

**$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ (x= 0,0 ve 1,0) SÜPERİLETKENLERİN
ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU**

Havva BOĞAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

**$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ (x= 0,0 ve 1,0) SÜPERİLETKENLERİN
ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU**

Havva BOĞAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İLERİ TEKNOLOJİLER**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

Havva BOĞAZ tarafından hazırlanan $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x= 0,0$ ve $1,0$) SÜPERİLETKENLERİN ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Semran SAĞLAM
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından İleri Teknolojiler Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Ali GENCER

Üye : Prof. Dr. Bora ALKAN

Üye : Doç. Dr. Mehmet KASAP

Üye : Doç. Dr. Şemsettin ALTINDAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Semran SAĞLAM

Tarih : 14/06/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Havva BOĞAZ

**$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$ ve $1,0$) SÜPERİLETKENLERİN
ELEKTRİKSEL KARAKTERİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

Havva BOĞAZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006**

ÖZET

Bu çalışmada, $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ örnekleri katıhal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi. Malzemenin kritik sıcaklığı ve iletim özellikleri van der Pauw tekniği ve Hall etkisi ölçümleri ile incelendi. Hall etkisi ve öz direnç ölçümleri 25-300 K sıcaklık ve 0-1,4 T manyetik alan aralığında yapıldı. Bu numunenin kritik geçiş sıcaklığı BPSCCO içindeki Sm_2O_3 miktarının artması ile düştü. Süperiletkenlik geçiş aralığının manyetik alanın şiddetine bağlı olarak genişlediği gözlemlendi. Farklı manyetik alanlarda elde edilen $\ln(\text{özdirenç})$ ve $1/\text{sıcaklık}$ diyagramının eğiminden aktivasyon enerjisi hesaplandı.

Bilim Kodu : 202.1.075
Anahtar Kelimeler : Süperiletkenlik, BPSCCO, Sm_2O_3 , Hall etkisi
Sayfa Adedi : 60
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Semran SAĞLAM

**ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$
($x= 0,0$ ve $1,0$) SUPERCONDUCTORS**

(M.Sc. Thesis)

Havva BOĞAZ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2006

ABSTRACT

In this study, $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ samples were produced by solid state reaction method. The critical temperature and transport properties of this materials were observed by using van der Pauw method and Hall effect measurements. Hall effect and resistivity measurement were taken between 25-300 K and 0-1,4 T. This material's Critical temperature decreased with the increase of Sm_2O_3 content in BPSCCO. It was observed that resistivite transition was broadening under the effect of magnetic field. From the slope of $\ln(\text{resistivity})$ vs $1/\text{temperature}$ activation energies were found under different magnetic fields.

Science Code : 202.1.075

Key Words : Superconductors, BPSCCO, Sm_2O_3 , Hall effect

Page Number: 60

Adviser : Asst. Prof. Dr. Semran SAĞLAM

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, her konuda ilgi ve desteğini eksik etmeyen danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Semran SAĞLAM’a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ikinci danışmanım olarak gördüğüm “Kırıkkale Üniversitesi Fizik Bölümü” öğretim üyesi Dr. Mustafa YILMAZLAR’ a teşekkür ederim. Tez çalışmam sırasında engin bilgisiyle bana yol gösteren, yorum ve bilgilerini paylaşan sayın hocam Doç. Dr. Mehmet KASAP’a ve her konuda ilgi ve desteğini eksik etmeyen, engin tecrübesi ve yorumlarıyla bana yol gösteren ve benimle bilgisini paylaşan sayın hocam Doç. Dr. Selim ACAR’ a teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, her zaman bana inanan ve güvenen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma 2001K120590 nolu proje kapsamında Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Süperiletkenliğin Tarihsel Gelişimi	3
2.2. Sıfır Direnç.....	8
2.3. Meissner Etkisi.....	9
2.4. I. ve II. Tip Süperiletkenlik.....	11
2.5. Kupratların Özellikleri.....	14
2.6. Perovskite Yapı.....	15
2.7. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ (n=1, 2, 3) Bileşiklerinin Kristal Yapıları.....	16
2.7.1. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ (n=1) bileşiğinin kristal yapısı.....	17
2.7.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (n=2) bileşiğinin kristal yapısı.....	18
2.7.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (n=3) bileşiğinin kristal yapısı.....	19
2.8. Süperiletkenlerin Teknolojideki Kullanım Alanları.....	21
3. NUMUNELERİN ÜRETİMİ VE DENEYSEL ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	23

Sayfa

3.1. Numunelerin Üretimi	23
3.1.1. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ($x=0,0$ ve $1,0$) bileşiğinin hazırlanması.....	23
3.1.2. Toz karışımının kalsinasyonu.....	23
3.1.3. Tabletlerin sinterlenmesi.....	24
3.2. Deneysel Ölçüm Sistemi.....	25
3.2.1. Özdirenç ölçümleri.....	26
3.2.2. Hall etkisi ölçümleri.....	28
3.2.3. Manyetik özdirenç ölçümleri.....	29
3.2.4. Hall ölçüm sistemi.....	30
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) Numunesinde İletim Özellikleri.....	32
4.1.1. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi	32
4.1.2. Farklı manyetik alanlarda özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi.....	33
4.1.3. Aktivasyon enerjisi	34
4.1.4. Farklı manyetik alanlarda Hall katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi.....	36
4.1.5. Mobilitenin sıcaklığa ve manyetik alana bağlı değişimi.....	38
4.1.6. Farklı manyetik alanlarda taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değişimi.....	41
4.2. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) Numunesinde İletim Özellikleri.....	43
4.2.1. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi.....	43
4.2.2. Farklı manyetik alanlarda özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi.....	44
4.2.3. Aktivasyon enerjisi.....	45

Sayfa

4.2.4. Farklı manyetik alanlarda Hall katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi.....	46
4.2.5. Mobilitenin sıcaklığa ve manyetik alana bağlı değişimi.....	48
4.2.6. Farklı manyetik alanlarda taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa.....	51
5. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	60

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı bileşiklerin süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları.....	3
Çizelge 2.2. Bazı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin geçiş sıcaklıkları, kristal yapıları, n (birim hücredeki CuO ₂ sayısı) ve örgü parametreleri	7
Çizelge 2.3. Bi-Sr-Ca-Cu-O sistemindeki fazlar.....	17
Çizelge 3.1. Başlangıç kompozisyonunu oluşturan bileşiklerin saflık dereceleri ve atom ağırlıkları	23
Çizelge 3.2. Örneklere uygulanan ısıt işlemler	25

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bilinen süperiletken elementler	4
Şekil 2.2. Süperiletkenlerin keşfedildikleri yıllar ile geçiş sıcaklıkları	6
Şekil 2.3. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi.....	8
Şekil 2.4. Önce soğutulmuş, sonra manyetik alan uygulanmış ideal bir iletken.....	9
Şekil 2.5. Önce manyetik alan uygulanmış, sonra soğutulmuş ideal bir iletken.....	10
Şekil 2.6. Önce soğutulmuş, sonra manyetik alan uygulanmış bir süperiletken.....	10
Şekil 2.7. Önce manyetik alan uygulanmış, sonra soğutulmuş bir süperiletken.....	11
Şekil 2.8. I. Tip süperiletkenlerde manyetik alanın sıcaklıkla değişimi	12
Şekil 2.9. I. Tip süperiletkenlerde mıknatıslanmanın uygulanan manyetik alanla değişimi	13
Şekil 2.10. II. Tip süperiletkenlerde manyetik alanın sıcaklıkla değişimi	13
Şekil 2.11. II. Tip süperiletkenlerde mıknatıslanmanın uygulanan manyetik alanla değişimi	14
Şekil 2.12. Perovskite yapı.....	16
Şekil 2.13. Bi-2201 fazının kristal yapısı.....	18
Şekil 2.14. Bi-2212 fazının kristal yapısı.....	19
Şekil 2.15. Bi-2223 fazının kristal yapısı.....	20
Şekil 3.1. Toz karışımın kalsinasyon işlemi.....	24
Şekil 3.2. Tabletlerin sinterlenme işlemi.....	25
Şekil 3.3. Direnç ölçümleri için şematik gösterim.....	28
Şekil 3.4. Hall katsayısı ölçümleri için şematik gösterim.....	29
Şekil 3.5. Hall etkisi ölçüm sisteminin şematik gösterimi	31

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesine ait özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi	32
Şekil 4.2. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi	33
Şekil 4.3. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında özdirenc $1/\text{sıcaklık}$ eğrisi.....	34
Şekil 4.4. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin manyetik alana bağlı aktivasyon enerjisi	35
Şekil 4.5. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında Hall katsayısı sıcaklık eğrisi	36
Şekil 4.6. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında mobilite sıcaklık eğrisi.....	38
Şekil 4.7. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında kritik sıcaklığın üstünde mobilite sıcaklık eğrisi.....	40
Şekil 4.8. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi	42
Şekil 4.9. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesine ait özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi	43
Şekil 4.10. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi	44
Şekil 4.11. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında özdirenc $1/\text{sıcaklık}$ eğrisi.....	45
Şekil 4.12. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin manyetik alana bağlı aktivasyon enerjisi	46
Şekil 4.13. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında Hall katsayısı sıcaklık eğrisi	47

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında mobilite sıcaklık eğrisi.....	49
Şekil 4.15. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında geçiş sıcaklığının üstünde mobilite sıcaklık eğrisi	50
Şekil 4.16. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi	52

RESİMLERİN LİSTESİ**Resim****Sayfa**

Resim 3.1. Lake Shore Yüksek Empedans Hall etkisi sistemi	25
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ρ	Özdirenç
σ	Öziletkenlik
μ_H	Hall mobilitesi
R_H	Hall katsayısı
n_H	Taşıyıcı yoğunluğu
d	İki düzlem arasındaki mesafe
a, b, c	Örgü parametreleri
H	Dış manyetik alan
H_{c_1}	Alt kritik manyetik alan
H_{c_2}	Üst kritik manyetik alan
h, k, l	Miller indisleri
M	Mıknatıslanma
T_c	Kritik sıcaklık
U	Aktivasyon Enerjisi
Θ	Hall açısı
k_B	Boltzman sabiti

Kısaltmalar	Açıklama
BSCCO	BiSrCaCuO
BPSCCO	BiPbSrCaCuO
YBCO	YBaCuO
TBCCO	TlBaCaCuO
TAFF	Isıl destekli akı akışı

1. GİRİŞ

Süperiletkenliğin keşfinin ilk yıllarında, uygulanmasındaki ilerleme yavaş ve aralıklıydı. 10 Temmuz 1908 yılında, Leiden Üniversitesinde deneysel fizik profesörü Heike Kamerlingh Onnes, helyumu sıvılaştırabildi. Helyum için kaynama noktasını 4,3 K (şimdi 4,2 K) olarak saptadı. 1911 yılında Kamerlingh Onnes tarafından cıvada süperiletkenlik keşfedildi [1].

Daha sonra süperiletkenlik; kurşun, alüminyum, indiyum gibi elementlerde de gözlemlendi. Çoğu metal, alaşım ve bileşiklerin süperiletken olabileceği anlaşıldı.

Elektriksel öz direncin sıfır olması tek başına süperiletkenliği tanımlamada yeterli değildir. Ayrıca süperiletken madde mükemmel diamanyetik özellik göstermelidir. 1933 yılında Meissner ve Robert Ochsenfeld, manyetik alanda soğutulan bir süperiletkenin kritik sıcaklık altına inildiğinde manyetik akıyı dışarıladığını buldular [2]. Süperiletken halde bu maddenin içinden manyetik alan geçmeyerek, manyetik alanın uzaklaştırılmasına Meissner etkisi denir.

Manyetik özelliklerine göre süperiletkenler I. tip süperiletkenler ve II. tip süperiletkenler olarak adlandırılırlar. Bu iki grup arasındaki temel fark dış manyetik alana farklı tepkiler vermelerinden kaynaklanır.

Süperiletkenlik kuantum teorisinin temeli 1957 yılında John Bardeen, Leon N. Cooper ve J. Robert Schrieffer tarafından açıklandı [3]. Aralarında bir tür çekici etkileşme bulunan bağlı durumdaki iki elektron tek bir sistem oluşturacak şekilde çiftlenir. Bu elektronlara Cooper çiftleri denir. Cooper çiftleri elektron-örgü-elektron etkileşmesine dayanır. Bu elektronlar eşit fakat zıt moment ve spinlere sahiptir.

YBCO sisteminin geçiş sıcaklığının 92 K olarak bulunmasından sonra sıvı helyum yerine sıvı azot kullanılması gerçekleşti. Daha sonra Bi-tabanlı, Tl-tabanlı ve Hg-tabanlı sistemlerde bulunarak yüksek sıcaklık süperiletkenliği incelenmiştir. Bu maddeler bakır oksit süperiletkenlerdir.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerin keşfi bilim adamlarını çok heyecanlandırmıştır ve araştırmacıların bir çoğu bu konuya yönelmiştir. 1911-1970 yılları arasında 6579 tane süperiletkenlikle ilgili makale var iken bunların 36 tanesi de 1941-1945 yılları arasına aittir. 1989-1991 yılları arasında yani yüksek sıcaklık süperiletkenlerin keşfinden sonra bu sayı 15000 olup ortalama günde 15 makale yayınlanıyor demektir [4].

Süperiletkenliğin tarihsel gelişimi Ginzburg tarafından [4], 1911-1941 yılları arasında düşük sıcaklık süperiletkenliğinin keşfi ve ilgili çalışmalar, 1942-1986 yılları arasında süperiletkenlikle ilgili teoriler , 1987 yılından sonrada yüksek sıcaklık süperiletkenleri üzerindeki çalışmalar olarak kısımlara ayrılmıştır.

Süperiletken malzemelerin elektrik ve manyetik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar teknoloji için büyük öneme sahiptir.

Bu çalışmanın amacı katıhal tepkime yöntemi ile üretilen $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ numunesinin katkısız iken kritik sıcaklık ve iletim özelliklerini ve aynı zamanda Sm_2O_3 katkılı olduğu durumda katkının ($x= 1,0$) kritik sıcaklık ve iletim özellikleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaçla Hall etkisi ölçüm sistemi ile malzemenin sahip olduğu taşıyıcı yoğunluğu, mobilitesi, Hall katsayısı, dış manyetik alan altında DC. direnç değişimi ölçüldü ve aktivasyon enerjisi hesaplandı.

Bu tez çalışması aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. İlk bölümde çalışmanın girişi verilmiştir. İkinci bölümde süperiletkenlerle ilgili genel bir bilgi verilmiştir, üçüncü bölümde numune üretimi ve deneysel çalışmalara değinilmiştir. Dördüncü bölümde deneyden elde edilen bulgular verilerek, beşinci bölümde sonuçlar yorumlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Süperiletkenliğin Tarihsel Gelişimi

Süperiletkenlik ilk kez 1911’de Heike Kamerlingh Onnes [1], cıvanın elektriksel direncini ölçerken 4,2 K civarında direncin aniden sıfıra gittiğini gözledi. Bu durum süperiletkenlik olarak adlandırıldı. Elektriksel direncin sıfıra düştüğü sıcaklığa kritik sıcaklık veya geçiş sıcaklığı denilmektedir ve T_c ile gösterilir. 1913 yılında bu alandaki çalışmalarından dolayı Heike Kamerlingh Onnes nobel ödülü aldı.

Cıvanın süperiletkenliği keşfedildikten sonra çoğu metal, alaşım ve bileşiklerin süperiletken olabileceği anlaşıldı. Çizelge 2.1’de bazı süperiletken bileşiklerin kritik sıcaklık değerleri verilmektedir [5].

Çizelge 2.1. Bazı bileşiklerin süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları

Bileşik	T_c (K)
Nb_3Sn	18,05
Nb_3Ge	22,3
NbN	16
NbO	1,2
$BaPb_{0,75}Bi_{0,25}O_3$	11
UBe_{13}	0,75
$Pb_{0,7}Bi_{0,3}$	8,45
V_3Si	17,1
$(SN)_x$	0,26
$(BEDT)_2Cu(NCS)_2$	10
$La_{1,8}Sr_{0,2}CuO_4$	38

Periyodik cetvel üzerinde basınca bağlı olarak süperiletkenlik gösteren elementler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Bilinen Süperiletken Elementler																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Cs	Ba	*La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	Db	Sg	Bh

* Lantanitler
 + Aktinitler

Şekil 2.1. Bilinen süperiletken elementler

1933’ de Meissner ve Ochsenfeld [2] tarafından, manyetik alan içine konulan bir süperiletkenin kritik sıcaklığının altına kadar soğutulduğunda manyetik akıyı dışarıladığı bulundu. Süperiletkenden manyetik alanın dışarlanmasına Meissner etkisi denilmektedir.

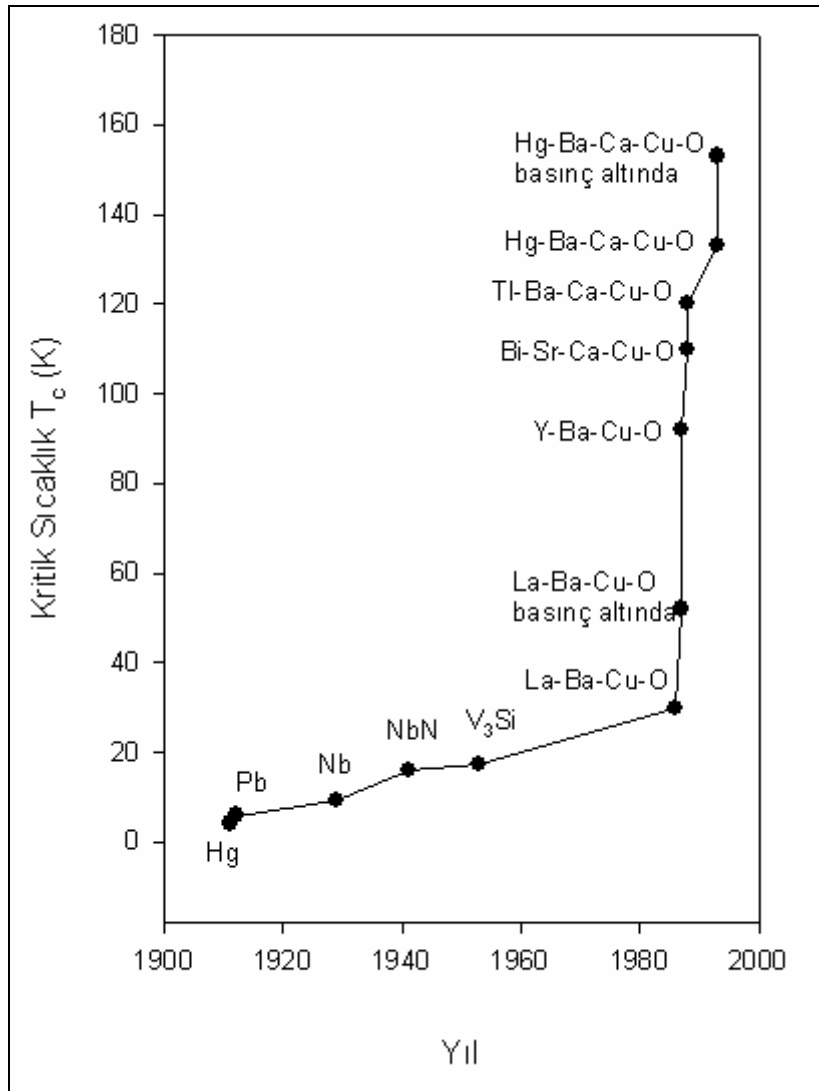
1935 yılında Frantz ve Heinz London kardeşler tarafından Maxwell denklemlerine dayalı olarak Meissner etkisi London denklemleri ile açıklandı [6].

1950’de Ginzburg ve Landau [7], ikinci dereceden faz geçişi yapan sistemlerin termodinamik özelliklerini açıklamayı hedefleyen makroskobik bir teori geliştirdi.

Süperiletkenliğin mikroskobik teorisi John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer tarafından 1957 yılında BCS teorisiyle açıklandı [3]. BCS teorisi tek bir sistem oluşturacak şekilde ortak hareket eden Cooper çiftleri olarak bilinen zıt momentumlu elektron çiftleri oluşturmaya dayanır. Bu teori ile 1972’ de Nobel fizik ödülü almışlardır.

1986’ da Georg Bednorz ve Alex Müller [8], La-Ba-Cu-O sisteminde 30 K’ de süperiletkenliği keşfettiler. 1987’ de Bednorz ve Müller Nobel ödülü aldılar. $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ sistemine basınç uygulanmasıyla geçiş sıcaklığı 57 K’ e yükseltildi [9]. Wu ve arkadaşları tarafından Y-Ba-Cu-O sisteminde geçiş sıcaklığı 92 K olarak keşfedildi [10]. 77 K’ in üzerinde süperiletkenliğin keşfi sıvı helyum yerine sıvı azot kullanılmasını sağladı. Sıvı azotun daha ucuz ve kolay bulunması nedeniyle süperiletkenlik üzerine araştırmalar yaygınlaştı. 1988’ de Maeda ve arkadaşları tarafından Bi-Sr-Ca-Cu-O sisteminde 105 K civarında süperiletkenliğe geçiş gözlemlendi [11]. Sheng ve Hermann Tl-Ba-Cu-O sisteminde geçiş sıcaklığını 120 K olarak inceledi [12]. 1993’ de Schilling ve arkadaşları Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminde 130 K’ in üstünde süperiletkenliği gözledi [13]. Chu ve arkadaşları tarafından Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminin yüksek basınç altında geçiş sıcaklığının 153 K’ e yükseldiği bulundu [14].

Süperiletkenlerin keşfedildikleri yıllar ile geçiş sıcaklıkları Şekil 2.2’ de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Süperiletkenlerin keşfedildikleri yıllar ile geçiş sıcaklıkları

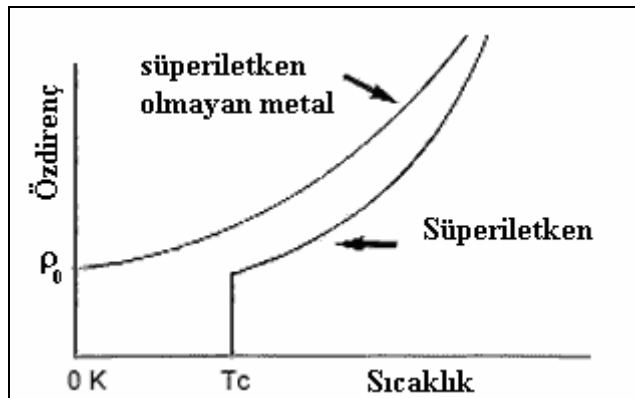
Çizelge 2.2' de bazı yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletkenlerin geçiş sıcaklıkları ve kristal yapıları verilmiştir [15].

Çizelge 2.2. Bazı yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin geçiş sıcaklıkları, kristal yapıları, n (birim hücredeki CuO_2 sayısı) ve örgü parametreleri

Yapı	Faz	Kritik sıcaklık (K)	n	Kristal yapı	Örgü parametreleri ($\text{\AA}$)
$\text{La}_{1,6}\text{Ba}_{0,4}\text{CuO}_4$	214	30	1	tetragonal	a= 3,79 c= 13,21
$\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$	214	38	1	tetragonal	a= 3,78 c= 13,23
$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$	123	92	2	ortorombik	a= 3,82 b= 3,89 c= 11,68
$\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$	124	80	2	ortorombik	a= 3,84 b= 3,87 c= 27,23
$\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{14}$	247	40	2	ortorombik	a= 3,85 b= 3,87 c= 50,2
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$	Bi-2201	20	1	tetragonal	a= 5,39 c= 24,6
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	Bi-2212	85	2	tetragonal	a= 5,39 c= 30,6
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	Bi-2223	110	3	tetragonal	a= 5,39 c= 37,1
$\text{TlBa}_2\text{CuO}_5$	Tl-1201	25	1	tetragonal	a= 3,74 c= 9,00
$\text{TlBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_7$	Tl-1212	90	2	tetragonal	a= 3,85 c= 12,74
$\text{TlBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_9$	Tl-1223	110	3	tetragonal	a= 3,85 c= 15,87
$\text{TlBa}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{11}$	Tl-1234	122	4	tetragonal	a= 3,86 c= 19,01
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_6$	Tl-2201	80	1	tetragonal	a= 3,86 c= 23,22
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	Tl-2212	108	2	tetragonal	a= 3,86 c= 29,39
$\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	Tl-2223	125	3	tetragonal	a= 3,85 c= 35,9
$\text{HgBa}_2\text{CuO}_4$	Hg-1201	94	1	tetragonal	a= 3,87 c= 9,51
$\text{HgBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_6$	Hg-1212	128	2	tetragonal	a= 3,85 c= 12,66
$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$	Hg-1223	134	3	tetragonal	a= 3,85 c= 15,78

2.2. Sıfır Direnç

Metaller soğutuldukları zaman elektriksel özdirençleri azalır. Bir metalden akım geçirildiğinde kristalin periyodikliğindeki herhangi bir kusur elektron dalgalarını saçılıma uğratar ve direnç oluşur. Bu periyodikliği bozan etmenler ise, mutlak sıcaklığın üzerinde atomların titreşmesi ve denge konumlarından ayrılması veya kristal örgünün periyodik düzeninde bozuklukların olmasıdır. Kristal örgünün periyodik düzeninde bozuklukları olarak bahsedilen periyodik düzenin bir örgü noktasında atomun bulunmayışı, periyodik düzen içerisinde atomları yabancı atomlarla yer değiştirmesi veya yabancı bir fazlalık atomun bulunmasıdır. Bu tür etkiler ortadan kaldırıldığında süperiletken olmayan bir metalden akım geçirildiğinde sıfır direnç gösterebilir.



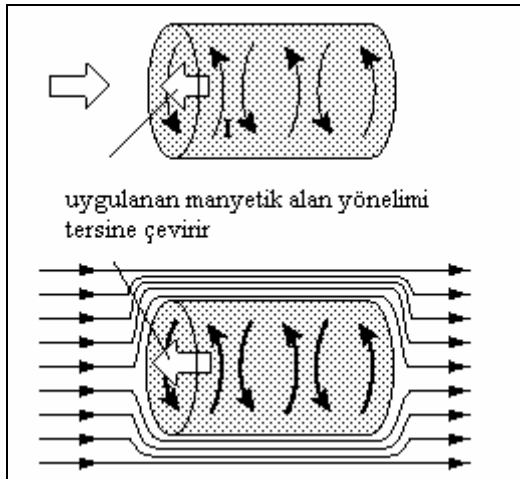
Şekil 2.3. Özdirencin sıcaklık değişimi

Bir iletkenin özdirenci atomların termal titreşimlerinden ve safsızlıklardan kaynaklanır. Sıcaklık düştüğünde atomların termal titreşimleri azalır ve iletim elektronları daha az saçılmaya uğrar. Fakat safsızlıklardan kaynaklanan özdirenç ise sıcaklıktan bağımsızdır. Sıcaklık mutlak sıfır olduğunda ρ_0 sabit değerinde safsızlıklardan kaynaklanan sabit bir direnç oluşur. İdeal saflıktaki metallerde bu değer oldukça küçüktür. Belirli bazı metaller soğutuldukları zaman mutlak sıcaklığa ulaşmadan belirli bir sıcaklık değerinde dirençleri sıfır olur. Bu sıcaklık değerine kritik sıcaklık ve bu maddelere süperiletken maddeler denir.

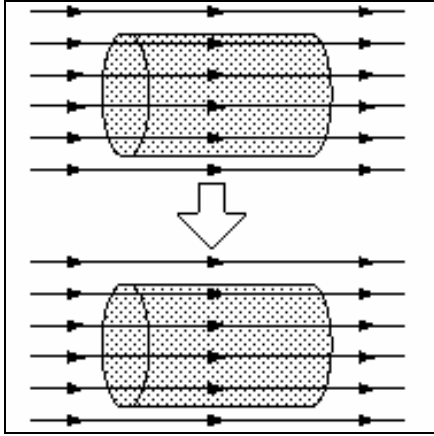
2.3. Meissner Etkisi

Süperiletkenlerin en önemli özelliklerinden birisi de mükemmel diamanyetik davranış göstermesidir. 1933' lere kadar süperiletken ideal bir iletken olarak düşünülürdü. Fakat Meissner ve Ochsenfeld deneylerle bunun doğru olmadığını gösterdi [2].

İdeal bir iletken numune önce soğutulur ve sonra dış manyetik alan uygulanırsa alan numunenin iç kısımlarına nüfuz etmez, uygulanan alan dışarlanır. Bu durum Şekil 2.4' de gösterilmektedir. Fakat ideal bir iletken üzerine önce manyetik alan uygulanır ve sonra soğutulursa numuneye manyetik akı çizgileri Şekil 2.5' de gösterildiği gibi nüfuz eder.

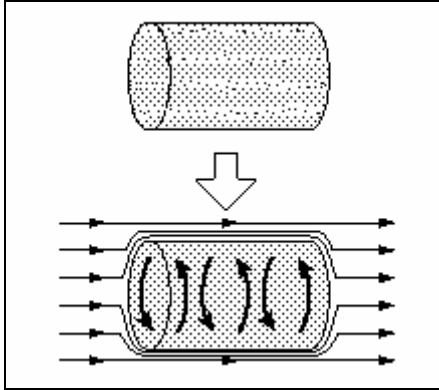


Şekil 2.4. Önce soğutulmuş, sonra manyetik alan uygulanmış ideal bir iletken

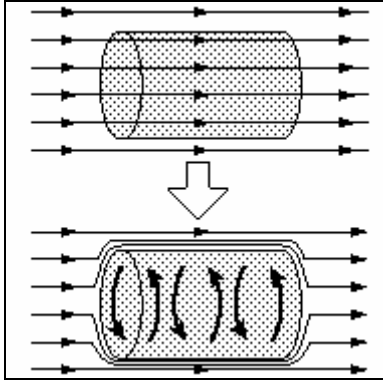


Şekil 2.5. Önce manyetik alan uygulanmış, sonra soğutulmuş ideal bir iletken

Süperiletken numune önce geçiş sıcaklığının altına kadar soğutulur ve sonra manyetik alan uygulanırsa, ya da önce manyetik alan uygulanıp sonra geçiş sıcaklığının altına kadar soğutulursa her iki durumda da manyetik alan numunenin içinden dışarlanır. Bu durum Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’ de gösterilmiştir. Süperiletkende bu durum işlemlerin yapılış sırasına bağlı değildir. Yani ideal bir iletken süperiletken değildir.



Şekil 2.6. Önce soğutulmuş, sonra manyetik alan uygulanmış bir süperiletken



Şekil 2.7. Önce manyetik alan uygulanmış, sonra soğutulmuş bir süperiletken

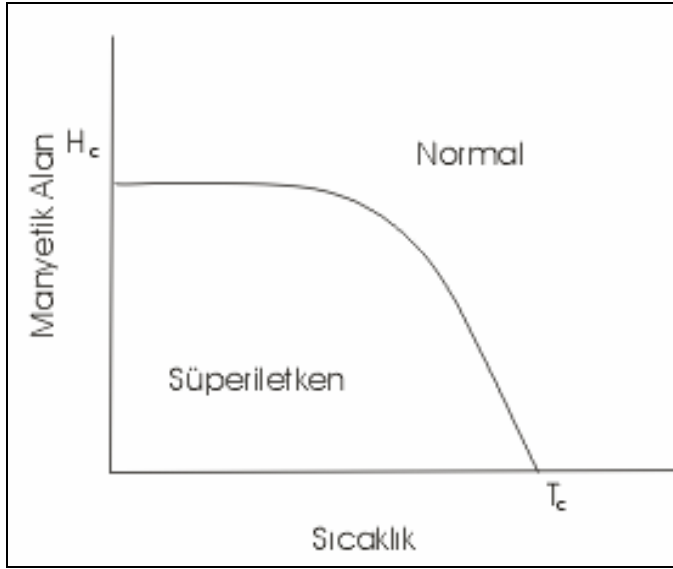
Süperiletkenlerde sıcaklık geçiş sıcaklığının üstünde iken alan şekilde görüldüğü gibi silindere nüfuz etmektedir. Fakat sıcaklık geçiş sıcaklığının altına düşürüldüğünde, alan çizgileri süperiletkenden uzaklaştırılır. I. tip süperiletken bu bakımdan $\rho = 0$ a karşılık gelen mükemmel bir iletken olmanın ötesinde, aynı zamanda $B = 0$ olan mükemmel bir diamanyetik maddedir. Manyetik alanın süperiletkenden dışarlanması olayına Meissner olayı denir.

2.4. I. ve II. Tip Süperiletkenlik

Manyetik özelliklerine göre süperiletkenler I. tip süperiletkenler ve II. tip süperiletkenler olarak ayrılırlar. I. tip süperiletkenler Niyobyum hariç tüm süperiletken elementleri içerir; Niyobyum, süperiletken alaşımlar ve kimyasal bileşimler II. tip süperiletkenleri oluşturur. Yüksek sıcaklık süperiletkenleri de II. tip süperiletkenler içinde yer alır.

Bu iki grup süperiletken arasındaki temel fark, dış manyetik alana farklı tepkiler vermelerinden kaynaklanır.

I. Tip süperiletkenlerde kritik alanın sıcaklıkla değişimi Şekil 2.8' de gösterilmektedir.



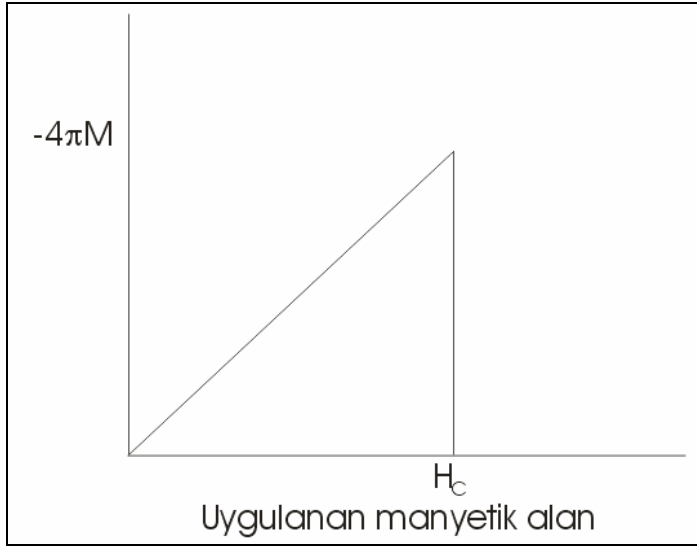
Şekil 2.8. I. Tip süperiletkenlerde manyetik alanın sıcaklıkla değişimi

Kritik alan sıcaklığa bağlıdır. Dış manyetik alanda bulunan bir maddenin kritik sıcaklığı manyetik alanın artmasıyla azalmaktadır. Kritik manyetik alanın sıcaklıkla değişimi Eş. 2.1' de verilmektedir.

$$H_c(T) = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (2.1)$$

Kritik sıcaklığın altında ve kritik manyetik alandan küçük alanlarda, manyetik alan numuneye nüfuz edemez. Manyetik alan kritik manyetik alan değerini aştığında alan numuneye tam olarak nüfuz eder ve süperiletkenlik ortadan kalkar.

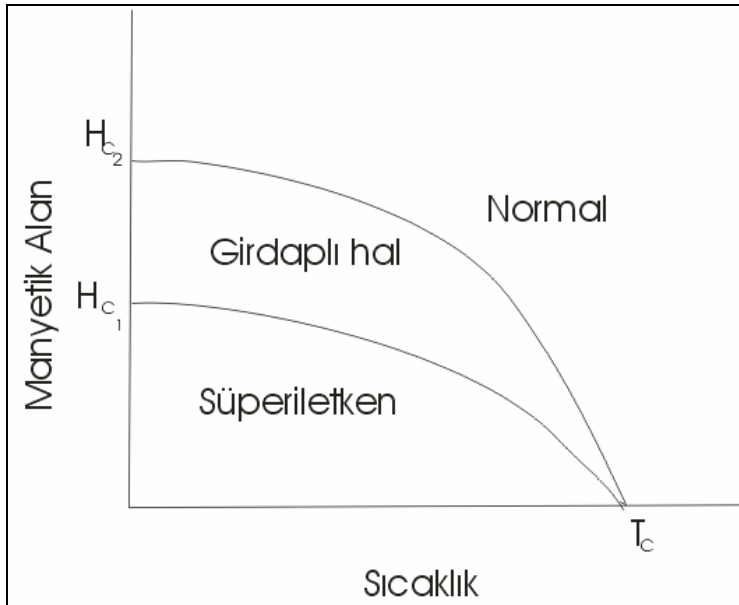
I. Tip süperiletkenlerin mıknatıslanma eğrisi Şekil 2.9' da gösterilmektedir.



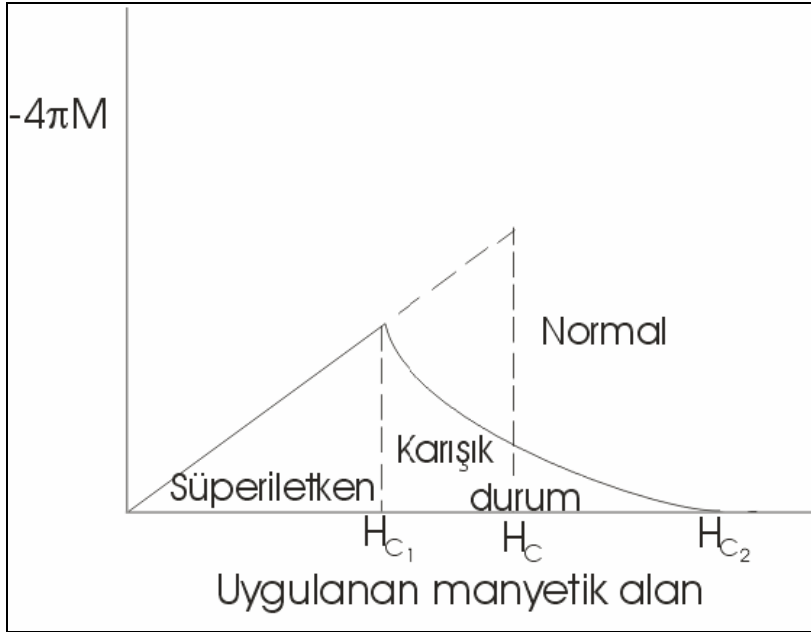
Şekil 2.9. I. Tip süperiletkenlerde mıknatıslanmanın uygulanan manyetik alanla değişimi

Süperiletkenlik durumunda manyetizasyon (M) uygulanan alanla doğru orantılı fakat ters işaretlidir.

II. Tip süperiletkenlerde kritik alanın sıcaklıkla değişimi Şekil 2.10' da ve mıknatıslanmanın manyetik alanla değişimi Şekil 2.11' de verilmektedir.



Şekil 2.10. II. Tip süperiletkenlerde manyetik alanın sıcaklıkla değişimi



Şekil 2.11. II. Tip süperiletkenlerde mıknatıslanmanın uygulanan manyetik alanla değişimi

II. Tip süperiletkenler alt kritik alan H_{c_1} ve üst kritik alan H_{c_2} olarak belirtilen iki kritik alanla belirtilmektedir. Uygulanan alan, H_{c_1} alt kritik alan değerinden küçükse madde tam olarak süperiletkendir ve I. Tip süperiletkendeki gibi akı maddeye nüfuz edemez. Uygulanan alan, H_{c_2} üst kritik alan değerini aştığında manyetik akı numunenin tamamına nüfuz eder ve süperiletkenlik ortadan kalkar.

Dış manyetik alan $H_{c_1} \leq H \leq H_{c_2}$ arasında ise madde girdaplı hal veya karışık hal diye adlandırılan durumda bulunur. Karışık halde madde sıfır dirence sahip olabilir ve akı kısmen nüfuz edebilir.

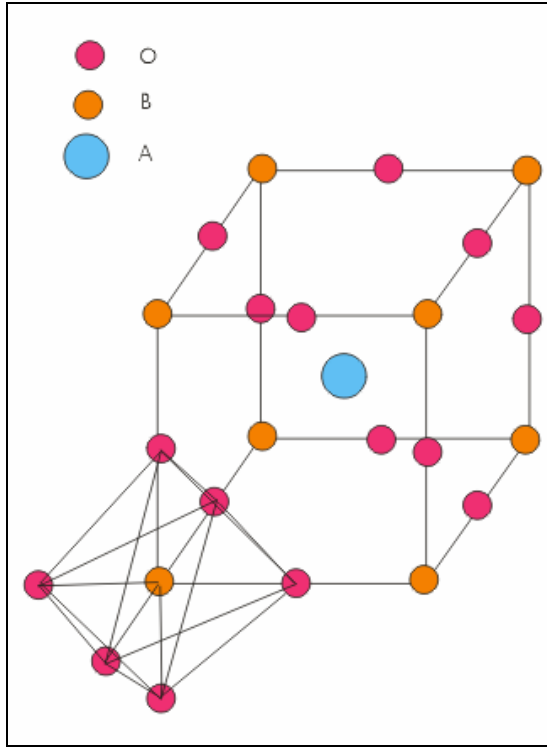
2.5. Bakır Oksit Süperiletkenlerin Özellikleri

- i) Kristal yapıları yüksek derecede anizotropiktir yani yöne bağımlı özelliklere sahiptir. Kristal yapı ile süperiletkenlik özellikleri arasında bir ilişki vardır [1,16].
- ii) II. Tip süperiletken olup kritik manyetik alanları 100 T' dan büyüktür ve geçiş sıcaklıkları yüksektir.

- iii) Tanesel ve seramik yapıdadırlar. Seramik yapıda olmalarından dolayı esnek değildirler ve kırılgan özellik gösterirler [16].
- iv) Bakır oksit tabakalarındaki atomların yerine başka atomların yerleştirilmesi süperiletkenliği bozmakta veya yok etmektedir. Başka konumlara yapılan yerdeğiştirmelerin süperiletkenliğe etkisi küçüktür [16].
- v) Koherenz uzunluğu oldukça küçüktür ve büyük sızma derinliğine sahiptir [1, 16].
- vi) Tabakalı yapıya sahiptir.
- vii) Perovskite olarak adlandırılan kristal yapılar cinsinden sınıflandırılabilirler. Tetragonal veya ortorombik yapıya sahiptirler.
- viii) Hacimli çok kristal yapıdaki malzemeler için kritik akım yoğunlukları oldukça düşüktür. Bu akım iyi yönlendirilmiş ince filmlerde çok daha yüksektir [16].

2.6. Perovskite Yapı

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin yapısı perovskite yapı ile yakından ilişkilidir. İki metal olan A ve B atomları ve üç oksijen atomundan meydana gelen perovskite yapının birim hücresi ABO_3 genel formülü ile verilir. İdeal perovskite yapı Şekil 2.12' de gösterilmektedir. En büyük atom olan A hücre merkezinde, daha küçük olan B kübün köşelerinde ve oksijen iyonları kübün kenarlarının orta noktalarında yer almaktadır.



Şekil 2.12. Perovskite yapı

2.7. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$ ($n=1, 2, 3$) Bileşiklerinin Kristal Yapıları

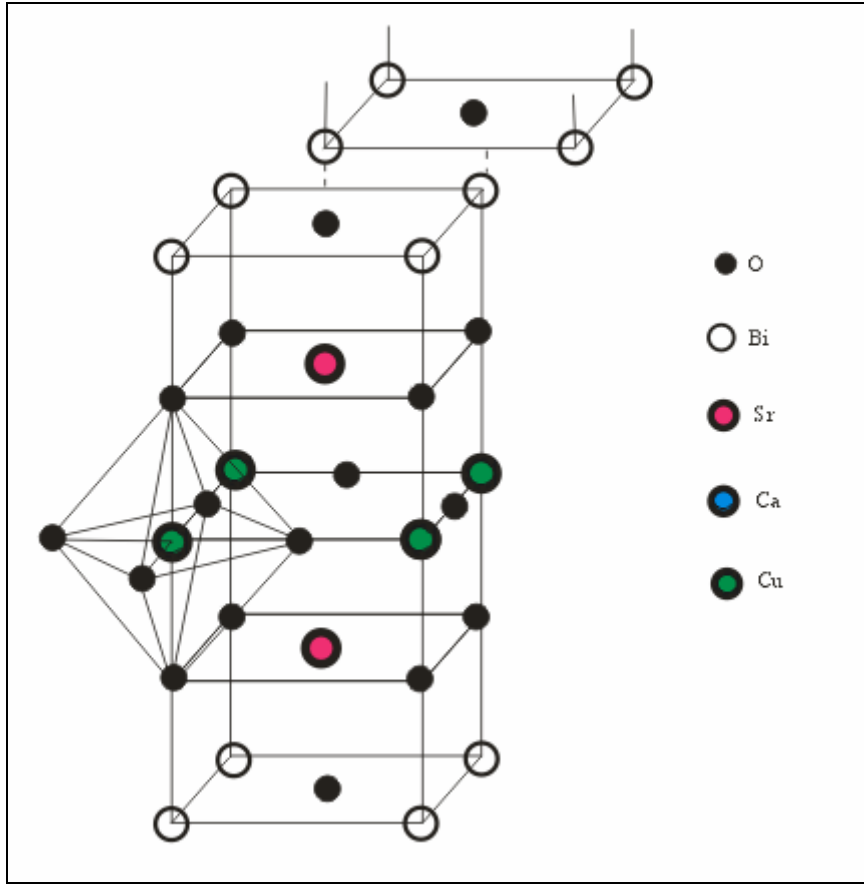
Bi-Sr-Ca-Cu-O sistemi, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{4+2n+y}$ ($n=1, 2, 3$) serilerini içeren süperiletken fazlarından oluşur. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{4+y}$ [17], $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ [18-20] ve $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+y}$ [17-18, 21]. Bu fazlar kısaca Bi-2201, Bi-2212 ve Bi-2223 fazları olarak adlandırılır. Çizelge 2.3' de bu fazlar gösterilmektedir [15]. Süperiletken geçiş sıcaklığı CuO_2 tabakasının sayısının artmasıyla artmaktadır. Fakat $n=3$ den fazla olduğunda ise azalmaktadır [22]. Burada n , CuO_2 tabakasının sayısını göstermektedir.

Çizelge 2.2. Bi-Sr-Ca-Cu-O sistemindeki fazlar

Yapı	Faz	Kritik sıcaklık (K)	n (birim hücredeki CuO ₂ sayısı)	Kristal yapı	Örgü parametreleri (Å)
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

2.7.1. Bi₂Sr₂CuO₆ (n= 1) bileşiğinin kristal yapısı

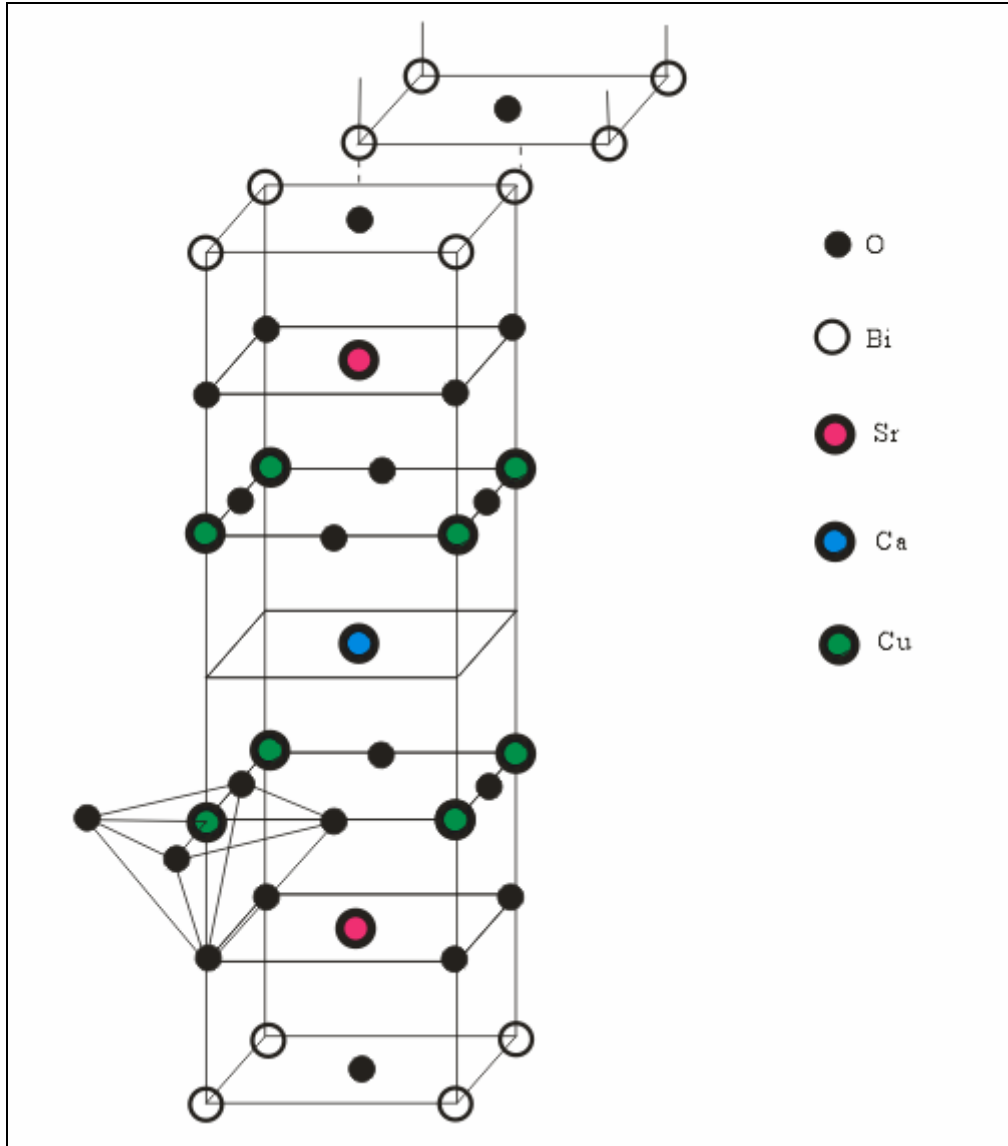
Bi₂Sr₂CuO₆ yapısı kısaca Bi-2201 fazı olarak adlandırılır ve bu faz tetragonal yapıdadır. Bu fazın birim hücresinde Bi-O düzlemleri arasında Sr-O düzlemleri ve ortada Cu-O düzlemi yer alır, Ca düzlemi yoktur. Bi-2201 fazının kristal yapısı Şekil 2.13’ de gösterilmektedir. Bu fazın birim hücreleri orijine göre (1/2 1/2 z) kayma şeklinde istiflenmektedir. Bu istiflenmede bir düzlemin Bi atomu sıradaki ardışık oksijen atomunun aşağısında yer alır. Cu atomunun oksijen atomuna göre koordinasyonu oktahedraldir. Bi-2201 fazının örgü parametreleri a= 0,54 nm ve c= 2,4 nmdir [23]. X-ışını piki yaklaşık olarak $2\theta = 7,2^\circ$ ve $2\theta = 21,9^\circ$ değerindedir [24]. Bi-2201 fazının geçiş sıcaklığı 20 K’nin aşağısında bulunmuştur [25].



Şekil 2.13. Bi-2201 fazının kristal yapısı

2.7.2. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ($n=2$) bileşiğinin kristal yapısı

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ yapısı kısaca Bi-2212 fazı olarak adlandırılır ve bu faz tetragonal yapıdadır. Bu fazda iki tane Cu-O, Sr-O, Bi-O düzlemleri ve bir tane Ca düzlemi yer almaktadır. Bu fazın birim hücrelerinde Bi-O düzlemleri arasında Sr-O düzlemleri ve ortada Cu-O düzlemi yer alır ve Cu-O düzleminin merkezinde Ca düzlemi vardır. Bi-2212 fazının kristal yapısı Şekil 2.14’ de gösterilmektedir. Bu fazın birim hücrelerinde Bi-2201 fazında olduğu gibi orijine göre $(1/2 \ 1/2 \ z)$ kaymasıyla istiflenmiştir. Cu atomu beş oksijen atomuyla çevrelenmiş pramidal yapıdadır. Örgü parametreleri $a = b = 5,4 \text{ Å}$ ve $c = 30,7 \text{ Å}$ dur [26]. X-ışınları deseninde karakteristik pikler $2\theta = 5,7; 23,2; 27,5$ derecelindedir. Geçiş sıcaklığı yaklaşık 85 K olarak bulunmuştur.

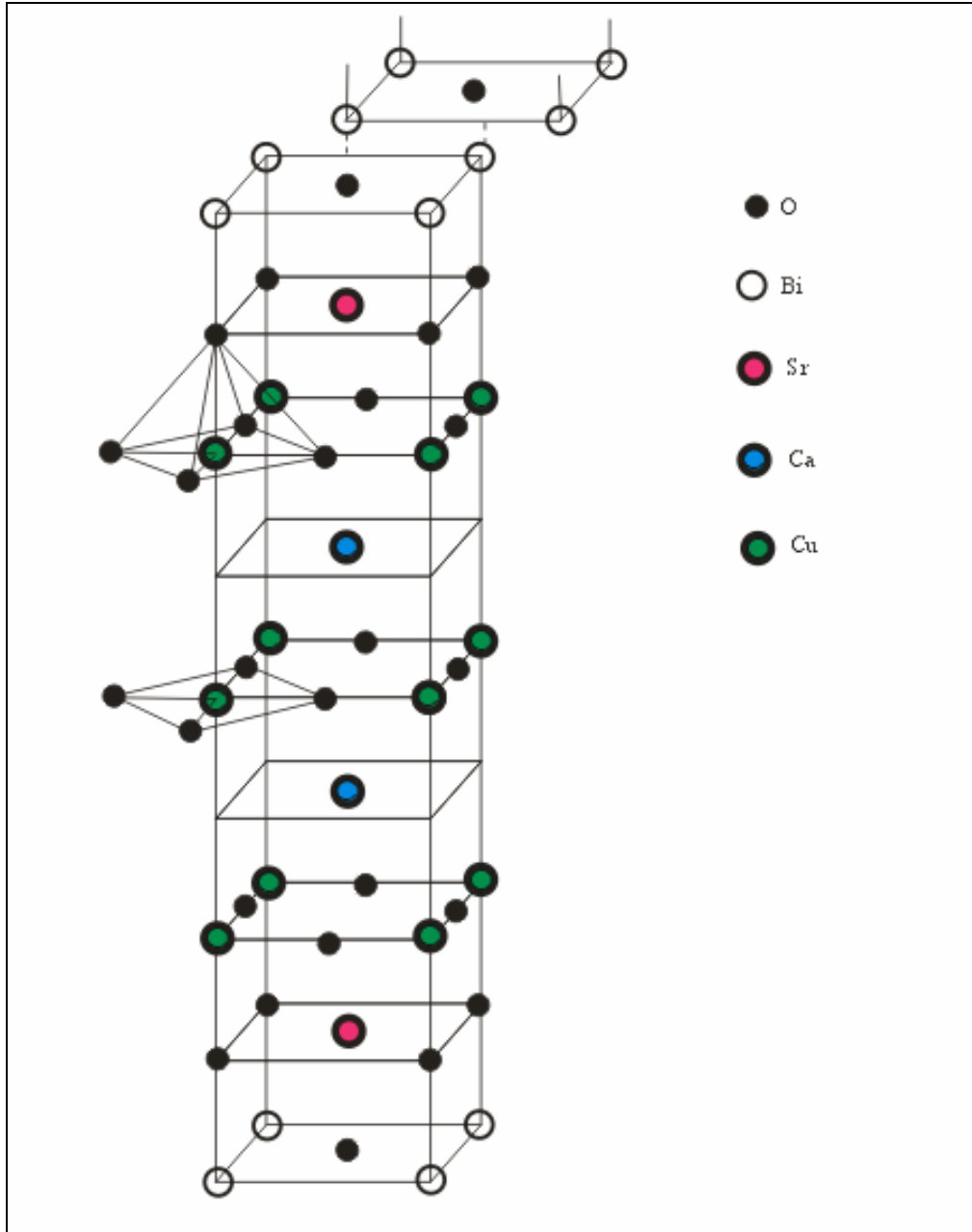


Şekil 2.14. Bi-2212 fazının kristal yapısı

2.7.3. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($n=3$) bileşiğinin kristal yapısı

Bi-2223 fazı olarak adlandırılan $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ tetragonal yapıdadır. Bu yapıda iki tane Sr-O, Bi-O ve Ca düzlemi ve üç tane Cu-O düzlemi yer almaktadır. Bi-O düzlemleri arasında sırasıyla Sr-O, Cu-O ve Ca düzlemleri ve ortada tekrar Cu-O düzlemi vardır. Kristal yapısı Şekil 2.15’ de gösterilmektedir. Cu atomu oksijen atomlarıyla iki koordinasyona sahiptir. Oluşan yapılardan biri Cu atomunun dört oksijen atomuyla bağlanarak oluşturduğu dörtgen yapıdır ve diğer yapı ise Cu atomunun beş oksijen atomuyla düzenlenmiş piramidal yapısıdır. Karakteristik

pikleri $2\theta = 4,7^\circ; 23,9^\circ; 28,8^\circ; 33,8^\circ$ değerlerindedir. Örgü parametreleri $a = b = 5,396 \text{ \AA}$ ve $c = 37,180 \text{ \AA}$ dur [27].



Şekil 2.15. Bi-2223 fazının kristal yapısı

2.8. Süperiletkenlerin Teknolojideki Kullanım Alanları

Süperiletkenliğin keşfinden sonra bilim adamları teknolojik uygulamalar için çalışmışlardır. Günümüzde süperiletken maddelere dayanan geniş bir uygulama alanı vardır.

Süperiletkenler tarafından sağlanan yüksek manyetik alan sayesinde manyetik rezonans görüntüleme (MRI)' de büyük gelişmeler sağlandı ve tıbbi alanda önemli bir yol katedildi. MRI, vücudun değişik kısımlarının görüntülenmesinde kullanılmaktadır.

Uygulama alanlarından biriside Maglev trenleridir. Altına süperiletken mıknatıs yerleştirilen tren hareket ettiğinde iletken raylara verilen elektrik akımı bir itme kuvveti oluşturmaktadır.

Enerji kayıplarını en aza indirmek için süperiletken kablolar üzerinde çalışılmaktadır. Yüksek kapasitede enerji iletim kabloları üretimi gerçekleştirilmiştir. Ancak bu kablolar kırılgan olduğundan çalışmalar devam etmektedir.

Fizik deneylerinde kullanılan parçacık hızlandırıcıları için gerekli olan yüksek alanlı mıknatıslar süperiletkenlerle gerçekleştirilmektedir.

Elektronik alanında da süperiletkenler önem kazanmaktadır. Elektronik devrelerde ve entegre devrelerde ara bağlantılarda kullanılmasıyla iletkenlerin dirençlerinden kaynaklanan sorunların giderilebileceği düşünülmektedir.

Josephson etkisi ve kuantum girişimlerini kullanan SQUID, manyetik alanların ölçülmesinde ve yorumlanmasında kullanılmaktadır. SQUID' ler tıbbi teşhis, jeolojik tahminler, ölçüm aletleri, gravite dalgalarının araştırılmasında kullanılmaktadır.

Görüldüğü gibi, süperiletkenler tıpta, elektronikte, ulaşımda, haberleşmede, güç üretiminde büyük rollere sahiptir.

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin uygulamaları [28],

- i) MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme)
- ii) Deneysel fizik için parçacık hızlandırıcılar
- iii) Manyetik olarak havaya kaldırılan trenler
- iv) Motorlar ve jeneratörler
- v) Elektrik güç istasyon jeneratörleri
- vi) Füzyon ve manyetohidrodinamik güç sistemleri
- vii) Elektrik enerjisi depolama sistemleri
- viii) Transformatörler

3. NUMUNELERİN ÜRETİMİ VE DENEYSEL ÖLÇÜM SİSTEMİ

3.1. Numunelerin Üretimi

Numuneler Kırıkkale üniversitesinde Dr. Mustafa Yılmazlar tarafından hazırlandı [29].

3.1.1. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ ($x=0,0$ ve $1,0$) bileşiğinin hazırlanması

$0,8\text{Bi}_2\text{O}_3 + 0,4\text{PbO} + 2\text{SrCO}_3 + (2-x)\text{CaO} + (x)\text{Sm}_2\text{O}_3 + 3\text{CuO} \rightarrow \text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ denkleminde başlangıç karışımı belirlendi.

$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ başlangıç karışımını hazırlamak için kullanılan kimyasal maddeler ; “ Aldrich Chemical Co.” dan temin edildi (Çizelge 3.1).

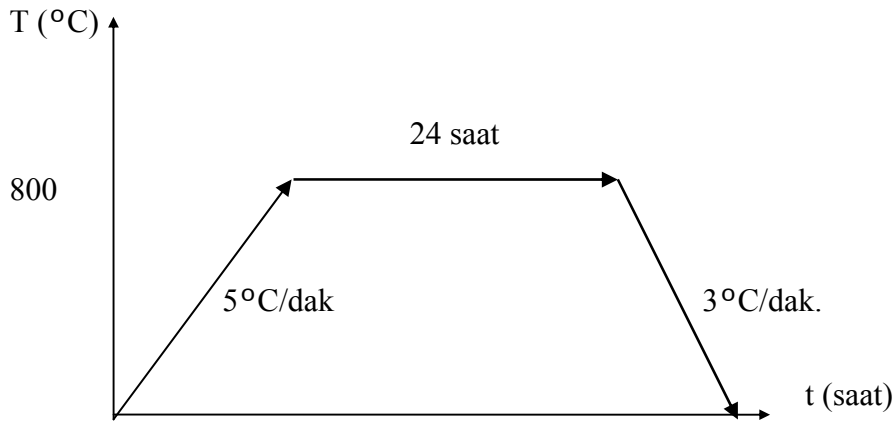
Çizelge 3.1. Başlangıç kompozisyonunu oluşturan bileşiklerin saflık dereceleri ve atom ağırlıkları

Bileşik	Saflık (%)	Atom Ağırlığı
Bi_2O_3	99,9	465,96
PbO	99,9	223,19
SrCO_3	98	147,63
CaO	99,9	56,08
Sm_2O_3	99,9	348,72
CuO	99,9	79,54

3.1.2. Toz karışımın kalsinasyonu

Uygun miktarda tartılan tozlar, homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık olarak beş saat kadar agat havanda elle karıştırıldı. Daha sonra bu karışım, alimüna (Al_2O_3) potaya konularak, programlanabilir Euroterm 808 Kontrollü Lenton Fırına yerleştirildi, oda sıcaklığından $5\text{ }^\circ\text{C/dak.}$ hızla $800\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtıldı ve bu

sıcaklıkta 24 saat bekletildi. Daha sonra 3 °C/dak. hızla oda sıcaklığına kadar soğutuldu (Şekil 3.1). $x=1,0$ katkılı örnek için kalsinasyon sıcaklığı 880 °C alınarak aynı ısıtma işlemleri uygulandı. Kalsinasyon olayı, toz karışımının ilk ısıtma-kimyasal işlemini oluşturmaktadır. Kalsinasyon işlemi yardımıyla toz karışımının içerisindeki karbondioksitlerin ve yabancı maddelerin sıcaklıkla ayrışması sağlanır.



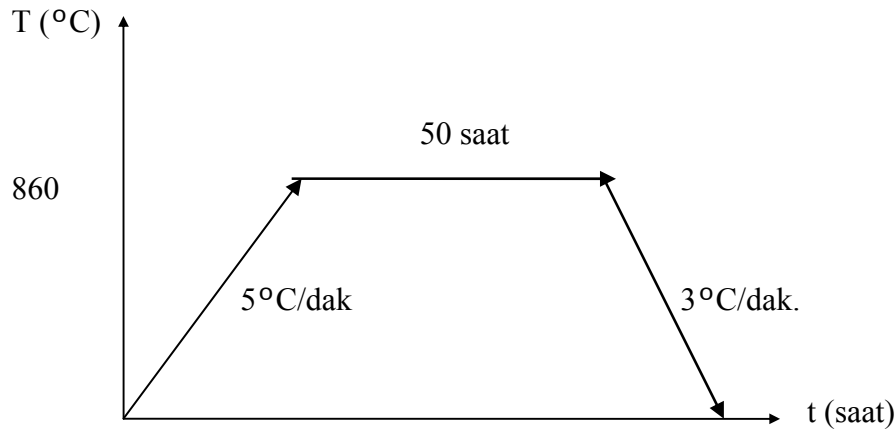
Şekil 3.1. Toz karışımının kalsinasyon işlemi

3.1.3. Tabletlerin sinterlenmesi

Kalsinasyon işleminden sonra başlangıç malzemesi ve katkı yapılmış olan malzemeler sinterleme işlemi için yaklaşık olarak 6-7 saat havanda elle karıştırılarak iyice öğütüldü. Öğütme işleminden sonra bu tozların her biri, 340 MPa basınç altında 13 mm çapında ve yaklaşık 1-1,5 mm kalınlığında tabletler haline getirildi. Süperiletken fazı elde etmek, karışımı oluşturan atomlar arasındaki bağları kuvvetlendirmek, polikristalleri meydana getirmek ve kristal kusurlarını ortadan kaldırmak için tabletlerin sinterlenmesi gerekir.

Hazırlanan tabletler, oda sıcaklığında fırına konuldu ve 5 °C/dak. hızla 860 °C'ye kadar ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 50 saat sinterlendikten sonra 3 °C/dak. hızla oda sıcaklığına soğutuldu (Şekil 3.2). Oda sıcaklığına kadar soğutulmuş olan bu örnek fırından çıkartıldı. Ara öğütme işlemine tabi tutulan bu örnek elle havanda yaklaşık 6-7 saat karıştırıldı. Malzemenin bazı yapısal özelliklerini iyileştirebilmek için, örneğin kısmen homojenliği sağlanmamışsa veya içinde gözenekler oluşmuş ise

bunları kaldırmak için ara öğütme işlemi uygulandı. Ara öğütme işlemi yapılmış bu örnek tekrar yukarıdaki formatta fırına konuldu ve ara öğütme işlemi üç kez tekrarlandı. Bu örnekler toplam 200 saat ısıtılma ve 3 kez ara öğütme işlemine tabi tutulmuş oldu. $x=1,0$ katkılı örnek için sinterleme sıcaklığı 940°C alınarak aynı ısıtılma işlemleri uygulandı. Çizelge 3.2’ de örneklerle uygulanan ısıtılma işlemleri gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Tabletlerin sinterlenme işlemi

Çizelge 3.2. Örneklerle uygulanan ısıtılma işlemleri

Katkı Miktarı (x)	Kalsinasyon sıcaklığı (°C)	Kalsinasyon süresi (saat)	Sinterleme sıcaklığı (°C)	Ara Öğütme sayısı	Toplam sinterleme süresi (Saat)
0.0	800	24	860	3	200
1.0	880	24	940	3	200

3. 2. Deneysel Ölçüm Sistemi

$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ numunesinin iletim özelliklerini incelemek için van der Pauw tekniği ve Hall etkisi ölçümleri yapıldı. Numunenin dört köşesine simetrik olacak şekilde kontaklar atıldı. Sıcaklığa bağlı ölçümler Resim 3.1’de gösterilen bilgisayar kontrollü Lake Shore yüksek empedans sisteminde yapıldı.



Resim 3.1. Lake Shore Yüksek Empedans Hall etkisi sistemi

Van der Pauw ve Hall etkisi ölçümleri 0-1,4 Tesla manyetik alan aralığında 0,2 Tesla aralıklarla yapıldı. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesi için 25-300 K sıcaklıkları arasında $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesi içinde 45-296 K sıcaklıkları arasında ölçüm yapıldı.

3.2.1. Özdirenç ölçümleri

$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ numunesinin özdirenç ölçümleri van der Pauw tekniği kullanılarak yapıldı. Bu nedenle, son derece küçük ve simetrik olacak şekilde numune yüzeyinin köşelerine dört kontak yapıldı. Şekil 3.3' te görüldüğü gibi akım gerilim değişimini izlemek için; iki özdirenç ve iki Hall gerilimi ölçümü olmak üzere dört ölçüm yeterlidir. Bununla birlikte ölçülen Hall voltajı üzerindeki diğer etkiler Look tarafından

$$V_{H\bar{0}} = V_H + V_N + V_R + V_E \quad (3.1)$$

verilmiştir [30]. Burada V_H , Manyetik alanı varken, harici akıma maruz kalmaksızın numunenin uçları arasında sıcaklık farkı oluşursa elektronlar sıcak bölgelerden numunenin sonlarındaki soğuk bölgelere hareket etme eğilimi gösterirler ve bu yolla bir akım oluştururlar. Oluşan bu akım manyetik alanla doğru orantılıdır. Bu olay (V_N) Nernst veya Nernst-Ettingshausen etkisi olarak bilinir. Bu elektronların yayılmaları sıcak ve soğuk bölgeler oluşturur böylece tekrar bir Seebeck potansiyeli oluşur. Bu potansiyel Righi-Leduc potansiyeli (V_R) olarak bilinir. Harici bir sıcaklık değişimi olmasa bile numune kendisi bu değişimi oluşturabilir. Çünkü yavaş (soğuk) ve hızlı (sıcak) elektronlar böylece dahili olarak üretilen Seebeck etkisi oluşturur. Bunun aksine harici olarak Seebeck etkisi bir potansiyel üretir. Bu potansiyel (V_E) Ettingshausen etkisi olarak bilinir ve hem manyetik alanla hem de akımla orantılıdır.

Ölçümlerde ısısal olarak ortaya çıkan potansiyel etkileri en aza indirebilmek için sekiz direnç ve sekiz Hall etkisi ölçümü alınarak toplam onaltı ölçüm yapıldı ve bu değerlerin ortalaması alındı.

Aşağıda verilen şartlar uygunsa van der Pauw tekniği geçerlidir; kontaklar son derece küçük olmalı, kontaklar numune yüzeyinde simetrik olmalı, numune plaka halinde, homojen, izotropik, olmalıdır. Kesinlikle sonsuz küçüklükte bir kontak yapmak mümkün değildir. Fakat, mümkün olan en küçük boyuttaki kontaklar hataları minimize edecektir [31]. Kontak bölgelerindeki homojensizlikler hem direnç hem de mobilite sonuçlarının tutarsız olmasına sebep olur [32].

Özdirenç (ρ), van der Pauw tarafından aşağıdaki şekliyle verilmiştir.

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \left[\frac{R_{12,34} + R_{23,41}}{2} \right] f \left(\frac{R_{12,34}}{R_{23,41}} \right) \Omega cm \quad (3.2)$$

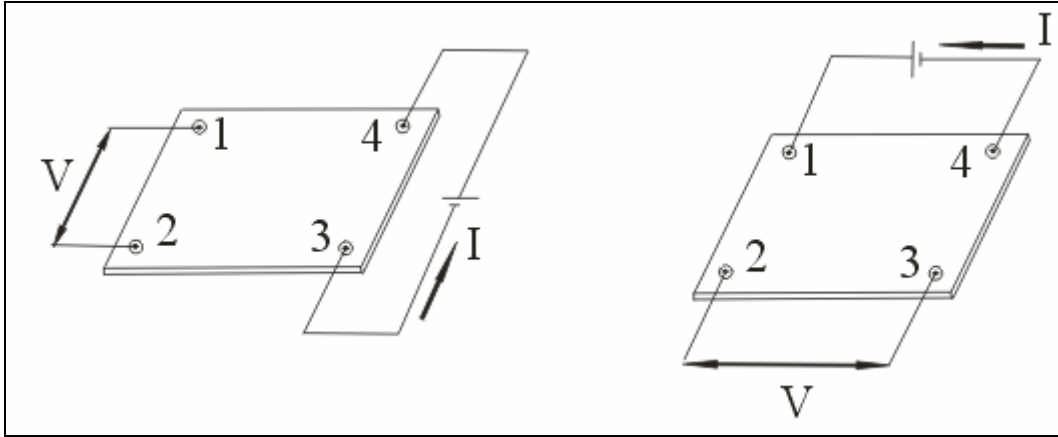
Burada d numune kalınlığı, $R_{12,34}$ ise 3 ve 4 nolu kontaklar arasında oluşan potansiyel farkının, kontak 1 ve 2 arasındaki akıma oranıdır ($R_{12,34} = V_{34} / I_{12}$). Benzer şekilde her kontak çifti üzerinden geçen akımın karşıkontakt çifti üzerinde

oluşturduğu potansiyel farkı dört düz yönlü akım ve dört ters yönlü akım uygulamak koşuluyla toplam sekiz öz direnç ölçümü yapıldı ve ortalamaları alındı.

$f(R_{12,34} / R_{23,41})$ düzeltme faktörüdür ve aşağıdaki gibi verilir;

$$f\left(\frac{R_{12,34}}{R_{23,41}}\right) = 1 - \left[\frac{R_{12,34} - R_{23,41}}{R_{12,34} + R_{23,41}} \right]^2 \frac{\ln 2}{2} - \left[\frac{R_{12,34} - R_{23,41}}{R_{12,34} + R_{23,41}} \right]^4 \left[\frac{(\ln 2)^2}{4} - \frac{(\ln 2)^3}{12} \right] \quad (3.3)$$

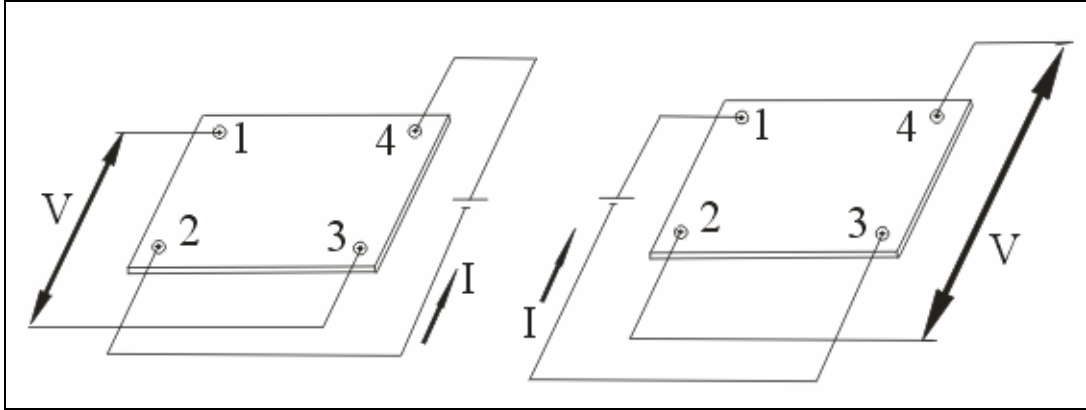
Özdirenç ölçümleri Şekil 3.3’ de görüldüğü gibi kontak çiftinden akım uygulayıp karşı kontak çiftinden gerilim okumaya dayanır.



Şekil 3.3. Direnç ölçümleri için şematik gösterim

3.2.2. Hall etkisi ölçümleri

Hall etkisi ölçümlerinde, manyetik alan numune yüzeyine dik uygulanır. Şekil 3.4’ de görüldüğü gibi bir çapraz kontak çiftinden akım uygulanır ve diğer çapraz voltaj çiftinde voltaj okunur.



Şekil 3.4. Hall katsayısı ölçümleri için şematik gösterim

Hall katsayısı ölçümlerinde ısı kaynaklı etkileri en aza indirmek için düz ve ters akım ve manyetik alan uygulanarak sekiz konfigürasyonu olan ölçüm yapıldı. Böylece sekiz konfigürasyon öz direnç ve sekiz konfigürasyon Hall katsayısı ölçümü olmak üzere on altı ölçüm yapıldı.

Van der Pauw ve Hall etkisi ölçümleri yapılmadan önce kontakların omik olduğunu doğrulamak için numune üzerindeki her bir kontak çifti için akım-gerilim ölçümleri yapıldı. Çizilen I-V grafiklerinin lineer olmaları kontakların omik olduklarını doğrulamaktadır [33].

3.2.3. Manyetik öz direnç ölçümleri

3.2.1 ve 3.2.2 kısımlarında verilen van der Pauw ve Hall etkisi ölçümleri 0 – 1,4 T manyetik alan aralığında, 25-300 K aralığında yapıldı.

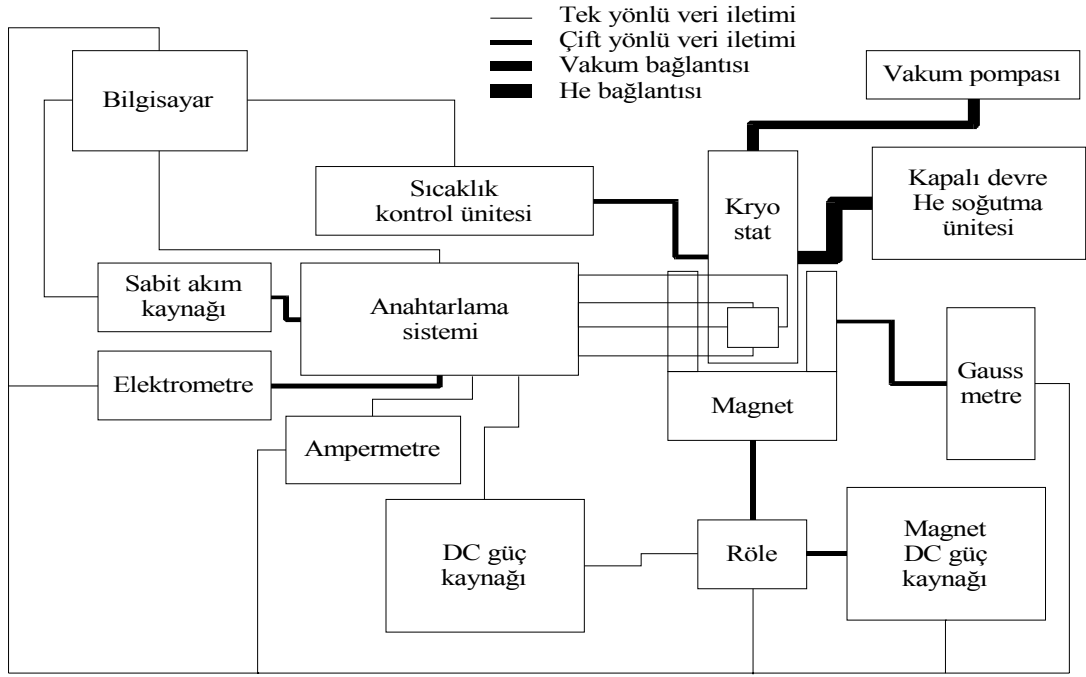
Direnç, metalin kendi özelliği olmayıp, katkı maddelerinden ve iletim bandındaki elektronların saçılmasına sebep olan yapısal kusurlardan kaynaklanır. Manyetik direnç, dış bir manyetik alan uygulandığında materyalin elektrik direncinde meydana gelen değişimdir.

Manyetik direncin (MR) en yaygın bilinen orijini elektronların yörüngeleri üzerindeki manyetik alan etkisidir (Lorentz kuvveti). Katı bir cisim içerisinde

elektronların hareket yörüngeleri, manyetik alandan kaynaklanan Lorentz Kuvveti etkisiyle saptırılır. Yük taşıyıcıları manyetik alan etrafında dönmeye başlar ve saçılana kadar akım yoğunluğuna katkıda bulunmaz (Hall etkisi). Dolayısıyla, akım çizgileri ve elektrik alanın yönü, izotropik bir materyalde bile, aynı yönlü olmaz. Aralarında sıfırdan farklı bir açı oluştur. Eğer manyetik alan elektrik akımının yönüne dikse bu açı Hall açısı θ 'ya eşittir.

3.2.4. Hall ölçüm sistemi

Ölçümler Lake Shore Hall Effect Measurement System kullanılarak alındı. Deney sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.5' de verildi. Şekilde görülen sabit akım kaynağı, elektrometre, anahtarlama sistemi, sıcaklık kontrol ünitesi ve magnet güç kaynağı Lake Shore HMS programı ile kontrol edilmektedir. Ayrıca bu program sabit akım kaynağı ve elektrometredeki verileri data kablosuyla bilgisayar ortamına aktarır ve öz direnç (ρ), taşıyıcı yoğunluğu (n_H), mobilite (μ_H), Hall katsayısı (R_H) değerlerini verir.



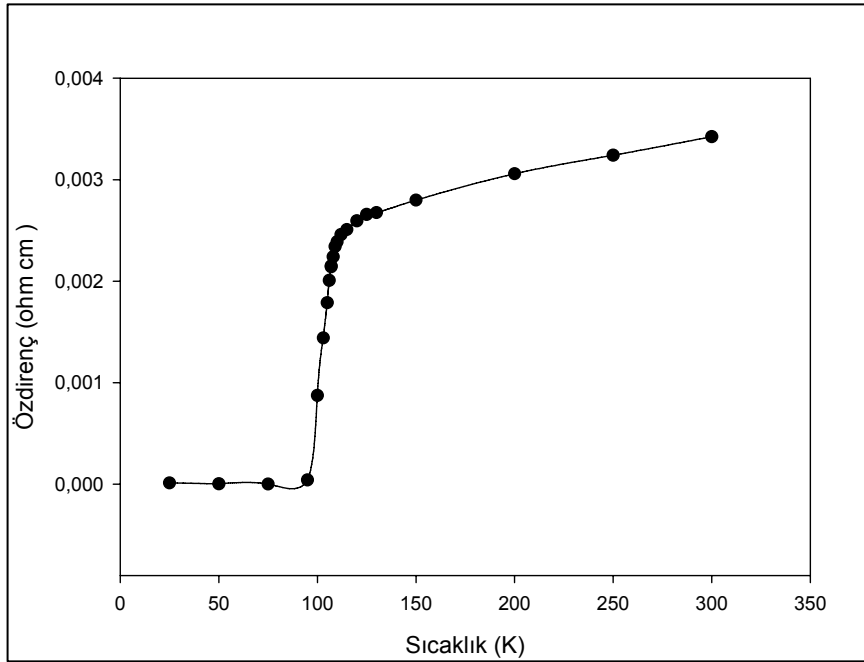
Şekil 3.5. Hall etkisi ölçüm sisteminin şematik gösterimi

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) Numunesinde İletim Özellikleri

4.1.1. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi

$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin özdirenç ölçümleri 25-300 K sıcaklıkları arasında van der Pauw tekniği kullanılarak yapıldı. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.1' de verildi.



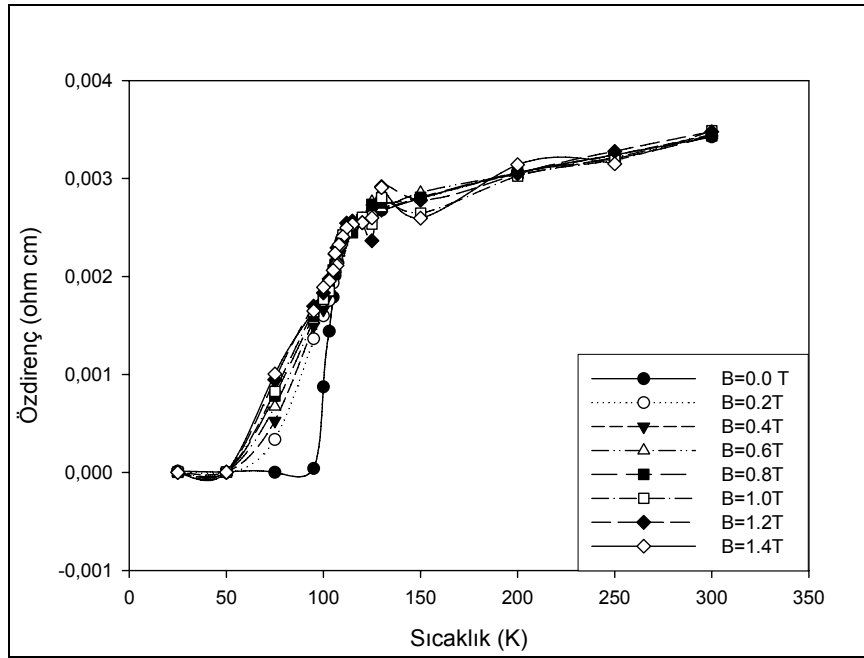
Şekil 4.1. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesine ait özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi

Bu numunenin süperiletkenlik başlangıç sıcaklığı yaklaşık olarak $T_{c_{\text{onset}}} = 110$ K ve elektriksel özdirencinin sıfır olduğu sıcaklık yaklaşık olarak $T_{c_{\text{offset}}} = 95$ K ölçüldü. Süperiletken hale geçiş aralığı $\Delta T = T_{c_{\text{onset}}} - T_{c_{\text{offset}}} = 15$ K olarak bulundu. $T_{c_{\text{onset}}}$ sıcaklığının üstünde elektriksel özdirenç sıcaklıkla lineer olarak değişmekte yani numune metalik özellik sergilemektedir. Metallerin özdirenci sıcaklık arttıkça artmaktadır. Yani özdirencin sıcaklığa bağlılığı $\rho = \rho_0 + aT$ dir ve ρ_0 yaklaşık

olarak 0,0024 ohm cm dir. Oda sıcaklığındaki öz direnç değeri $3,4244 \cdot 10^{-3}$ ohm cm dir. Bu sonuçlar literatürlerle uyum içindedir [22, 26, 34-37].

4.1.2 Farklı manyetik alanlarda öz direncin sıcaklığa bağlı değişimi

$\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin manyetik alan altında öz direnç ölçümlerini incelemek için 25-300 K sıcaklıkları arasında ve 0,2 Tesla aralıklarla 0-1,4 Tesla manyetik alan aralığında öz direnç ölçümleri alındı. Manyetik alan altında öz direncin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.2' de verildi.



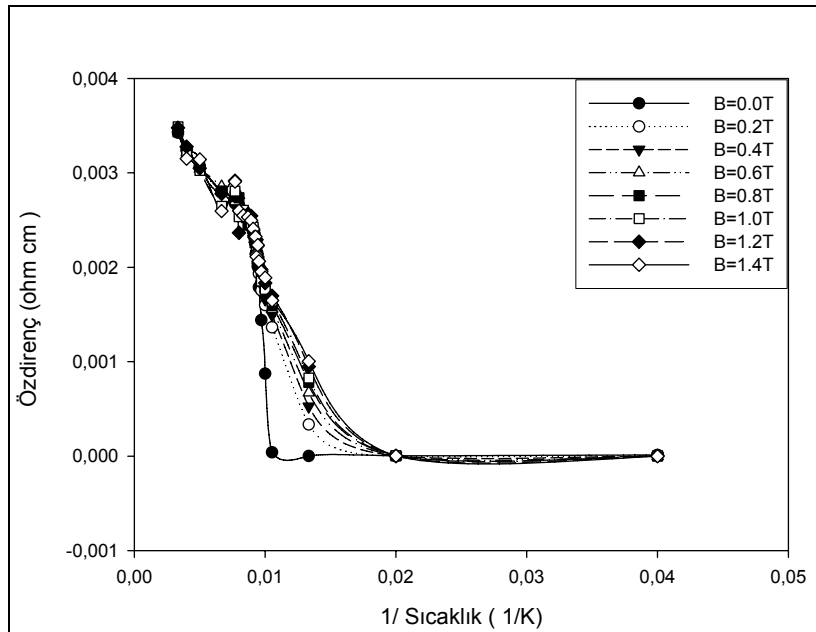
Şekil 4.2. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında öz direncin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi

Şekil 4.2' de tüm öz direnç sıcaklık eğrileri yaklaşık olarak birbirine benzemektedir. 1,4 Teslalık manyetik alan haricinde $T_{c_{\text{onset}}}$ sıcaklığının üstünde hemen hemen elektriksel öz direnç sıcaklıkla lineer olarak değişmektedir. Manyetik alanın artmasıyla $T_{c_{\text{offset}}}$ sıcaklığı azalmakta ve süperiletkenlik düşük sıcaklığa doğru kaymaktadır. Kritik sıcaklık değerleri manyetik alanın bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

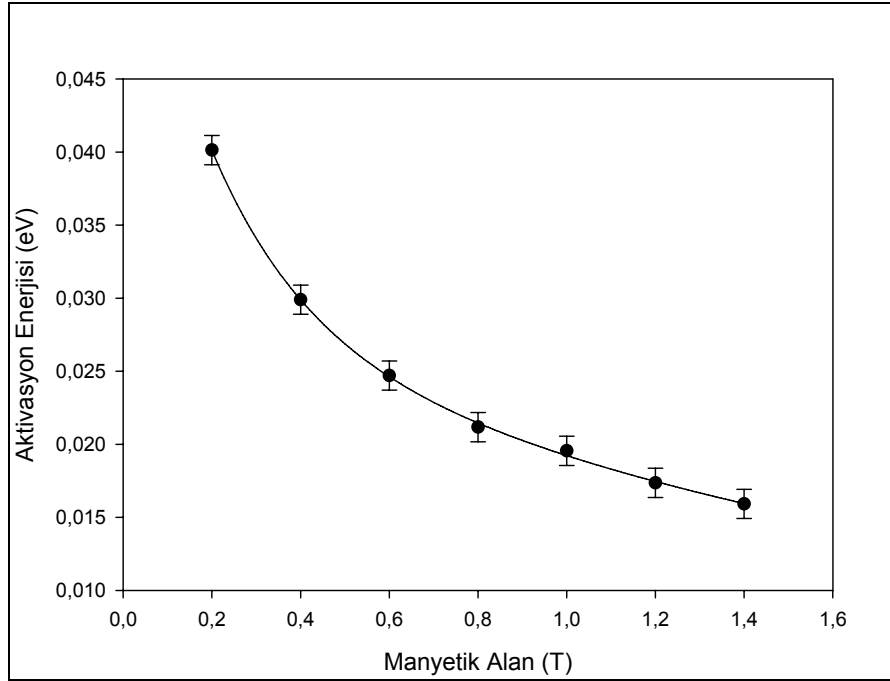
ΔT nin genişliği, manyetik alanın artışıyla yavaşça artmaktadır. Manyetik alanın artışıyla intragrain Josephson bağlaşım enerjisinin azalması bu genişlemeden sorumlu olabilir [34]. Buradaki genişleme termal harekete geçirilmiş akı akışıyla ilişkili olan enerji kaybı ile ilgilidir. Bu enerji kaybı girdapların termal uyarılmasıyla direkt orantılı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.2 den görüldüğü gibi 95 K- 75 K sıcaklıkları arasında bir bükülme gözlenmektedir. Bu bize numunenin 2212 fazını da barındırdığını göstermektedir. Bi-2212 fazının kritik geçiş sıcaklığı 75-80 K arasındadır [36]. Bi-2212 fazı ve Bi-2223 fazlarının oluşum oranlarında etken teknolojik parametreler; tabletme basıncı, kalsinasyon ve sinterleme süreleri ve sıcaklıkları, elementlerin stokiometrik oranlarıdır. Taneciklerin birbirleri arasındaki yerleşme mesafesi ve kontakların kalitesi bu değişkenlere bağlıdır. Bi-2223 fazının oluşmasında tekrar toz haline getirme, pelletme ve sinterleme işlemleri önemlidir [22]. Bi-2223 süperiletkenler çok fazlı olarak bilinmektedir [38-39]. Bunları tek faz olarak hazırlamak çok zordur.

4.1.3. Aktivasyon enerjisi



Şekil 4.3. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x= 0,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında öz direnç 1/sıcaklık eğrisi



Şekil 4.4. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin manyetik alana bağlı aktivasyon enerjisi (↑ hata payını göstermektedir)

Termal desteklenmiş akı akışı (TAFF) teorisine göre düşük akım limitlerinde öz direnç değeri Eş. 4.1' de gösterilmektedir.

$$\rho_{(B,T)} = \rho_0 \exp(-U / k_B T) \quad (4.1)$$

Burada ρ_0 süpeiletkenlik geçişinin başladığı direnç değeri, k_B Boltzman sabiti ve U aktivasyon enerjisidir.

$\ln \rho - 1/T$ eğiminden yararlanarak çizilen aktivasyon enerjisinin manyetik alana bağlı grafiği Şekil 4.4' de gösterilmektedir.

Örneğin direnci, intergranular (tanecikler arası) ve intragranular (tanecik içi) bölgeler için yerel enerji minimumu arasındaki bariyerler üzerinde akışların hareketinden meydana gelir [34]. Aktivasyon enerjisi,

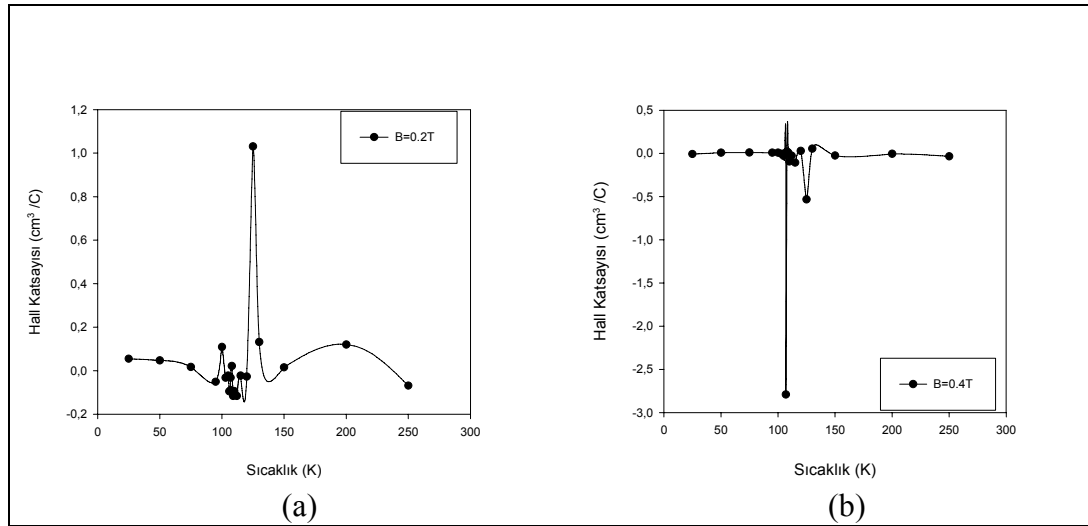
$$U(H) = U_0 + \sigma \ln\left(\frac{B_0}{B}\right) \quad (4.2)$$

Burada U_0 , B_0 ile ilgili aktivasyon enerjisi; B_0 kollektif girdap ve tek girdap arasındaki geçiş alanıdır.

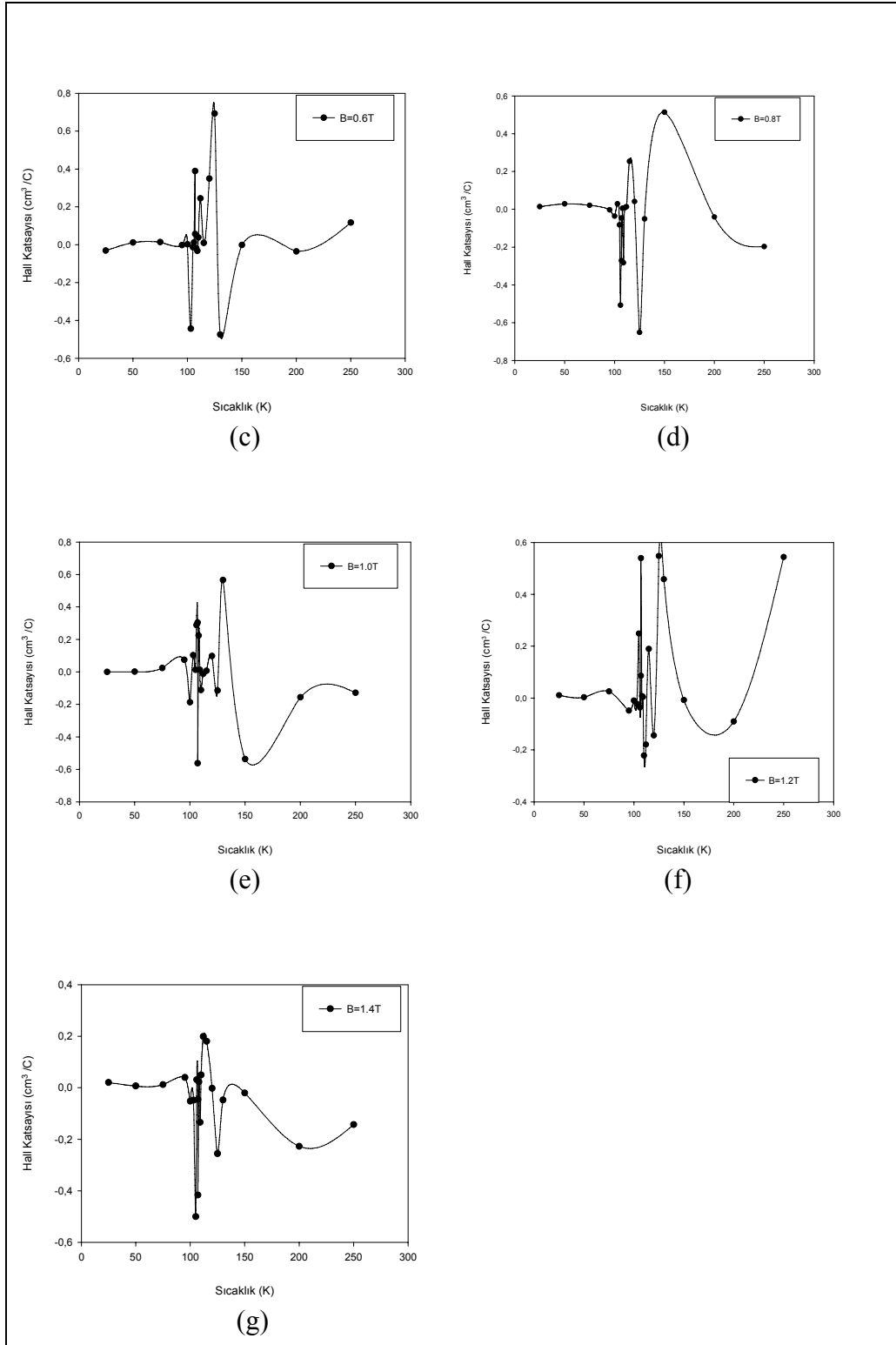
Aktivasyon enerjisinin manyetik alana bağlı grafiği Eş. 4.2 ile uyum göstermektedir. Aktivasyon enerjisi manyetik alanın bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Manyetik alan arttıkça aktivasyon enerjisi azalmaktadır. Manyetik alanın artmasıyla flux-pinnig enerjisi azalmaktadır.

4.1.4. Farklı manyetik alanlarda Hall katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi

Manyetik alan altında Hall katsayısının sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.5' de verilmektedir.



Şekil 4.5. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında Hall katsayısı sıcaklık eğrisi



Şekil 4.5. (Devam) $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında Hall katsayısı sıcaklık eğrisi

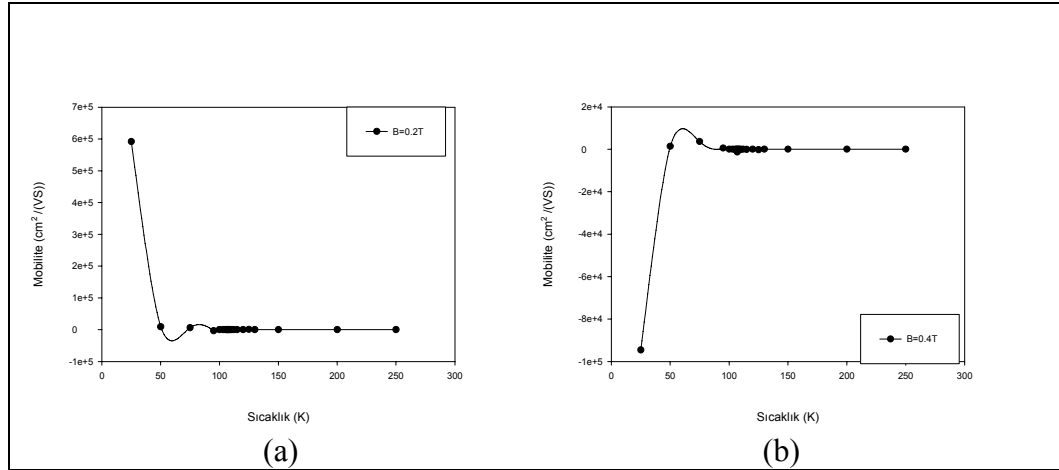
Manyetik alan altında Hall katsayısının sıcaklıkla değişimi Şekil 4.5’ de gözlenmektedir.

Hall katsayısının negatif çıkan değerlerinden dolayı elektronların da taşıyıcı olduğu düşünülmektedir.

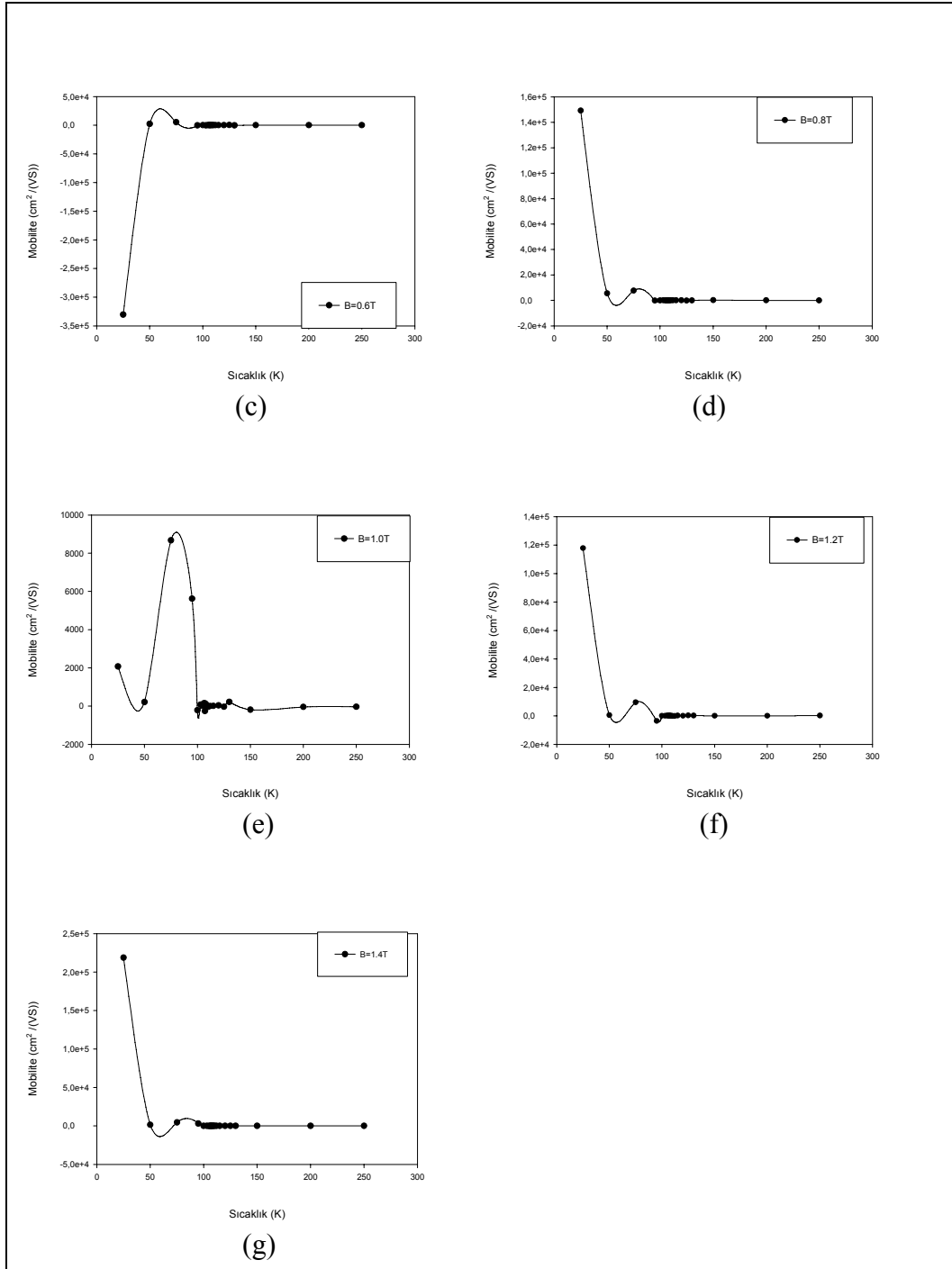
Şekil 4.5’ de gösterildiği üzere süperiletken durumunda $T_{c\text{offset}}$ sıcaklığının altında ise Hall katsayısı yaklaşık olarak sıfırdır [35]. $T_{c\text{onset}}$ ve $T_{c\text{offset}}$ arasında ise dalgalanmalar daha fazla olmaktadır. Bu seramik metaryallerin kompleks mikroyapısıyla ilişkilendirilmiştir, T_c nin aşağısında $R_H(T)$ nin vadisi, tane sınırlarından kaynaklandığı düşünülmektedir [35].

4.1.5. Mobilitenin sıcaklığa ve manyetik alana bağlı değişimi

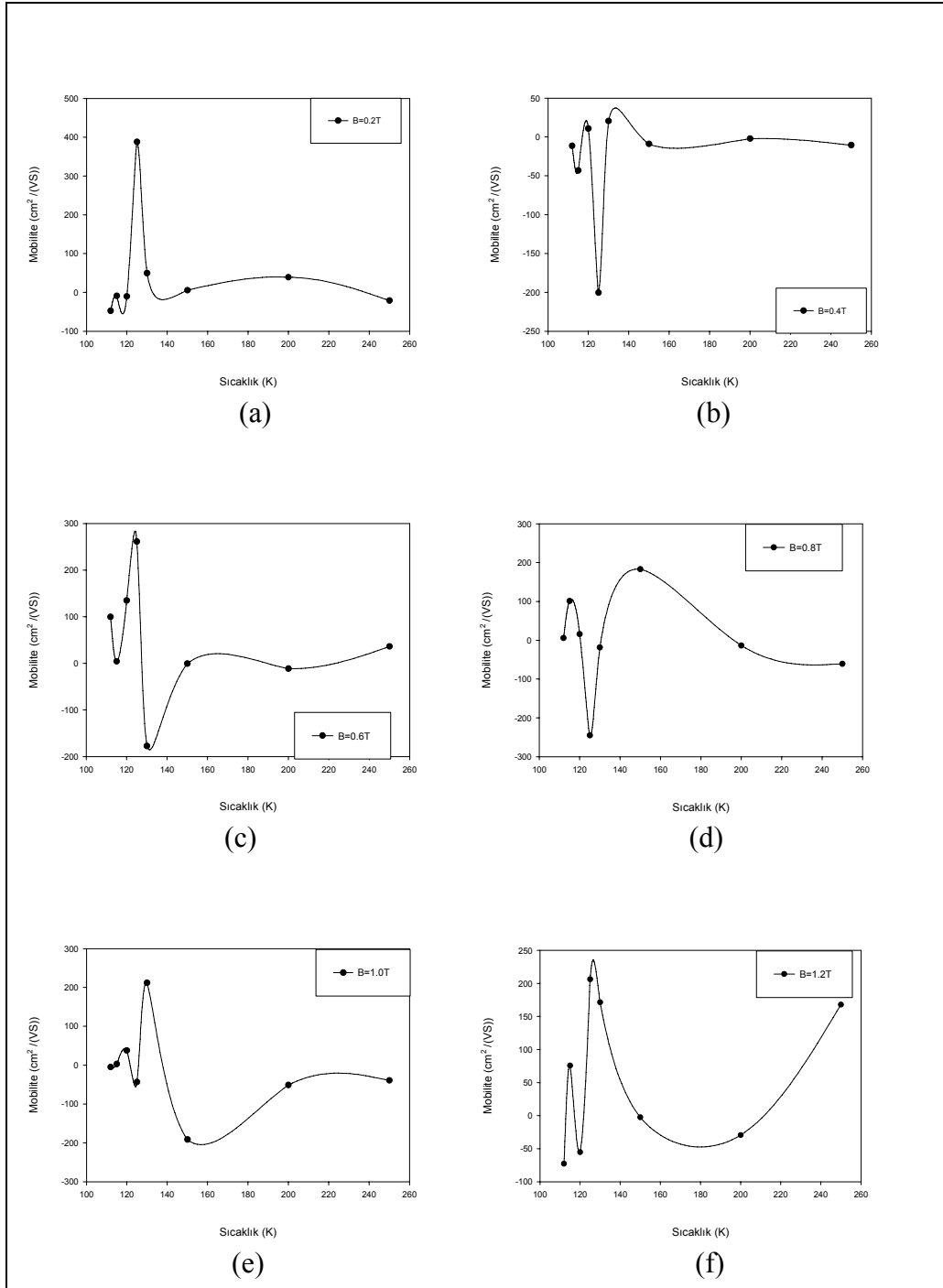
Manyetik alan altında mobilitenin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’ de verilmektedir.



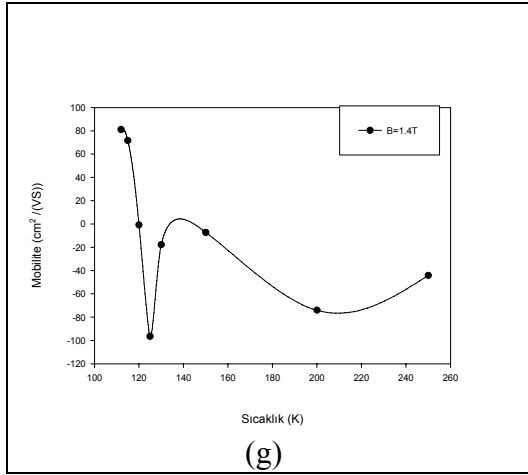
Şekil 4.6. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında mobilitenin sıcaklık eğrisi



Şekil 4.6. (Devam) $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında mobilite sıcaklık eğrisi



Şekil 4.7. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında kritik sıcaklığın üstünde mobilite sıcaklık eğrisi

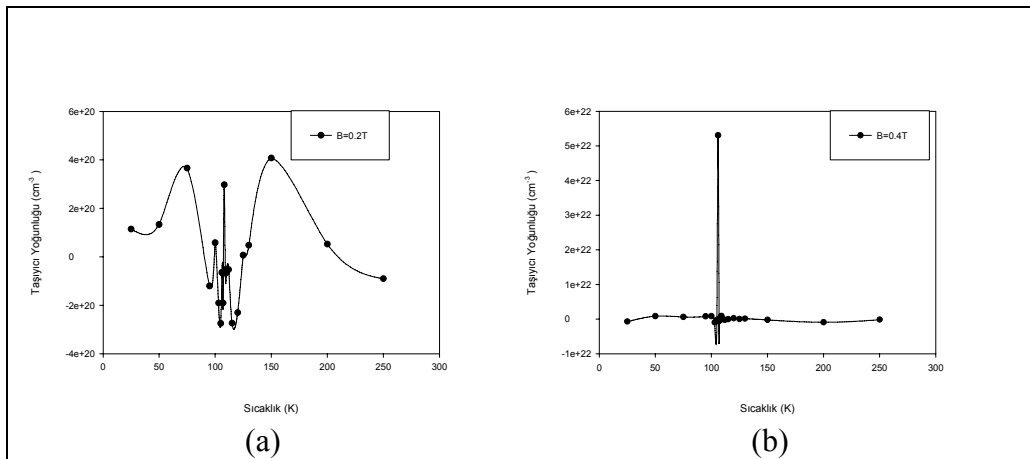


Şekil 4.7. (Devam) $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında kritik sıcaklığın üstünde mobilite sıcaklık eğrisi

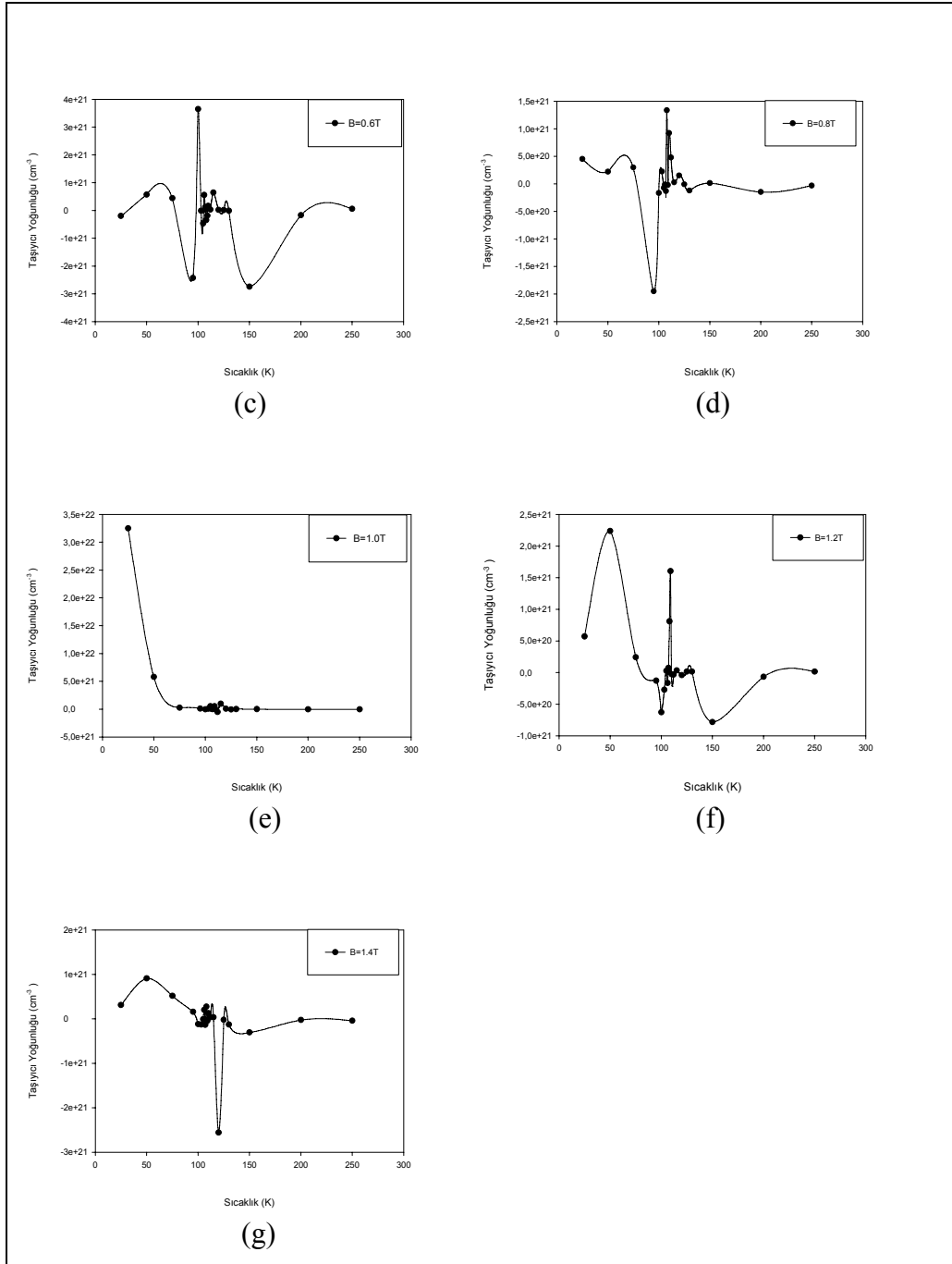
Şekil 4.7' de görüldüğü gibi Hall katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği ve mobilite sıcaklık grafiği birbiri ile uyum göstermektedir.

4.1.6. Farklı manyetik alanlarda taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değişimi

Manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değişimi Şekil 4.8' de verilmektedir.



Şekil 4.8. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi



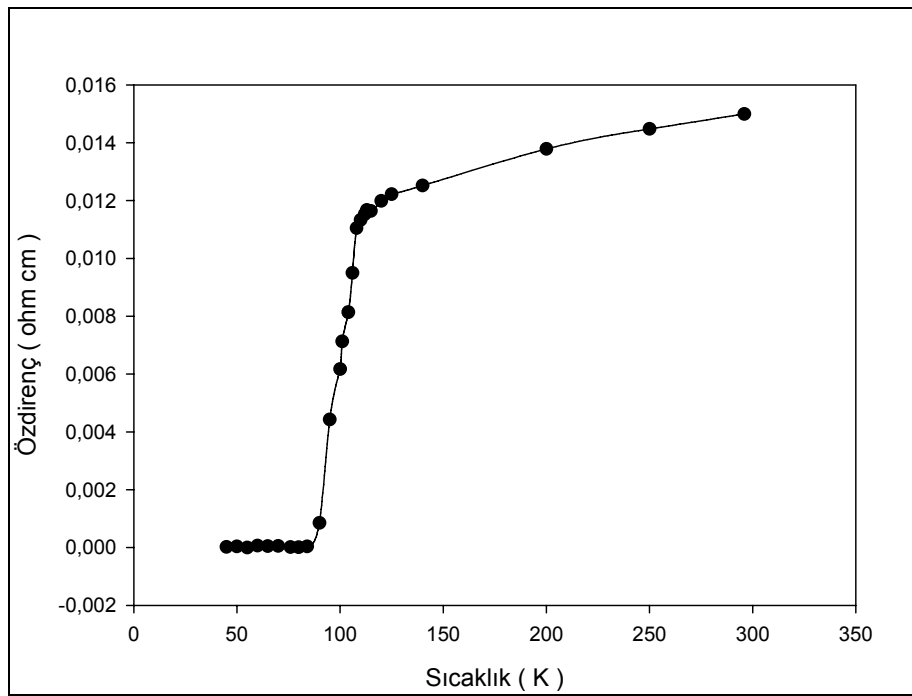
Şekil 4.8. (Devam) $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=0,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi

Normal durumda $n_H = 1/eR_H$ ile ilişkilidir [35, 40]. Şekil 4.8’de manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi verilmektedir.

4.2. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) Numunesinde İletim Özellikleri

4.2.1. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişimi

Van der Pauw tekniği kullanılarak $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin özdirenc ölçümleri 45-296 K sıcaklıkları arasında yapıldı. Özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.9' da verildi.



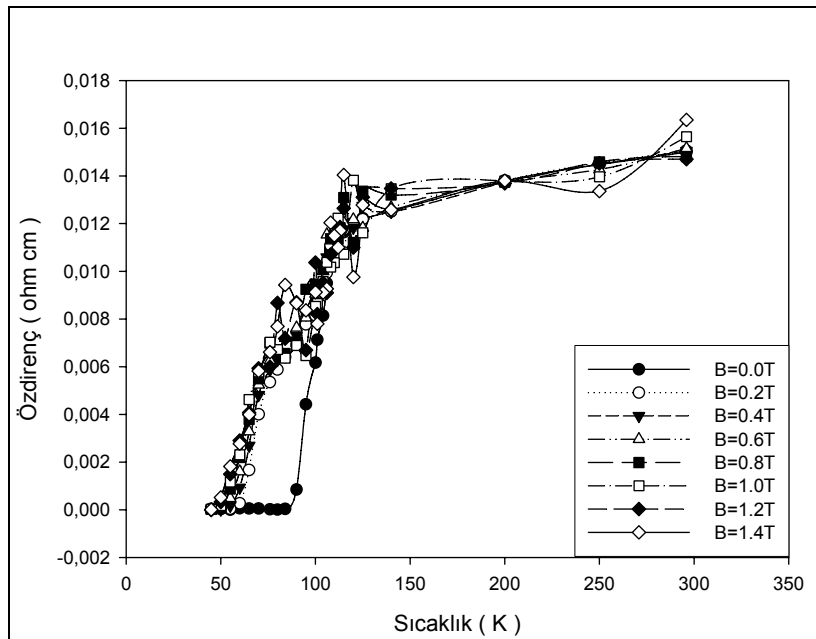
Şekil 4.9. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x= 1,0$) numunesine ait özdirencin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi

Bu numunenin süperiletkenlik başlangıç sıcaklığı yaklaşık olarak $T_{c_{\text{onset}}} = 108$ K ve elektriksel özdirencinin sıfır olduğu sıcaklık yaklaşık olarak $T_{c_{\text{offset}}} = 84$ K ölçüldü. Süperiletken hale geçiş aralığı $\Delta T = T_{c_{\text{onset}}} - T_{c_{\text{offset}}} = 24$ K olarak bulundu. Katkısız numuneye göre süperiletken hale geçiş aralığı ΔT artmaktadır ve Sm_2O_3 katkılı olduğunda süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı azalmaktadır. Sm' in iyonik yarıçapı Ca' nın iyonik yarıçapından daha büyüktür. Sm^{+3} , in Ca^{+2} iyonlarının yerine yerleştiğini varsayarak yapıyı yüksek sıcaklık fazından düşük sıcaklık fazına dönüştürdüğü düşünülebilir. Gözenekli yapıya sahip katkısız numunede katkı

eklenmesiyle gözenek artmakta ve taneler arası temas azalmaktadır [29]. Bundan dolayı süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı azalmaktadır. Katkısız numunede olduğu gibi, $T_{c_{onset}}$ sıcaklığının üstünde elektriksel özdirenç sıcaklıkla lineer olarak değişmektedir. Bu aralıkta numune metalik özellik sergilemektedir. ρ_0 yaklaşık olarak 0,0110 ohm cm dir. Katkısız numuneye göre özdirenç değerinde artış gözlenmektedir.

4.2.2. Farklı manyetik alanlarda özdirençin sıcaklığa bağlı değişimi

$Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_{2-x}Sm_xCu_3O_y$ ($x=1,0$) numunesinin manyetik alan altında özdirenç ölçümlerini incelemek için 45-296 K sıcaklıkları arasında ve 0,2 Tesla aralıklarla 0-1,4 Tesla manyetik alan aralığında özdirenç ölçümleri alındı. Manyetik alan altında özdirençin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.10' da verilmektedir.

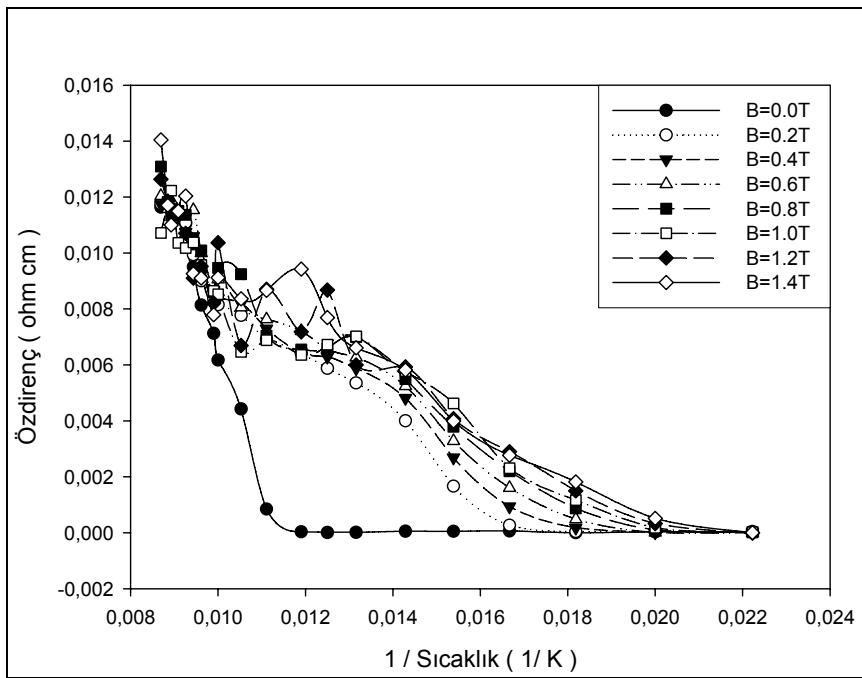


Şekil 4.10. $Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr_2Ca_{2-x}Sm_xCu_3O_y$ ($x=1,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında özdirençin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi

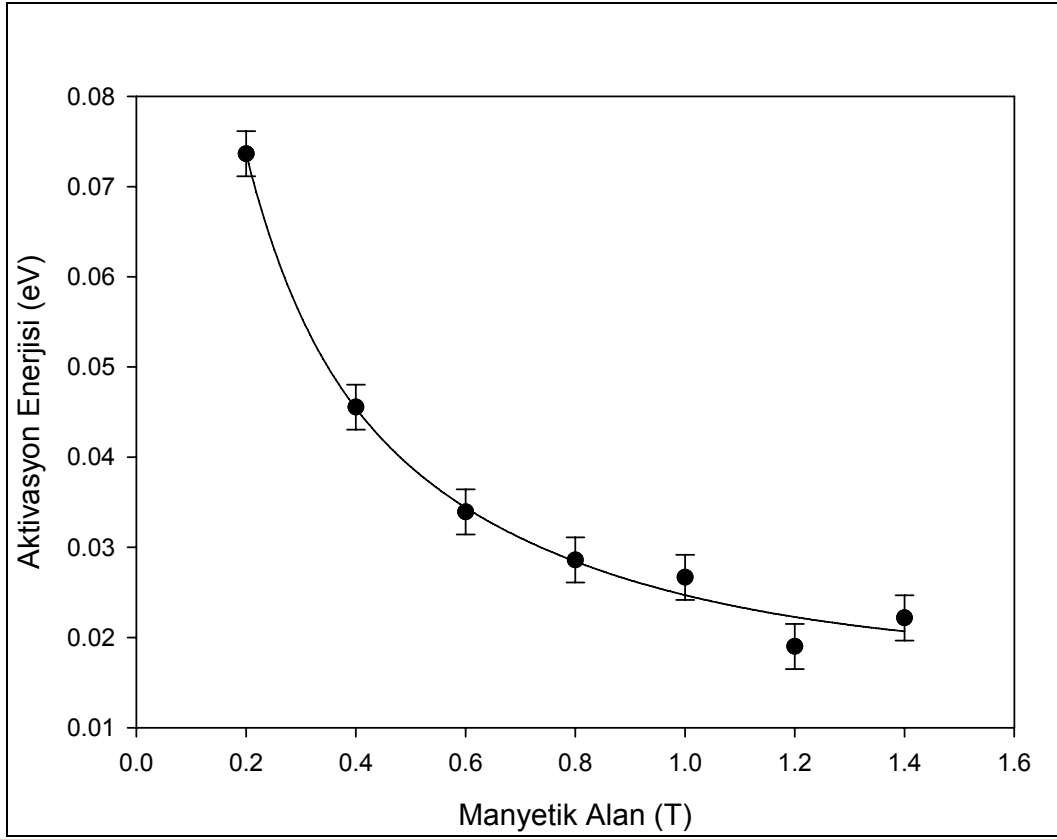
Katkısız numunede olduğu gibi tüm özdirenç sıcaklık eğrileri yaklaşık olarak birbirine benzemektedir. Manyetik alan arttıkça $T_{c_{onset}}$ sıcaklığının üstünde elektriksel özdirençin sıcaklıkla lineer değişimi bozulmaktadır. Manyetik alan artmasıyla $T_{c_{offset}}$ sıcaklığı azalmakta ve süperiletkenlik düşük sıcaklığa doğru kaymaktadır ve ΔT nin

genişliği, manyetik alanın artışıyla yavaşça artmaktadır. Kritik sıcaklık değerleri manyetik alanın bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Yaklaşık 80 K civarında manyetik alanın artışıyla bir bükölme gözlenmektedir. Bu bize numunenin 2212 fazını içerdiiğini göstermektedir. Bi–2212 fazının kritik geçiş sıcaklığı 75-80 K arasındadır.

4.2.3. Aktivasyon enerjisi



şekil 4.11. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin farklı manyetik alanlar altında özdirenç $1/\text{sıcaklık}$ eğrisi

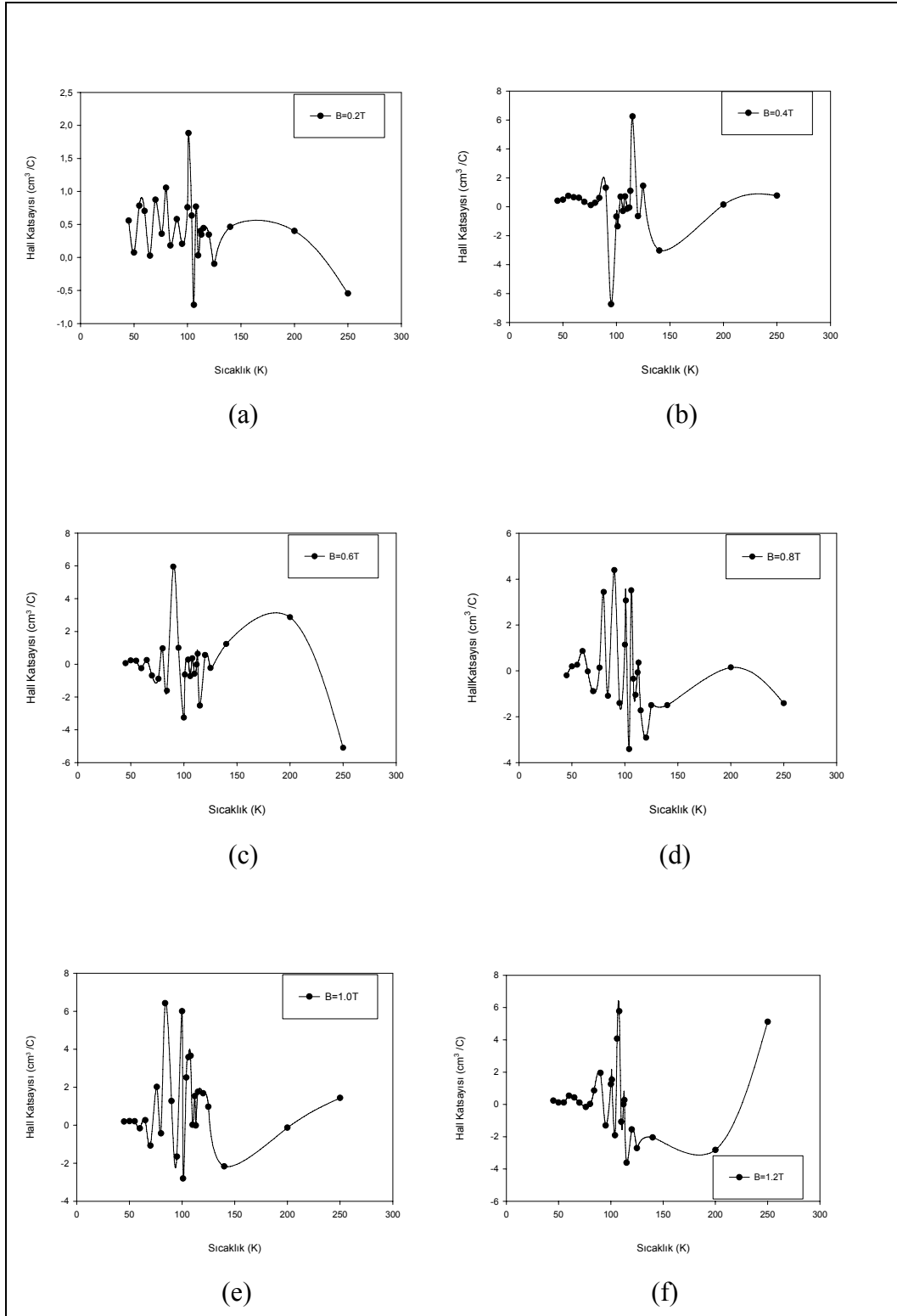


Şekil 4.12. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin manyetik alana bağlı aktivasyon enerjisi ($\pm$ hata payını göstermektedir)

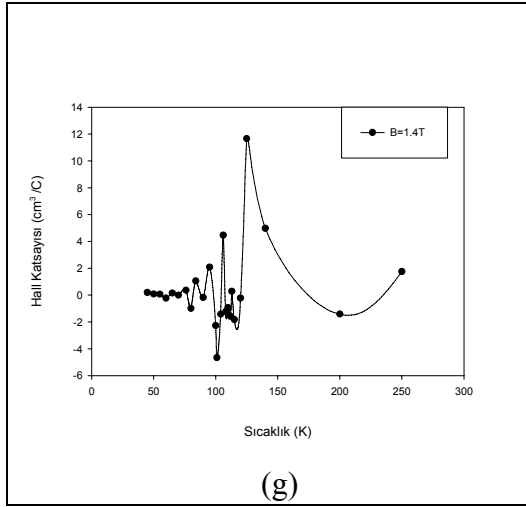
Katkılı ve katkısız numunelerin aktivasyon enerjisinin manyetik alanla değişimleri benzerdir. Katkısız numunede olduğu gibi katkılı numunede de aktivasyon enerjisi artan manyetik alanla üstel olarak azalmaktadır.

4.2.4. Farklı manyetik alanlarda Hall katsayısının sıcaklığa bağlı değişimi

Manyetik alan altında Hall katsayısının sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.13' de verilmektedir.



Şekil 4.13. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında Hall katsayısı sıcaklık eğrisi



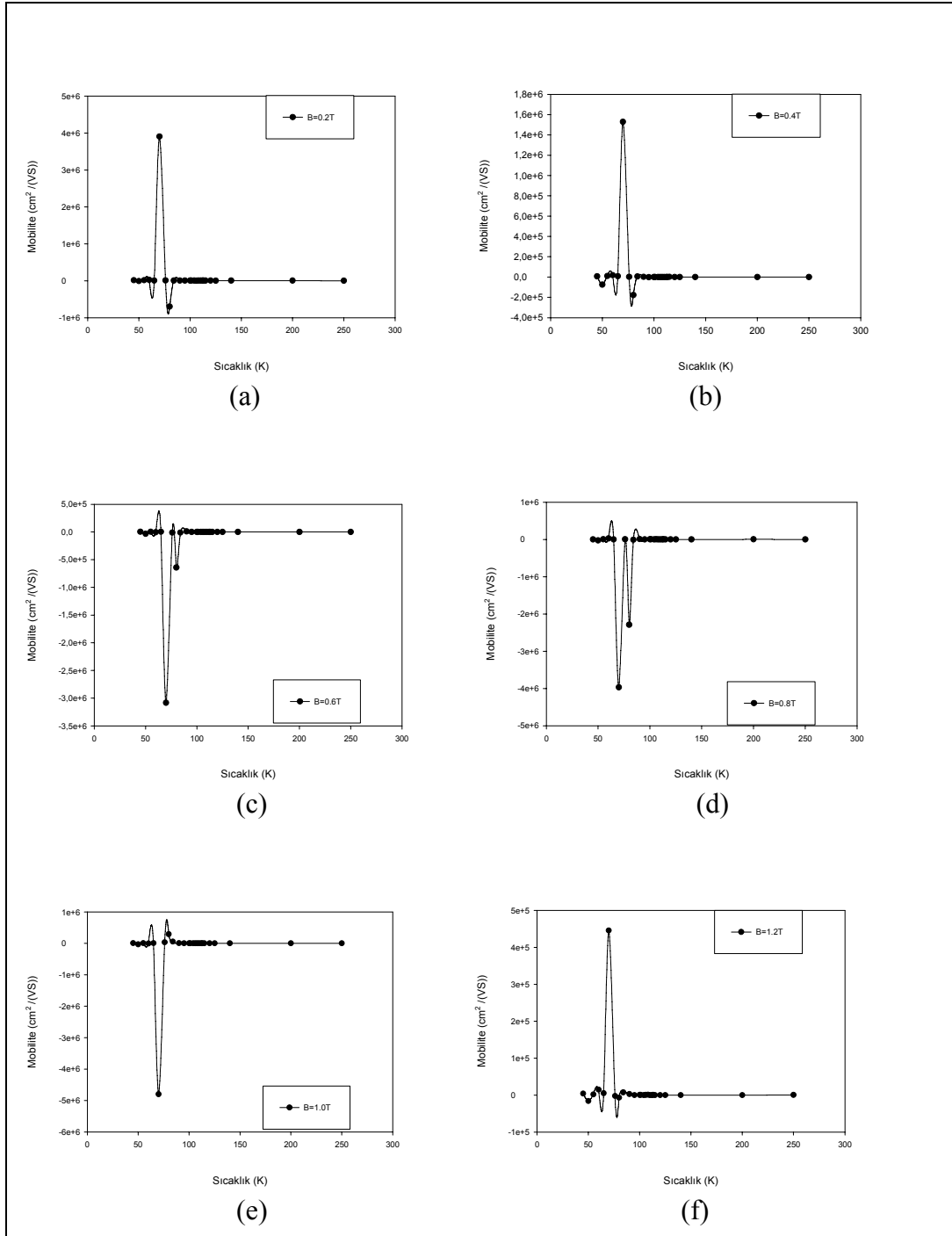
Şekil 4.13. (Devam) $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1.0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında Hall katsayısı sıcaklık eğrisi

Katkılı ve katkısız numunelerin Hall katsayılarının sıcaklıkla değişimleri benzer özellik göstermektedir. Katkılı numunede Hall katsayısının değerleri daha yüksek çıkmıştır.

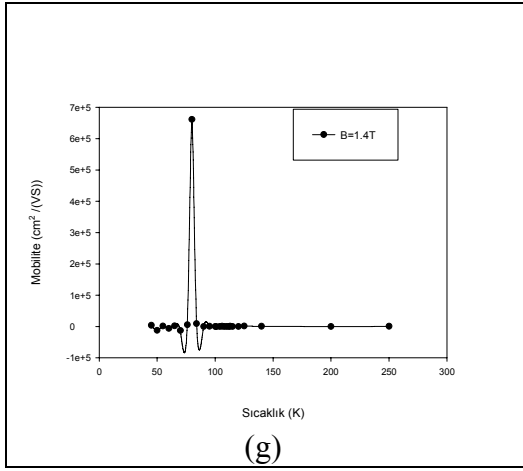
Şekil 4.13' de gösterildiği üzere süperiletken durumunda $T_{c\text{offset}}$ sıcaklığının altında ise Hall katsayısı yaklaşık olarak sıfırdır. $T_{c\text{onset}}$ ve $T_{c\text{offset}}$ arasında ise dalgalanmalar katkısız numuneye göre daha fazla olmaktadır.

4.2.5. Mobilitenin sıcaklığa ve manyetik alana bağlı değişimi

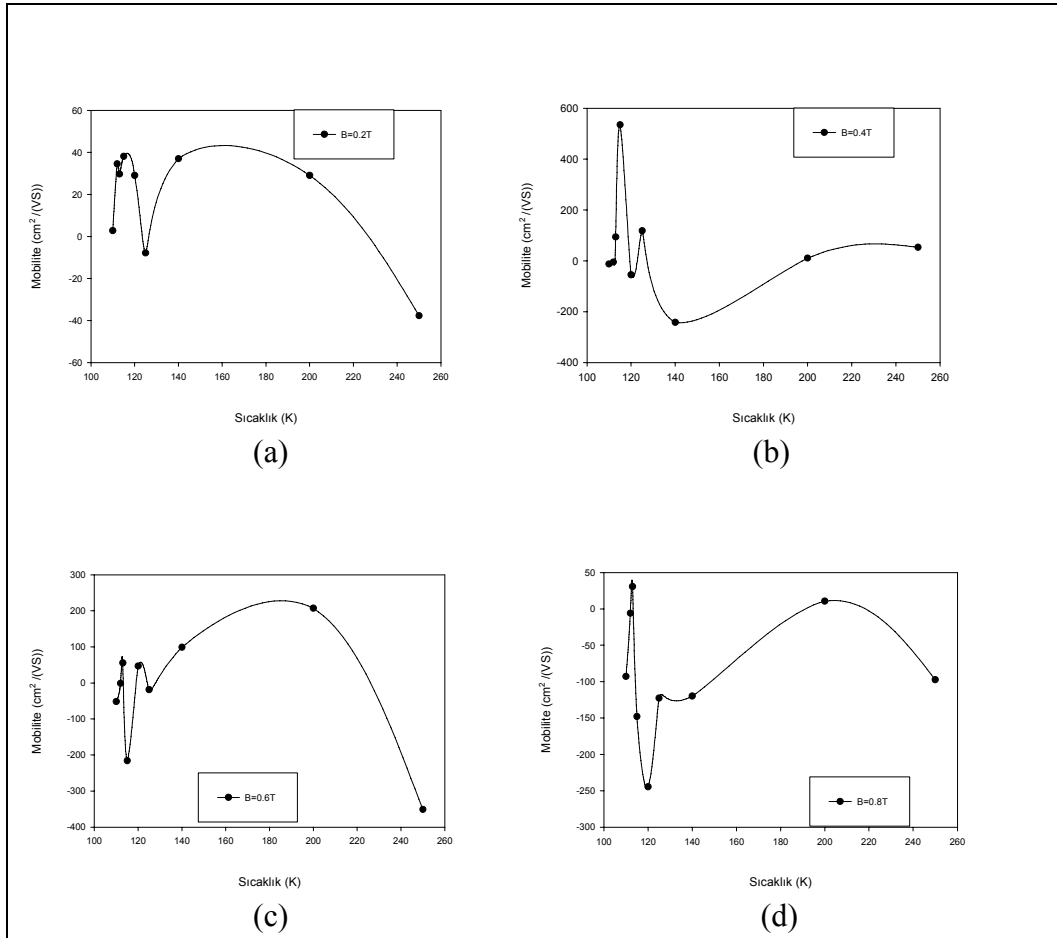
Manyetik alan altında mobilitenin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' de verilmektedir.



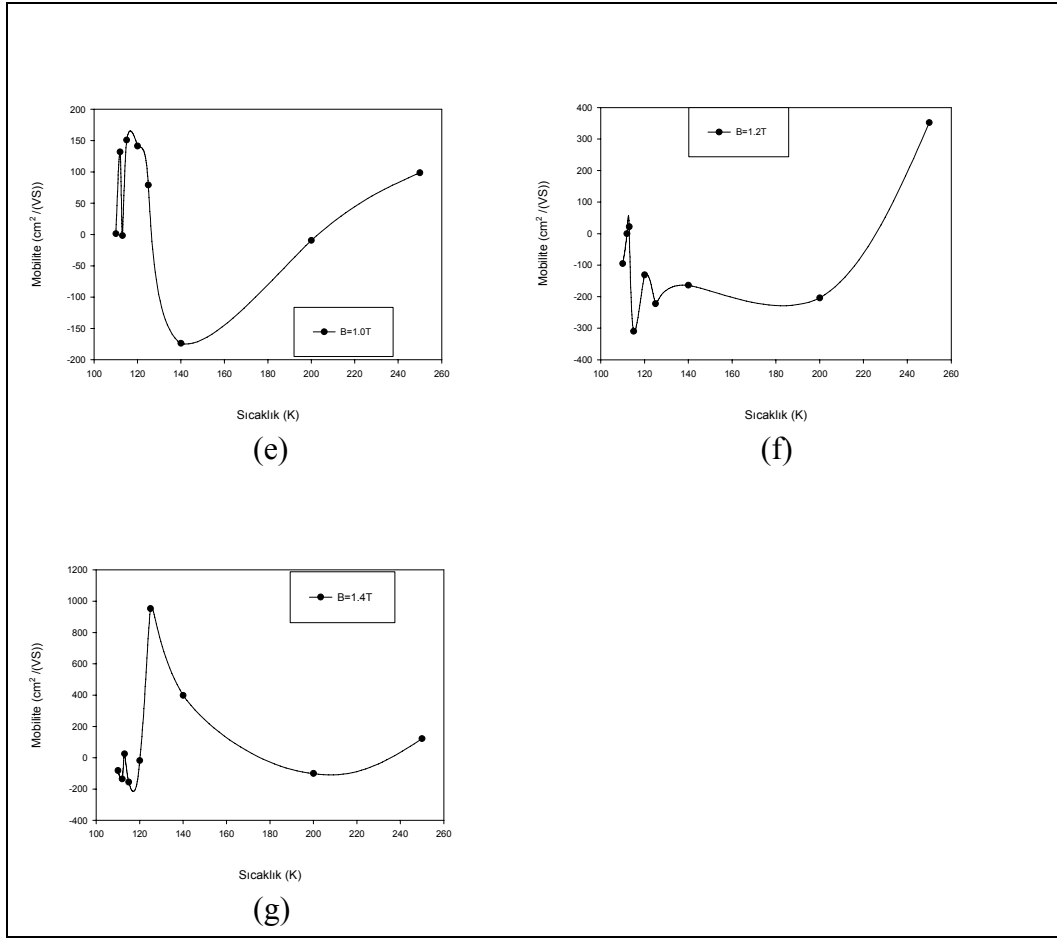
Şekil 4.14. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında mobilite sıcaklık eğrisi



Şekil 4.14. (Devam) $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında mobilite sıcaklık eğrisi



Şekil 4.15. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında geçiş sıcaklığının üstünde mobilite sıcaklık eğrisi

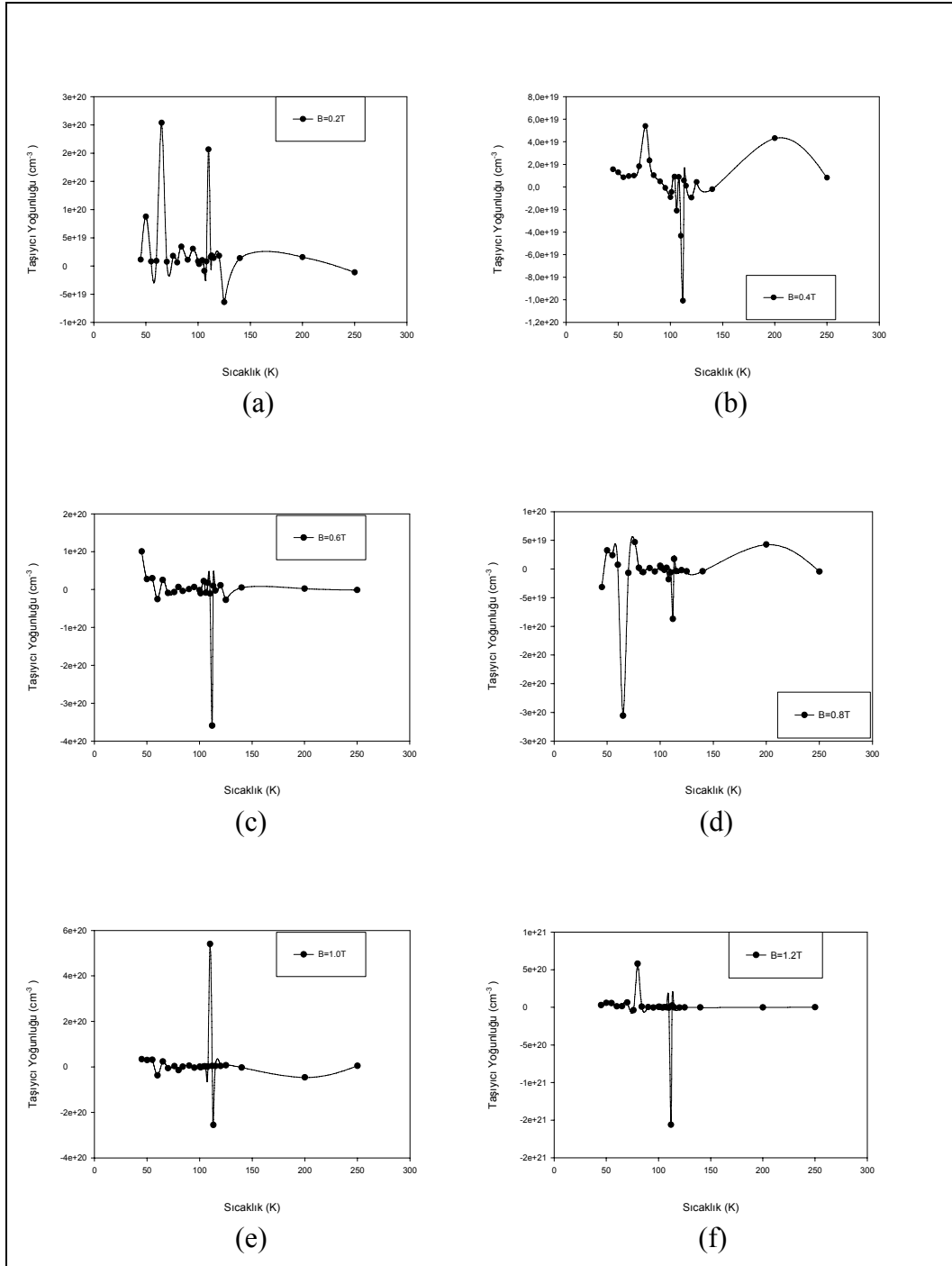


Şekil 4.15. (Devam) $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında geçiş sıcaklığının üstünde mobilite sıcaklık eğrisi

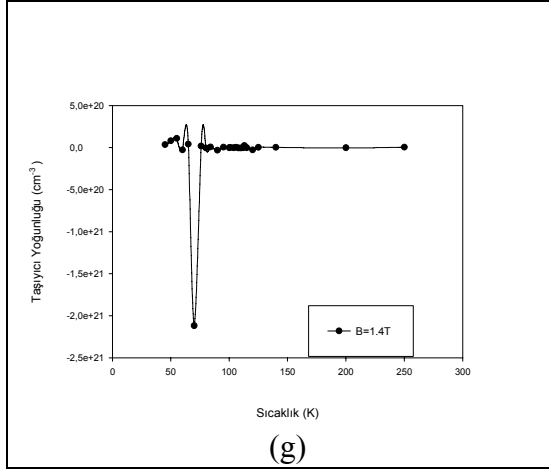
Katkısız numunedeki gibi Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de görüldüğü üzere Hall katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği ve mobilite sıcaklık grafiği birbiri ile uyum göstermektedir. Katkılı ve katkısız numunelerin mobilite sıcaklıkla değişimleri benzer özellik göstermektedir.

4.2.6. Farklı manyetik alanlarda taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değişimi

Manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değişim eğrisi Şekil 4.16’ da verilmektedir.



Şekil 4.16. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi



Şekil 4.16. (Devam) $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x=1,0$) numunesinin (a) 0,2 T (b) 0,4 T (c) 0,6 T (d) 0,8 T (e) 1,0 T (f) 1,2 T (g) 1,4 T manyetik alan altında taşıyıcı yoğunluğu sıcaklık eğrisi

Katkısız numune ile benzer özellikler göstermektedir. Katkısız numuneye göre taşıyıcı yoğunluğu azalmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, katıhal tepkime yöntemi kullanılarak üretilen $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ süperiletken örneğine ($x = 0,0$ ve $1,0$) katkısının etkileri, kritik sıcaklık ve iletim özelliklerini incelendi. Bu amaçla Hall etkisi ölçüm sistemi ile malzemenin sahip olduğu taşıyıcı yoğunluğu ve mobilitesi, dış manyetik alan altında DC. direnç değişimi ve aktivasyon enerjisi hesaplandı. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ numunesinin iletim özelliklerini incelemek için van der Pauw tekniği ve Hall etkisi ölçümleri yapıldı. Numunenin dört köşesine simetrik olacak şekilde kontaklar atıldı. Sıcaklığa bağlı ölçümler bilgisayar kontrollü Lake Shore yüksek empedans sisteminde yapıldı. Van der Pauw ve Hall etkisi ölçümleri 0-1,4 Tesla manyetik alan aralığında 0,2 Tesla aralıklarla yapıldı. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 0,0$) numunesi için 25-300 K sıcaklıkları arasında $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x = 1,0$) numunesi içinde 45-296 K sıcaklıkları arasında ölçüm yapıldı.

$T_{c\text{onset}}$ sıcaklığının üstünde elektriksel öz direnç sıcaklıkla lineer olarak değişmekte yani numune metalik özellik sergilemektedir. Manyetik alanın artmasıyla $T_{c\text{offset}}$ sıcaklığı azalmakta ve süperiletkenlik düşük sıcaklığa doğru kaymaktadır. ΔT nin genişliği, manyetik alanın artışıyla yavaşça artmaktadır. Manyetik alanın artışıyla intragrain Josephson bağlaşım enerjisinin azalması bu genişlemeden sorumlu olduğu düşünülmektedir [34]. Kritik sıcaklık değerleri manyetik alanın bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

Numunemizin Bi-2223 fazından başka Bi-2212 fazını içerdiği gözlemlendi. Bi-2223 tabanlı süperiletkenleri tek fazlı olarak elde etmek çok zordur.

Katkısız numuneye göre süperiletken hale geçiş aralığı ΔT artmaktadır ve Sm_2O_3 katkılıandığında gözenek artmakta ve taneler arası temas azaldığından süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı azalmaktadır. Katkısız numuneye göre öz direnç değerinde artış gözlenmiştir.

Aktivasyon enerjisinin manyetik alana bağılı grafiği, $U(H) = U_0 + \sigma \ln\left(\frac{B_0}{B}\right)$ denklemlerle uyum göstermektedir. Manyetik alan arttıkça aktivasyon enerjisi azalmaktadır. Manyetik alanın artmasıyla flux-pinnig enerjisi azalmaktadır. Katkılı ve katkısız numunelerin manyetik alanla değişimleri benzerdir.

Süperiletken durumunda $T_{c\text{offset}}$ sıcaklığının altında ise Hall katsayısı yaklaşık olarak sıfırdır. T_c nin aşağısında $R_H(T)$ nin vadisi, tane sınırlarıyla ilişkilendirilebilir.

Hall katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği ve mobilite sıcaklık grafiği birbiri ile uyum göstermektedir.

Katkılı numunede katkısız numuneye göre Hall katsayısı artarken, taşıyıcı yoğunluğu ise azalmaktadır.

Hall katsayısı-sıcaklık, mobilite-sıcaklık, taşıyıcı yoğunluğu-sıcaklık grafiklerinden de görüldüğü gibi bu değerler manyetik alana bağılı gözükmemektedir.

Elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı gibi katkı ile birlikte yapı bozulmakta ve bunun paralelinde yüksek sıcaklık fazından düşük sıcaklık fazına doğru bir geçiş gözlenmektedir. Ca^{+2} yerine Sm^{+3} katıldığında taşıyıcı delik konsantrasyonunda bir azalma meydana gelmektedir ve bakırın valans değeri de ayarlanmaktadır. Bu sonuçlarda, ekstra elektron sağlanmaktadır. Bu durumda yüksek sıcaklık fazından düşük sıcaklık fazına doğru bir geçiş sağlanmıştır. Ca^{+2} yerine Sm^{+3} katıldığında bizmut oksit tabakasındaki oksijen miktarı artmaktadır. Üç değerlikli Sm katılması ve nadir toprak elementlerin manyetik doğası süperiletkenliğin azalmasında önemli rol oynar.

Süperiletkenlerde iletim taneler arası mesafeye bağlıdır. En zayıf bağlardan geçecek şekilde yani en kolay yolu akım tercih ettiğinden dolayı ölçümlerin birkaç kez tekrarlanması daha iyi olabilir.

KAYNAKLAR

1. Onnes, H. K., "Disappearance of The Electrical Resistance of Mercury of Helium", *Akad van Wetenschappen*, 14: 113-115, 818-821 (1911).
2. Meissner, W., Ochsenfeld, R., "Superconductivity", *Naturwissensch*, 21: 787-788 (1933).
3. Bardeen, J., Cooper, L. N., Schrieffer, J. R., "Theory of Superconductivity", *Phys. Rev.*, 106: 162; 108: 1175 (1957).
4. Ginzburg, V. L., "Superconductivity: The Day Before Yesterday, Yesterday, Today, and Tomorrow *Journal of Superconducting: Incorporating Novel Magnetism*, 13 (5): 665-676 (2000).
5. Kresin, V. Z., Stuart, A. W., "Fundamental of Superconductivity", *Plenum Pres*, Newyork and London, 6-7 (1990).
6. London, H., London, F., " The electromagnetic Equations of the Superconductors", *Proceeding of the Royal Society*, A 149: 71-88 (1935).
7. Ginzburg, V. L., Landau, L. D., "On the Theory of Superconductivity", *Zh. Eksp. Teor. Fiz.*, 20:1064- 1082 (1950).
8. Bednorz, J. G., Müller, K. A., "Possible High- T_c Superconductivity in Ba-La-Cu-O System", *Z. Phys B*, 64:189 (1986).
9. Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L., Huang, Z. J., "Superconductivity at 52,5 K in the Lanthanum-barium-copper-oxide system", *Science*, 235: 567-569 (1987).
10. Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., GaO, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q., Chu, C.W., "Superconductivity at 95K in a New Mixed Phase YBaCuO Compound System and Ambient Pressure", *Phys. Rev. Lett.*, 58: 908- 910 (1987).
11. Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi, M., Asano, T., "High- T_c Oxide Superconductor Without A Rare Earth Element", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 27: 209-210 (1988).
12. Sheng, Z. Z., Hermann, A. M., " New 120K TlBaCaCuO Superconductors", *Nature*, 332: 138- 140 (1988).
13. Schilling, A., Cantoni, M., GuO, J. D., Ott, H. R., "Superconductivity above 130K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O system", *Nature*, 363: 56- 58 (1993).

14. Chu, C. W., GaO, L., Chen, F., Huang, Z. J., Meng, R. L., Xue, Y. Y., "Superconductivity above 150K in $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ at high pressure", *Nature*, 365: 323- 325 (1993).
15. Khare, N., "Handbook of High-Temperature Superconductor Electronics", *National Physical Laboratory India*, New york, 1-11 (2003).
16. Serway, R. A., "Serway, 3", Çolakoğlu, K., *Palme Yayıncılık*, Ankara, 1318-1319 (1996).
17. Ginley, D. S., Morosin, B., Baughman, R. J., Venturini, E. L., Schirber, J. E., and Kwak, J. F., "Growth of crystals and effects of oxygen annealing in the Bi-Ca-Sr-Cu-O and Tl-Ca-Ba-Cu-O superconductor system", *Journal of Crystal Growth*, 91: 456-462 (1988).
18. Tarascon, J. M., McKinnon, W. R., LePage, Y., Stoffel, N. and Giroud, M., "Preparation, structure, and properties of the superconducting compound series $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_y$ with $n= 1, 2$, and 3 ", *Phys. Rev. B*, 38: 8885-8892 (1988).
19. Zandbergen, H. W., Huang, Y. K., Menken, M. J. V., Li, J. N., Kadowaki, K., Menovsky, A. A., Van Tendeloo, G. and Amelinckx, S., "Electron microscopy on the $T_c = 110$ K (midpoint) phase in the system $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SrO-CaO-CuO}$ ", *Nature*, 332: 620-623 (1988).
20. Tallon, J. L., Buckley, R. G., Gilperd, P. W., Presland, M. R., Brown, I. W. M., Bowden, M. E., Christian, L. A., and Goguel, R., "High- T_c superconducting phases in the series $\text{Bi}_{2,1}(\text{Ca}, \text{Sr})_{n+1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+\delta}$ ", *Nature*, 333: 153-156 (1988).
21. Morosin, B., Ginley, D. S., Hlava, P. F., Carr, M.J., Baughman, R. J., Schirber, J. E., Venturini, E. L., and Kwak, J. F., "Structural and compositional characterization at polycrystals and single crystals in the Bi- and Tl-superconductor system: Crystal structure of $\text{TlCaBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_7$ ", *Physica C*, 152: 413-423 (1988).
22. Maeda, A., Hase, M., Tsukada, I., Noda, K., Takebayashi, S., and Uchinokura, K., "Physical Properties Of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_{n-1}\text{O}_y$ ($n= 1,2,3$)", *Phys. Rev. B.*, 41 (10): 6418-6434 (1990).
23. Amelinckx, S., Tendeloo, G. V., Zandbergen, H. W., Landuyt, J. V., "Electron Microscopic Studies of High T_c Superconductors", *Journal of the Less-Common Metals*, 150: 71-94 (1989).
24. Torardi, C. C., Subramanian, M. A., Calabrese, J. C., Gopalakrishnan, J., McCarron, E. M., Morrissey, K. J., Askew, T. R., Flippen, R. B., Chowdhry, U., Sleight, A. W., "Structures of the Superconducting Oxides $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_6$ and $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_6$ ", *Phys. Rev. B*, 38: 225-231 (1988).

25. Michel, C., Hervieu, M., Borel, M. M., Grandin, A., Deslands, F., Provost, J., Ravenau, B., "Superconductivity in the Bi-Sr-Cu-O system", **Z. Phys. B**, 68: 421 (1987).
26. Ghorayeb, A. M., Rateau, M., Pankowsa, H., Suryanarayanan, R., Gorochoy, O., "Transport Properties of BiSrCaCuO and YBaCuO", **Journal of the Less-Common Metals**, 151: 221-227 (1989).
27. Koyama, S., Endo, U., Kawai, T., "Preparation of Single 110 K Phase of the Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductor", **Jpn.J.Appl.Phys.**, 27 (10): 1861-1863 (1988).
28. Ford, P. J., Saunders, G. A., "High-temperature superconductivity-ten years on", **Contemporary Physics**, 38 (1): 63-81 (1997).
29. Yılmazlar, M., "Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂Ca_{2-x}Sm_xCu₃O_y Süperiletkenine Sm₂O₃ Katkısının Etkileri", Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 28-31, 85 (2002).
30. Look, D. C., "In Electrical Characterization of GaAs Materials and Devices", **John Wiley and Sons**, Chiccherter, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1-57 (1989).
31. Blundell, S., "Magnetism in Condensed Matter", **Oxford University Press**, England, 183-184 (1992).
32. Van der Pauw, L. J., "A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effect of Dics of Arbitrary Shape", **Philips Research Reports**, 13: 1-18 (1958).
33. Balkanski, M., Wallis, R. F., "Semiconductor Physics and Application", **Oxford University Press**, England, 187-189 (1992).
34. Ilonca, G., Pop, A. V., Yang, Tzuen-Rong, Jurcut, T., Lung, C., Stiuftuc, G., Stiuftuc, R., Panfilescu, I. A., "Transport properties and ac susceptibility of (Bi_{1,6}Pb_{0,4})(Sr_{1,8}Ba_{0,2})(Cu_{1-x}Co_x)₃O_y superconductors", **International Journal of Inorganic Materials**, 3: 763-767 (2001).
35. Jiansheng, X., Zhenhui, H., Mimghu, F., Shunxi, W., Liezhao, C., Quirui, Z., Zuyao, C., Jian, C., Yitai, Qian, "The Hall effect of the superconducting oxides (Bi,Pb)₂Ca₂Sr₂Cu₃O_y", **J. Phys. Condens. Matter**, 2: 1993-1996 (1990).
36. Klee, M., Marbach, G., Stotz, S., De Vries, J. W. C., "Superconducting Bi(Pb)-Ca-Sr-Cu-O Films and Bulk Samples Made by Thermal Decomposition of Metal Carboxylates", **Journal of the Less-Common Metals**, 151: 393-398 (1989).
37. Terzioğlu, C., Yılmazlar, M., Öztürk, Ö., Yanmaz, E., "Structural and physical properties of Sm-doped Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂Ca_{2-x}Sm_xCu₃O_y superconductors", **Physica C**, in press (2005).

38. Huang, Y. K., Kadowaki, K., Menken, M. J. V., Li, J. N., Bakker, K., Menovsky, A. A., Franse, J. J. M., Bastin, G. F., Heijligers, H. J. M., Barten, H., Van den Berg, J., Zacher, R. A., Zandbergen, H. W., “Investigations on the phase formations, properties and single crystal growth in the high- T_c superconducting Ca-Sr-Bi-Cu-O system”, *Physica C*, 152: 431 (1988).
39. Green, S. M., Jiang, C., Mei, Y., Luo, H. L., Politis, C., “Zero resistance at 107 K in the (Bi,Pb)-Ca-Sr-Cu oxide system”, *Phys. Rev. B*, 38: 5016 (1988).
40. March, N. H., Paranjape, B. V., “Relation between thermoelectric power and hallcoefficient with application to the normal state of high T_c superconductors”, *J. Phys. Chem. Solids*, 56 (1): 65-68 (1995).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BOĞAZ, Havva
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.10.1980 Konya
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 334 93 37
 e-mail : havvabogaz@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /İleri Teknolojiler	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Fizik Öğretmenliği	2003
Lise	Kanuni Lisesi	1997

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Yılmazlar, M., Acar, S., Boğaz, H., “ $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ Örneğine Sm_2O_3 Katkısının Etkileri”, *Türk Fizik Derneği 23. fizik Kongresi*, Muğla, 546, (2005).

Hobiler

Resim, Müzik, Bilgisayar