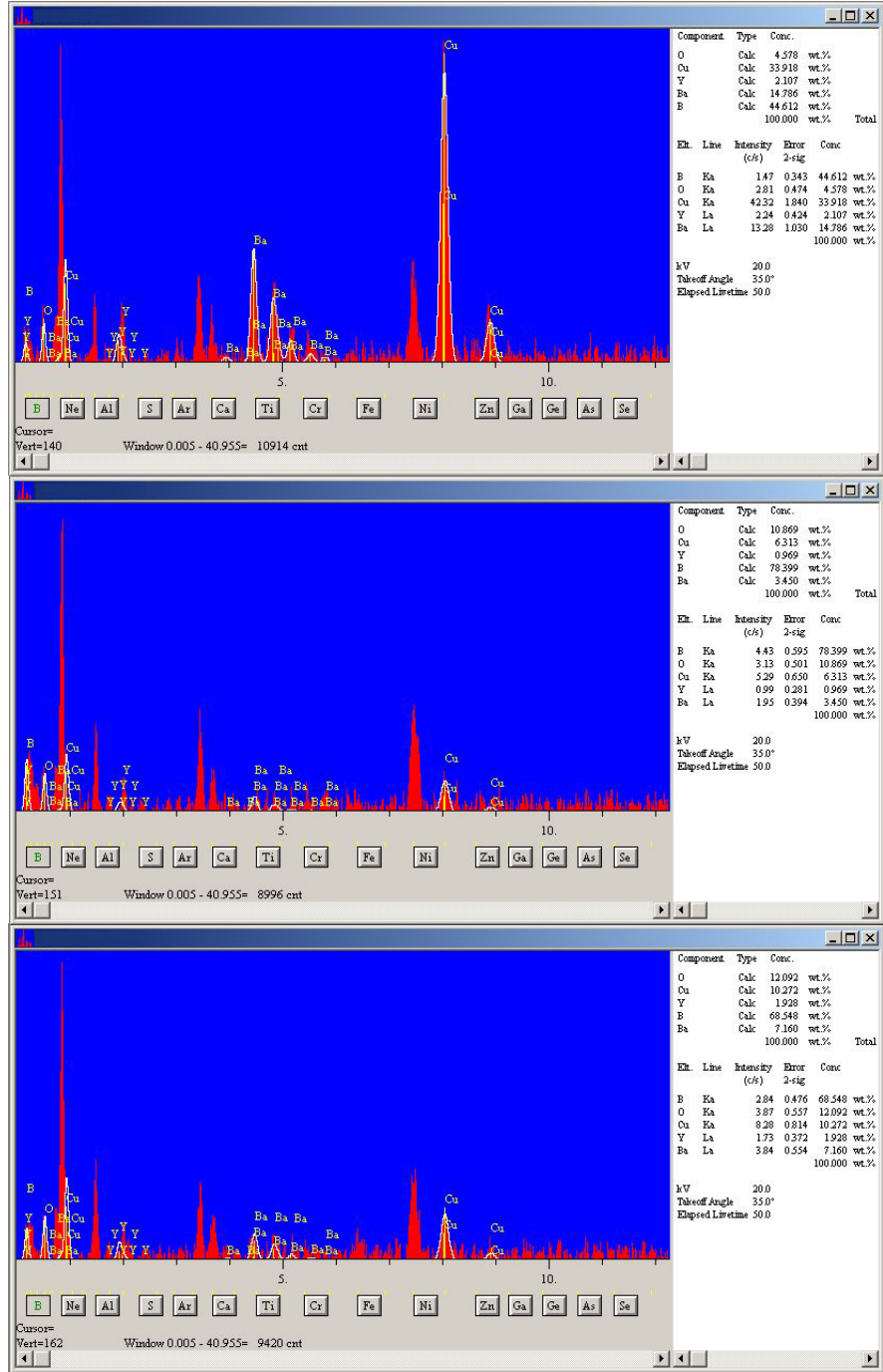
3.7. EDS Ölçümleri

Şekil 3.32’de katkısız YBCO bileşiğine ait EDS analizi görülmektedir. Buna göre, katkısız YBCO bileşiğinde Y, Ba, Cu ve O elementleri, grafikte keskin pikler göstermektedir. Diğer isimsiz pikler ise nikel yapıdaki numune tutucu kaptan kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.32 Katkısız YBCO bileşiğine ait EDS grafiği

$YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ (M=B, Li, Cs) bileşiğinde $x=0,005$, $0,01$ ve $0,1$ katkıları için sırasıyla EDS analizleri incelenmiş ve Şekil 3.33’de gösterilmiştir. Buna göre $x=0,005$ için ağırlıkça bor katkısı %44,612 iken, bor katkısının $x=0,01$ olmasıyla bu değer %68,548’e çıkmıştır. Son olarak, katkı miktarın $x=0,1$ olmasıyla birlikte, ağırlıkça bor oranının %78,399 olduğu görülmüştür.

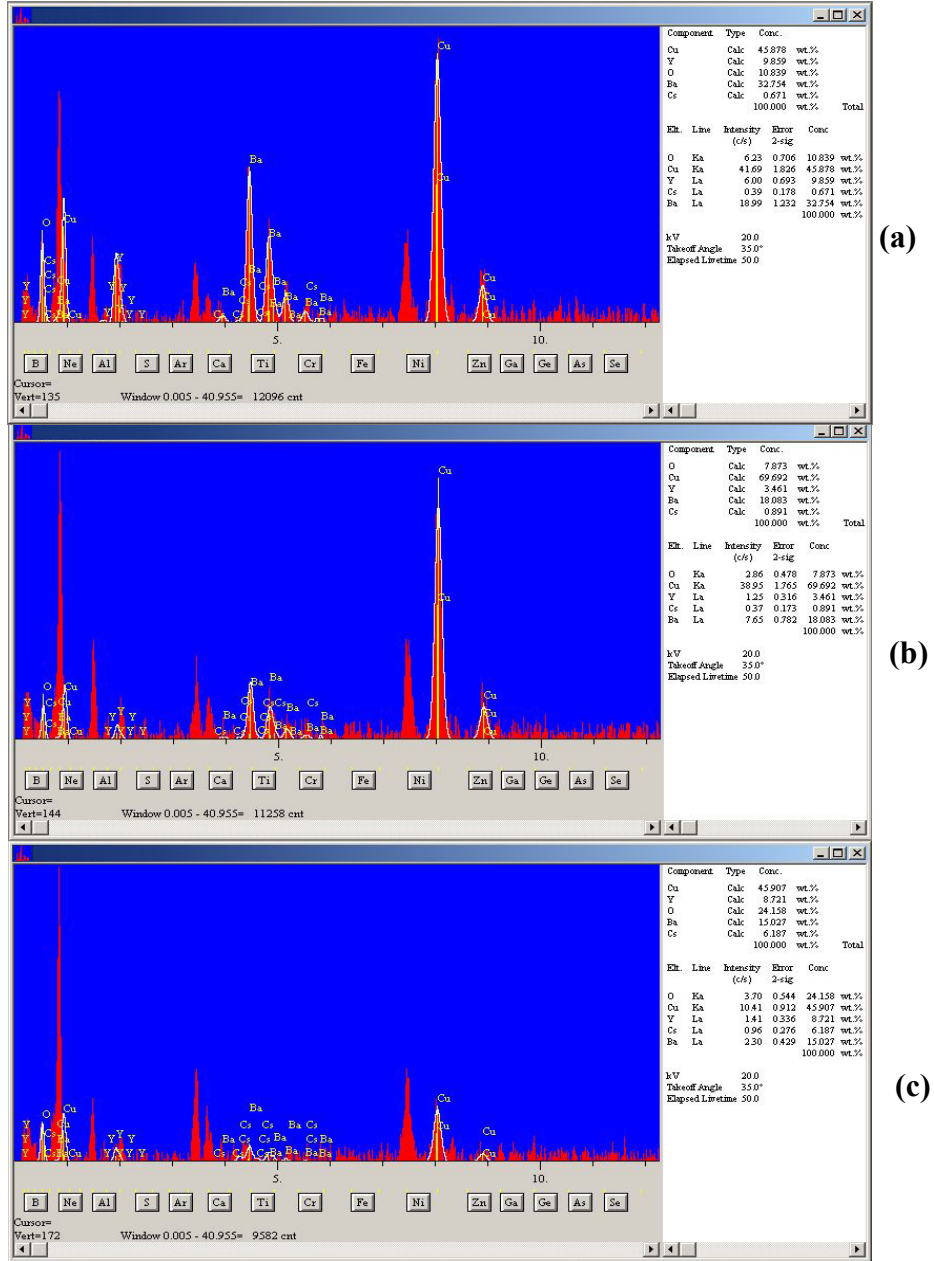


Şekil 3.33 $YBa_{2-x}B_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) $x=0,005$, (b) $x=0,01$ ve (c) $x=0,1$ katkıları için EDS analizleri

Bor katkılı numunenin EDS grafikleri incelendiğinde 0,01 katkısı ile 0,1 katkısındaki pikler arasında çok fazla bir artış gözlenmemiştir. Oysa $x=0,005$ katkılı numunenin grafiğinde Cu pikinin çok şiddetli olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde diğer iki numuneye oranla 0,005 katkılı numunede Ba pikinin şiddetli olması dikkat çekicidir. Bu durum öğütme sırasında yapının tam homojen bir hâle getirilmediğinin ya da kalsinasyon işleminde safsızlıkların uzaklaştırılmadığının bir göstergesi olabilir. Üç katkı için de oksijen konsantrasyonunda çok fazla bir değişiklik gözlenmemiştir.

Şekil 3.34'de $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin $x=0,005$, 0,01 ve 0,1 katkı miktarları için EDS analizleri görülmektedir. Buna göre $x=0,005$ için sezyum katkısının ağırlıkça oranı %0,671 iken, $x=0,01$ katkısı için bu değer %0,891'e çıkmıştır. Katkı miktarının $x=0,1$ 'e çıkmasıyla numune içersindeki sezyum konsantrasyonun %6,187 değerine çıktığı görülmüştür. Bakır ve baryum piklerinin $x=0,01$ ve $x=0,005$ katkılarında şiddetli bir artış göstermesine karşın $x=0,1$ katkısında bu oran düşmüştür. Üç numunede de en solda görülen şiddetli pik, muhtemelen numune tutucunun nikel alaşımlı pikidir.

EDS cihazındaki dedektörün lityum elementini algılamaması nedeniyle $x=0,005$, 0,01 ve 0,1 katkıları için yapılan tüm EDS analizlerinde ağırlıkça lityum yüzdesi sıfır olarak çıkmıştır.



Şekil 3.34 $YBa_{2-x}Cs_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğinin (a) $x=0,005$, (b) $x=0,01$ ve (c) $x=0,1$ katkıları için EDS analizleri

4. SONUÇ

YBa₂Cu₃O_{7-y} bileşiğine Ba yerine sırasıyla belli yüzdelerde (x=0,005, 0,01, 0,1) B, Cs ve Li katılarak oluşturulan süperiletken bileşiklerin elektriksel özdirenç ve kritik akım yoğunluğu gibi fiziksel özellikleri incelendi. Ayrıca, x-ışınları toz kırınım desenleri ve elektron mikroskobu görüntüleri elde edildi.

Elde edilen verilere göre, YBCO bileşiğine bor katılmasıyla, katkı miktarının düşük olduğu değerlerde kritik geçiş sıcaklığında hissedilir bir değişme gözlenmezken, katkı değeri %10'a vardığında T_c değeri yaklaşık 28 K kadar azalmaktadır. Bağlantılı olarak bu numunelerin (x=0,1) SEM fotoğrafları incelendiğinde tane boyutunun, katkı miktarı az olanlardan (x=0,005, x=0,01) çok daha küçük olduğu ve taneler arası boşlukların da önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Dolayısıyla numuneye uygulanan bir akım, kendisine rahat ilerleyecek yol bulamayacaktır. Başka bir deyişle, zayıf bağlar (weak links) nedeniyle kritik geçiş sıcaklığı önemli ölçüde düşmüştür. Ayrıca, yine SEM görüntülerinden, bir mikron civarında bol miktarda taneciğin bulunduğu gözlenmektedir.

Bor katılılı numunelerin kritik akım yoğunluğu ölçümleri incelendiğinde, x=0,005 için akım yoğunluğu yaklaşık 35 A/cm² iken bu değer x=0,01 için yaklaşık 65 A/cm²'ye çıkmaktadır. Bu numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde; numunelerin muhtemelen sıvı fazdan kaynaklanan ve birbirleriyle sıkı temas hâlinde bulunan, ortalama boyları 10µ'dan çok fazla olan tanelerden oluştuğu görülmektedir. x=0,005 katılılı numunenin yüzeyinde küçük boyutlu belli miktarda yabancı fazların

bulunduğu gör÷lmektedir. $x=0,01$ katkılı numunenin yüzeyi ise ilkinine oranla çok daha temiz göz÷kmekte ve tanelerin temasının da daha kuvvetli olduğu anlaşılmaktadır. Akım yoğunluğunun yüksek olması da buna atfedilir ve öz direnç ölçümleri de bunu desteklemektedir.

950°C’de 24 saat tavlanaarak üretilen bor katkılı YBCO numunelerin x-ışınları toz kırınım desenleri incelendiğinde, 123-fazının karakteristik piklerinden olan ve $2\theta=32-34^\circ$ aralığında gözlenen (013) ve (103) piklerinin konumlarının katkı miktarının artmasıyla orantılı olarak giderek sola doğru kaydıkları; yani, düzlemler arası mesafe olan d ’nin arttığı anlaşılmaktadır. Diğer yandan, $x=0,005$ katkısından $x=0,1$ katkısına kadar, örgü parametrelerinde belirgin bir azalma gözlenirken, bundan sonra hissedilir bir değışme gözlenmemektedir.

950°C’de 24 saat tavlanaarak üretilen lityum katkılı YBCO numunelerin elektriksel öz dirençleri incelendiğinde; $x=0,005$ ve $x=0,01$ katkılı numuneler için kritik geçiş sıcaklığı; 92 K’den 90 K’e ve $x=0,1$ için de yaklaşık; 85 K’e düştüğü gözlenmektedir. Yani, katkı miktarı arttıkça geçiş sıcaklığı buna bağılı olarak bir miktar azalmaktadır. Ancak buradaki düşüş bor katkılı numune kadar anormal olmamıştır. Benzer şekilde; normal bölge öz dirençleri de katkı miktarının artmasıyla artış göstermiştir.

Lityum katkılı numunelerin kritik akım yoğunlukları incelendiğinde; $x=0,005$ için yaklaşık; 55 A/cm² iken, katkı miktarı iki katına çıktığında J_c değeri yarıya düşmektedir. Katkı miktarının $x=0,1$ ’e çıkmasıyla da yaklaşık; 8 A/cm² değerine düşmektedir. Bor katkılı numune ile karşılaştırıldığında, $x=0,01$ katkısı için kritik akım yoğunluğu değerinin bor katkılı numuneden daha düşük olduğu gör÷lmektedir.

Bu numunelerin elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde, katkı miktarının artmasıyla tane boyutunun bir miktar küçüldüğü görülmektedir. Bunların ortalama tane büyüklükleri, bor katkılı numunelerden çok küçüktür. Ayrıca taneler arasında da hissedilir derecede boşluklar dikkat çekmektedir. Buna bağlı olarak, kritik akım yoğunluğundaki azalma anlaşılabilir.

Lityum katkılı numunelerin x-ışınları toz kırınım desenleri incelendiğinde, katkı miktarının artışıyla karakteristik piklerinde sola doğru bir miktar kaydığı gözlenmiştir. Karakteristik desenden farklı olarak az miktarda da olsa yabancı pikler ortaya çıkmıştır. Bu piklerin, muhtemelen lityum fazlalığına bağlı olarak ortaya çıkmış ikili veya üçlü fazlara ait olduğu düşünülmektedir. Bunların örgü parametreleri incelendiğinde; her üç parametresinin de katkı miktarına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Lityum katkılı numunelerde c-örgü parametresi artarken; bor ve sezyum katkılı numunelerde azalmaktadır. Bu da lityum atomlarının, örgüye belli miktarda da olsa girdiğini göstermektedir.

950°C'de 24 saat tavlansarak üretilen sezyum katkılı YBCO numunelerin elektriksel özdirençleri incelendiğinde; $x=0,005$ ve $x=0,01$ için yaklaşık 92 K'de kritik geçiş sıcaklığı gözlenirken $x=0,1$ için T_c , yaklaşık 90,5 K'de geçiş gözlenmiştir. Katkı miktarının artmasıyla, kritik geçiş sıcaklığında diğer katkıların aksine (B, Li) önemli bir düşüş gözlenmemiştir. Bunların elektron mikroskobu görüntüleri incelendiğinde; ne bor katkısı kadar yoğun ne de lityum katkısı kadar seyrek olmayan taneli yapıda oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca, katkı miktarının artışı ile ortalama tane büyüklüklerinde de hissedilir bir değişim gözlenmemiştir. Bu gözlem, kritik geçiş sıcaklığı verilerini destekler niteliktedir.

Sezyum katkılı numunelerin kritik akım yoğunluğu değerleri düşük katkı miktarları için, önemli bir değişiklik göstermemektedir. Bu sonuç, bu numunelerin T_c değerleri ve SEM görüntüleri ile uyum içindedir.

Örgü parametresi hesabına göre, sezyum katkılı numunelerin a ve b -örgü parametrelerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken, c -örgü parametresinde düşük katkılar için bir miktar azalma gözlenmiştir. Buna göre; $x=0,01$ değerinden sonra örgüye daha fazla sezyum iyonunun girmediği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, $YBa_{2-x}M_xCu_3O_{7-y}$ bileşiğine B, Li ve Cs katılması ile bir takım parametreler incelenmiştir. Buna göre düşük miktardaki Cs katkısı $55 - 65 A/cm^2$ civarında kritik akım yoğunluğuna neden olmaktadır. $x=0,005$ için bor katkılı numunede de $65 A/cm^2$ 'lik J_c gözlenmektedir. Diğer yandan düşük miktarda bor katkısı, T_c değerini, katkısız numuneye göre 1 K kadar artırmaktadır. Ancak, hem bor ve hem de lityum katkısının artması, hem J_c ve hem T_c değerlerini hızlı bir şekilde azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

1. A. R. Levy, Principles of Solid State Physics, Academic Press, (1972)
2. J. Friedel ve A. Guinier, Metallic Solid Solutions, Benjamin, (1963)
3. H. K. Onnes, Leiden Comm, 124, **120**, 121 (1911)
4. İ. Avcı, Yüksek Sıcaklık Süperiletken YBCO İnce Filmlerin Hazırlanması ve Josephson Kavşaklarının Elde Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, (2002)
5. C. W. Chu, J. Bechtold, L. Gao, P. H. Hor, Z. J. Huan, R. L. Meng, Y. Y. Sun, Wang ve Y.Y. Xue Superconducting Up To 114 K In the Bi-Al-Ca-Sr-Cu-O Compound System Without Rare-Earth Elements, Phys. Rev. Lett. **60**, 941, (1998)
6. R. A. Serway, Physics For Scienitsts & Engineers, Third Edition, Part: 44.2, p1291.,(1996)
7. W. Meissner and R. Ochsenfeld, Naturwissenschaften, **21**, 787 (1933)
8. J. Bardeen, L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer, Phys. Rev. Lett. **108**, 1175 (1957)
9. B. David Josephson, Phys. Letters **1**, 251 (1962)
10. <http://www.superconductors.org>, (Veri sitesi, Erişim Tarihi: Eylül 2008)
11. J. G. Bednorz and K. A. Müller, Z. Phys. **B64**, 189 (1986)
12. J. Akimitsu, Superconductivity Of Metallic Boron In MgB₂ Phys. Rev. Lett. **86**, 4656 (2001)

13. E. Kışçam, BiPbSrCaCuO Seramik Süperiletkenlerde Onset Sıcaklığının Katkı Oranlarına Göre Değişimi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, (2005)
14. V. L. Ginzburg and E. A. Andryushin, Superconductivity Revised Edition, p137, (2007)
15. M. E. Yakıncı, Thick Film Glass – Ceramic Superconductors Fabrication, Phd Thesis, University of Warwick, (1992)
16. H. Boğaz, $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ ($x=0,0$ ve $1,0$) Süperiletkenlerin Elektriksel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, (2006)
17. R. Hampshie, J. Suttan, and M. T. Taylor, Superconductors Critical Flux Density and Magnnetical Effects, <http://teachers.web.cern.ch/teachers/>, (2003)
18. C. Deniz, M. Tepe ve D. Abukay, II. Ulusal Yüksek Sıcaklık Süperiletkenler Sempozyumu, **23**: 106–108 (2001)
19. N. Doğan, YBCO(123) Sisteminin Co / Mo Katkılı Kalın Film Üretimi ve Genel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi, Malatya, (2005)
20. C. P. Bean, Magnetizasyon Of Hard Superconductors, Phys. Rev. Let. **8**, 250 (1962)
21. A. C. Rose-Innes, and E. H. Rhoderick, Introduction To Superconductivity Second Edition, p19, Chapter: 2.21, Pergamon Press, 1978.
22. G. Çimen, Bizmut Tabanlı Süperiletken Seramiklerde Katkı Atomları ile Yapı Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, (2006)
23. M. A. Aksan, M. E. Yakıncı, Y. Balcı, Supercond. Sci. Techonol. **13**, 955–963, (2000)

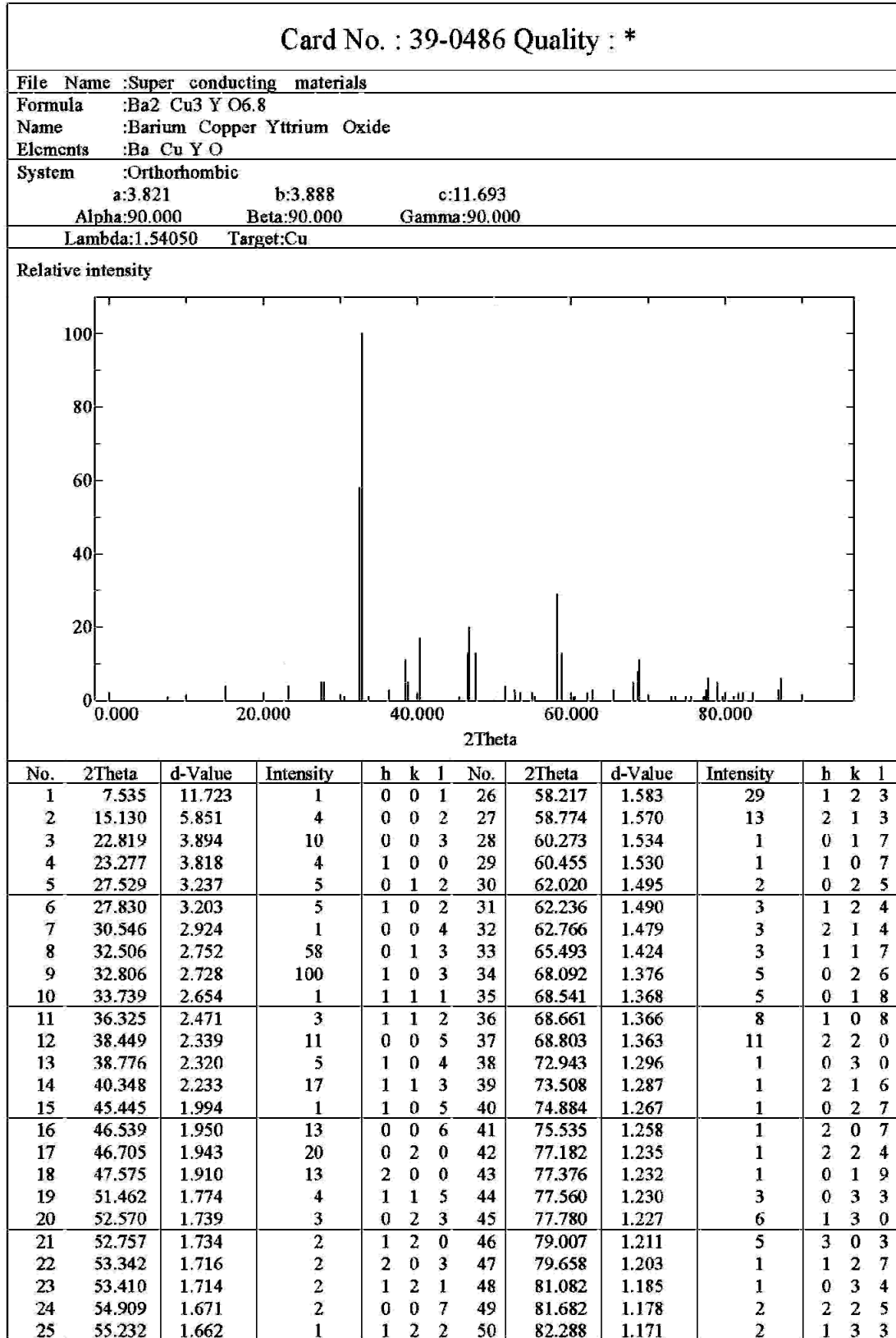
24. <http://phys.kent.edu/pages/cep.htm>, (Veri sitesi, Erişim Tarihi: Kasım 2008)
25. A. Şentürk, Investigation Of Current-Voltage Properties Of YBCO and BSCCO Superconductors. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi, Ankara, (2006)
26. S. Nezir, Amonyum Nitrat Yöntemiyle Hazırlanmış Yüksek Sıcaklık Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O Süperiletken Bileşiklerin Bazı Elektriksel, Yapısal ve Magnetik Özellikleri. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (1996)
27. A. Ekicibil, BSCCO Süperiletkenlerinde Yapılan Katkıların Yapısal ve Fiziksel Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, (2005)
28. R. Zan, $Bi_{2-x}Tb_xPb_xSr_2Ca_3Cu_4O_y$ Süperiletken Malzemesine Tb Katkısının Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana, (2006)
29. H. Okuyucu, Yiterbiyum-Baryum-Bakır Oksit Süperiletken Şeritlerin Sol-Jel Metodu ile Üretimi ve Karakterizasyonu. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, (2002)
30. K. Çolakoğlu, Serway Fizik Üçüncü Baskı, Palme Yayıncılık, Bölüm: 44.7, 1305s, Şekil 44.13, Ankara,(1996)
31. T. N. Durlu, Katıhal Fiziğine Giriş Üçüncü Baskı, s235–236, Bilim Yayınları, Ankara, (1996)
32. M. Yılmazlar, Elektrodifüzyon Yoluyla Ag Katkısının $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_{2,3}Cu_{3,3}O_{10}$ (2223) Süperiletkenlerin Yapısal Özellikleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. K.T.Ü.,Trabzon, (1997)
33. B. Özkurt, Nd ve Gd Katkılı BSCCO Cam Seramik Süperiletken Sisteminin Fiziksel ve İletim Özellikleri. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana, (2007)

34. M. Koçan, Şakiroğlu, K. Kocabaş, İ. Ercan, II. Ulusal Yüksek Süperiletkenler Sempozyumu, **14**, 67–71 (2001)
35. R. P. Cogollo, A. C. Mariño, and H. M. Sánchez, Transport Properties Of YBCO Superconducting Films at Different Oxygen Concentration, IEEE Trans. On Appl. Supercond, Vol.13, pp.2789–2791 (2003)
36. S. Nezir, Katmanlı Süperiletkenler, Süperiletkenliğin Temel Prensipleri, Teorileri ve Teknolojik Uygulama Alanları Kış Okulu, Antalya, (2009)
37. M. Murakami, T. Oyama, H. Fujimoto, S. Gotoh, K. Yamaguchi, Y. Shiohara, N. Koshizvaka, and S. Tanaka, Melt Processing Of Bulk High Tc Superconductors and Their Application, IEEE Trans. Mag.,27,2, 1479-1486 (1991)
38. M. Murakami, Processing Of Bulk YBaCuO, Supercond.Sci.Technol.,**5**, 185-203 (1992)
39. A. Ateş, YBa₂Cu₃O_{7-x} Süperiletkenlerin “Eritme-Hızlı Soğutma-Büyütme” Metodu ile Üretilmesi, Yapısal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (1998)
40. D. Dew-Hughes, Met. Mater. **4**, 741(1988)
41. E. Yanmaz, MgB₂ Nano Parçacık Üretimi, Süperiletkenliğin Temel Prensipleri, Teorileri ve Teknolojik Uygulama Alanları Kış Okulu, Antalya, (2009)
42. D. Sing, Ceramic Superconductors Developments and Prospects, Ceramics, p741–745, (1998)
43. K. Asada, Met. Mater.,**4**, 741 (1988).
44. J. H. Kase, S. Sakka, K. Kamiya, K. Makita and Y. Yamomoto, J. Non-Cryst. Solids **63**, 223 (1990)

45. Zhengquan Tan, Z. I. Budnick, J. L. Peng, L. Zhang and R. N. Shelton, X-Ray Absorption Studies Of Atomic and Electronic Structures Of $\text{Nd}_{2-x}\text{M}_x\text{CuO}_4$ (M= Ce and Th), *Phys.* **B163**, 13–16 (1990)
46. Ö. Bağ, Sezyum katkılı Yitrium 1 Baryum 2 Bakır 3 Oksijen 7 Süperiletkenlerinin Bazı Fiziksel ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, (2006)
47. Keithley, Low Level Measurements, Precision DC Current, Voltage and Resistance Measurements, 5th Edition, (1993)
48. S. Altın, Production of Glass-Seramics BSCCO Superconducting Whiskers and Determination of Physical, Magnetic and Electrical Properties. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi, Malatya, (2005)
49. F. Ben Azzouz, M. Zouaoui, K. D. Mani, M. Annabi, G. Vantendeloo, M. Ben Salem, *Physica C* **442**, 13–19 (2006)
50. M. Ausloos, *Physical Review B*, **39**, 2729 (1989)
51. David J. Bishop, L. Gammel Peter and A. Huse David, *Scientific American* Feb., p24, 48 (1993)
52. K. Yvon, M. Francois, *Crystal Structures Of High-Tc Oxides*, *Z.Phys. B-Condensed Matter*, **76**, 413–444 (1989)
53. G. Alecu, *Romanian Reports of Physics*, **56**, 404 (2004)
54. R. J. Cava, B. Batlogg, R. B. Van Dover, D. V. Murphy, S. Sunshine, T. Siegrist, J. P. Remeika, E. A. Rietman, S. Zahurak and G. P. Espinosa, *Physical Review Letter*, **59**, 1676 (1987)
55. U. Topal, H. Ozkan, *Supercond. Sci. Technol.* **18**, 82–86 (2005)

EK

YBa₂Cu₃O_{6,8} bileşiminin XRD verileri



Card No. : 39-0486 Quality : *

File Name :Super conducting materials

Formula :Ba2 Cu3 Y O6.8

Name :Barium Copper Yttrium Oxide

Elements :Ba Cu Y O

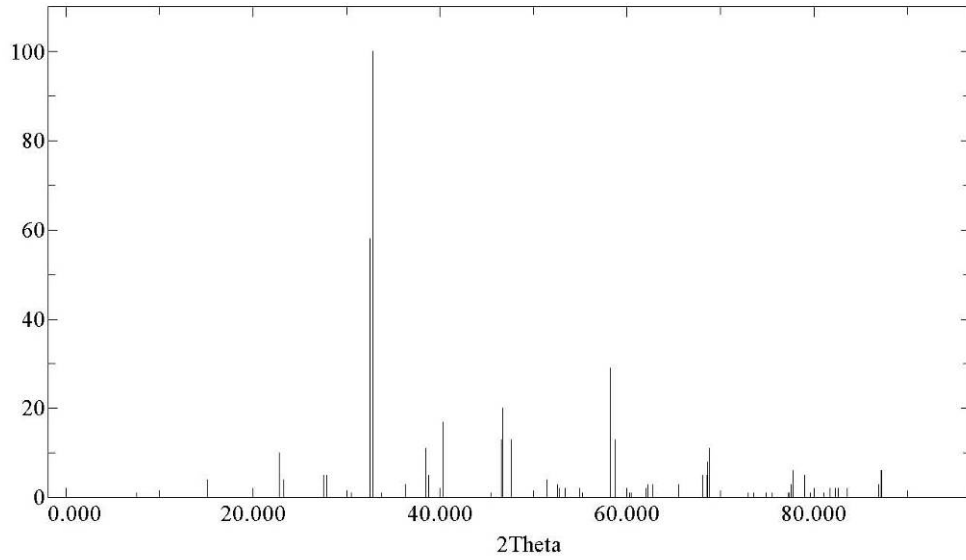
System :Orthorhombic

a:3.821 b:3.888 c:11.693

Alpha:90.000 Beta:90.000 Gamma:90.000

Lambda:1.54050 Target:Cu

Relative intensity



No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l	No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l
51	82.564	1.167	2	3	0	4							
52	83.541	1.156	2	3	1	3							
53	86.941	1.120	3	0	1	10							
54	87.139	1.118	6	1	2	8							
55	87.251	1.116	6	2	2	6							