



T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} SÜPERİLETKENLERİNİN ELEKTRİK,
MANYETİK ve YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Elvan COŞKUN
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şükrü ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE 2013

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} SÜPERİLETKENLERİNİN ELEKTRİK,
MANYETİK ve YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Elvan COŞKUN

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Şükrü ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

RİZE 2013

I

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİMDALI

(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} SÜPERİLETKENLERİNİN ELEKTRİK, MANYETİK
ve YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elvan COŞKUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14/06/2013

Tezin Savunma Tarih : 25/07/2013

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şükrü ÇELİK

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Kemal ÖZTÜRK

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Murat TOMAKİN

Enstitü Müdürü : Doç. Dr. Fatih YILMAZ



Rize 2013

ÖNSÖZ

Katıhal tepkime yöntemi ile hazırlanan külçe $(Sm_{1-x}Nd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkenlerinin üretimi, sıcaklığa bağlı direnç ölçümleri ve sıvı azot sıcaklığında gerçekleşen manyetik kaldırma kuvveti ölçümleri Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında, yapısal ölçümler ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirildi.

Tez çalışmam boyunca yardımı esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Şükrü ÇELİK'e gönülden teşekkür ederim.

Ayrıca elindeki olanakları bize sonuna kadar sunan K.T.Ü. Fizik Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Ekrem YANMAZ'a teşekkür ederim. Yrd. Doç. Dr. Murat TOMAKİN'e, Sait Barış GÜNER'e, bölümdeki tüm hocalarıma ve Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarında çalışmakta olan grup arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Bu zamana kadar hiç bir desteklerini esirgemeyen AİLEME teşekkür ederim.

Elvan COŞKUN

Rize 2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Sıfır Direnç ve Mükemmel Diamagnetizma	4
1.2.1. I. ve II. Tip Süperiletkenler	5
1.3. Meissner Etkisi.....	8
1.4. Süperiletkenlik Parametreleri.....	10
1.4.1. Kritik Geçiş Sıcaklığı (T_c)	11
1.4.2. Kritik Akım Yoğunluğu (J_c).....	11
1.4.3. Kritik Manyetik Alan (H_c).....	12
1.4.3.1. Alt Kritik Manyetik Alan(H_{c1}) ve Üst Kritik Manyetik Alan(H_{c2}).....	12
1.4.4. Sızma Derinliği (λ)	13
1.4.5. Uyum Uzunluğu (ξ)	14
1.5. İki – Akışkan Modeli	14
1.6. London Denklemleri	15
1.7. Ginzburg – Landau Teorisi	17
1.8. Karışık Hal Durumu.....	18
1.9. Akı Çivilenmesi (Flux Pinning), Akı Sürüklenmesi (Flux Creep) ve Akı Akısı (Flux Flow)	19

1.10.	Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinde Kritik Akımlar	20
1.11.	Yüksek Sıcaklık Süperiletken Malzemeleri	22
1.12.	Y-Ba-Cu-O Sistemi	23
1.12.1.	YBCO süperiletkenlerin kristal yapıları	24
1.13.	Manyetik Kaldırma Kuvveti	26
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
2.1.	Giriş.....	29
2.2.	$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ve $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Süperiletken örneklerin üretilmesi	29
2.2.1.	Toz Örneklerin Hazırlanması.....	29
2.2.1.1.	$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin toz örneklerinin hazırlanması:	30
2.2.1.2.	$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin toz örneğinin hazırlanması:	30
2.2.2.	$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Süperiletkeninin Hazırlanması	33
2.2.2.1.	Kalsinasyon işlemi	33
2.2.2.2.	Sinterleme işlemi.....	35
2.2.2.3.	Oksijen verme işlemi	36
2.2.3.	$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Süperiletkeninin Hazırlanması	36
2.2.3.1.	Kalsinasyon işlemi	36
2.2.3.2.	Sinterleme işlemi.....	37
2.3.	X-Işını Kırınım Ölçümler.....	38
2.4.	Direnç Ölçümleri.....	39
2.5.	Manyetik Levitasyon Kuvvet Ölçümleri.....	41
2.6.	Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile Ölçümler	42
2.7.	Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS) ile Ölçümler.....	43
3.	BULGULAR.....	44
3.1.	Giriş.....	44

Sayfa No:

3.2.	XRD Analiz Sonuçları	44
3.3.	Direnç Ölçüm Sonuçları.....	45
3.4.	Manyetik Levitasyon Ölçüm Sonuçları	51
3.5.	SEM Sonuçları	57
4.	SONUÇ VE TARTIŞMALAR	58
4.1.	XRD Sonuçları.....	58
4.2.	R-T Sonuçları.....	59
4.3.	Manyetik Levitasyon Kuvvet Yoğunluğu Sonuçları	60
4.4.	SEM sonuçları.....	61
4.5.	SONUÇ	61
5.	ÖNERİLER.....	62
6.	KAYNAKLAR	63
	ÖZGEÇMİŞ	67

ÖZET

(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} Süperiletkenlerinin Elektrik, Manyetik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi

(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} yapısına ait x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 katkı oranlarında süperiletken örnekler katıhal tepkime yöntemiyle hazırlandı. İlk olarak, farklı sıcaklıklarda sinterlenerek Sm123 (SmBa₂Cu₃O_{7-δ}) örnekleri üretildi ve manyetik kaldırma kuvvetleri karşılaştırılarak serinin örnekleri için en uygun sinterleme sıcaklığı belirlendi. Serideki örnekler aynı ısıl işlemler uygulandı. Üretilen örneklerin XRD spektrumları, farklı hızlarda hava ortamında sıvı azot sıcaklığında manyetik kaldırma kuvveti, farklı manyetik alanlarda alansız soğutma sonrası direncin sıcaklığa göre değişimi ve SEM ölçüldü. XRD ölçümlerinden hesaplanan c örgü parametresi katkı arttıkça S02 örneği dışında 11.7278Å-11.7399 Å arasında değişmektedir. Sıcaklığa göre direnç ölçüm sonuçları ve hesaplanan aktivasyon enerjileri katkıya göre karşılaştırıldığında, katkı x=0.4'ten daha yüksek değerlere arttıkça yapıda yarıiletken fazın arttığı, özellikle x=0.8 değerinden sonra süperiletkenlik özelliğinin azaldığı ve yarıiletken fazın belirgin bir şekilde arttığı görüldü. Aktivasyon enerjisi (S02 örneği hariç) katkı arttıkça azalmaktadır. S02 örneğinin aktivasyon enerjisi diğerlerine göre hayli yüksek değerde ve direnç – sıcaklık değişimleri kıyaslandığında çok düşük ikincil fazın bulunmasına rağmen en dar geçiş sıcaklık aralığı S02 örneğine ait olduğu görülmektedir. Katkı arttıkça, manyetik kaldırma kuvveti azalmakta hatta x=0.6 katkısından sonra kaldırma kuvvetinin yanında çekme kuvvetinin belirginleştiği ve bu çekmenin x=1.0 katkılı örneğin kaldırma kuvvetinde hemen hemen çekme kuvveti görülmektedir. Seride uygulanan ısıl işlemde seçilen sinterleme sıcaklığı Sm123'ün peritektik reaksiyon sıcaklığına çok yakın fakat Nd123'ün peritektik reaksiyon sıcaklığından daha düşük olması sonucunda x=0.4'ten daha büyük katkılı örneklerde Nd123'ün daha baskın faz olması sonucunda yapının kötüleştiği görülmektedir. Sonuç olarak, üretilen örnekler içinde elektriksel ölçümler S02 örneğinin en iyi örnek olduğunu ve aynı örneğin manyetik kaldırma kuvveti sonuçlarında S00 örneğinin sonuçlarına yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla örnekler içinde x=0.2 katkılı örnek en uygun katkılı örnek olduğu belirlendi. Bu katkıda Sm123 yapısında Nd123'ün etkisinin aktivasyon enerjisini artırdığı görülmektedir. Bu da yapı içinde akı çivileme kuvvetini artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sm123, Nd123, Magnetik Levitasyon Kuvveti, Kritik Akım Yoğunluğu, Kritik Geçiş Sıcaklığı, Aktivasyon Enerjisi

SUMMARY

The investigation of electrical, magnetic and structure properties of $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconductors

$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ samples were fabricated by solid-state reaction method for the values of $x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ and 1.0 . Firstly, Sm123 ($\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$) samples with different sintering temperatures are produced, and compared with magnetic levitation force measurements of them, then, the optimum sintering temperature was determined. The same thermal processes were applied to all the samples. The measurement of X-ray diffraction, magnetic levitation force under various velocities at liquid nitrogen temperature in air atmosphere, the resistivity versus temperature in various magnetic fields after zero cooling regime (ZFC) and SEM of samples were performed. c lattice parameter of the samples, calculated from XRD patterns varied between 11.7278 \AA and 11.7399 \AA with increasing of x , except for S02. According to resistivity versus temperature measurements and calculated activation energy results from them, it was observed that semiconducting phase increased with the increasing of x above $x=0.4$, and, superconductor properties decreased and semiconductor phase clearly increased especially above $x=0.8$. Activation energy (except for S02) decreased with increase of x . Activation energy of S02 has higher value than that of the others. When the resistivity-temperature variations of the samples were compared, although S02 contains very low secondary phase, it is shown that the narrowest transition temperature range belongs to S02. Magnetic levitation force decreased with increase of the content x . Even for higher values of x above 0.6 , there is not only magnetic levitation force but also pulling force and this pulling force was observed nearly in the magnetic levitation force measurement results of S10. Because the selected sintering temperature which was applied to the samples is near to the peritectic reaction temperature of Sm123 and to lower than that of Nd123. Consequently it was observed that samples of $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ structure with high values of x especially above 0.4 got worse because the dominant is Nd123. Finally, electrical measurement results showed that S02 is the best among the others, and it is observed that magnetic levitation force measurement results of S02 is near to that of S00. So, the best value of x is 0.2 among the samples according to the results. It was estimated that the effect of x in the S02 increased of the activation energy, and resulted in increase of the pinning force.

Key Words: Sm123, Nd123, Magnetic Levitation Force, Critical Current Density, Critical Transition Temperature, Activation Energy

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 1.	Civanın süperiletkenliğe geçişi (Onnes, 1911).....	1
Şekil 2.	Civanın elektriksel direncinin sıcaklıkla değişimi (Onnes, 1911).....	4
Şekil 3.	Normal ve süperiletken durum (Meissner Etkisi) için akı çizgilerinin dağılımı.	4
Şekil 4.	Süperiletken düzen parametresinin ve magnetik akının konuma bağlı değişimi	6
Şekil 5.	Karışık durumdaki bir süperiletkenin girdap yapısı.	6
Şekil 6.	a) I. tip süperiletkenlerin mıknatıslanma eğrisi b) II. tip süperiletkenlerin mıknatıslanma eğrisi (Schmidt, 1997).....	8
Şekil 7.	Manyetik alan yokken soğutulmuş ve sonra manyetik alan uygulanmış ideal bir iletken.....	9
Şekil 8 .	Manyetik alanda soğutulmuş ideal bir iletken.....	9
Şekil 9.	Önce manyetik alansız soğutulmuş, sonra manyetik alan uygulanmış bir süperiletken.....	10
Şekil 10.	Manyetik alanda soğutulmuş bir süperiletken	10
Şekil 11.	Saf YBCO süperiletkenine ait direnç-sıcaklık eğrisi ve ΔT_c aralığı.....	11
Şekil 12.	a) II.Tip süperiletkenlerin uygulanan manyetik alanla manyetizasyonun değişimi, b) II. tip süperiletkenlerde manyetik alan faz diyagramı	13
Şekil 13.	Süperiletkenlik elektronlarının sıcaklıkla değişim grafiği.....	15
Şekil 14.	Uygulanan manyetik alanın bir süperiletken içerisine girişi (Rose-Innes, and Rhoderick, 1978)	17
Şekil 15.	Normal merkezleri ve etrafında dolanan süperakım girdaplarını gösteren karışık hal. Dikey çizgiler merkezlerin içinden geçen akıyı gösterir. Yüzey akımı bulk diamagnetizmayı gösterir.	19
Şekil 16.	Akı akısı mekanizması. Manyetik alandaki akımın varlığı Lorentz kuvveti üretir. Lorentz kuvveti çivileme potansiyelini geçebilen bir kuvvete ulaştığında bir diğer kuyuya geçer (Sheahan, 1994).	20
Şekil 17.	77 K'de DC akım uygulayarak elde edilen ölçümlerden elde edilmiş iki adet Bi-2223 şeritlerinin I-V karakteristikleri (Stavrev, 2002).	22
Şekil 18.	$YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yapısına ait bazı parametrelerin oksijen miktarına göre değişimi. (a) Kritik sıcaklık, (b) birim hücre hacmi, (c) Ortorombiklik, (d) a örgü parametresi, (e) b örgü parametresi ve (f) c örgü parametresi	24
Şekil 19.	$YBa_2Cu_3O_7$ (YBCO) yapısı (Çelik, 2006)	25
Şekil 20.	$SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkeninin 1.kalsinasyon işlemi için sıcaklık-zaman grafiği.....	33
Şekil 21.	$SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkeninin 2.kalsinasyon işlemi için sıcaklık-zaman grafiği (tamamen oksijen ortamında)	34

Şekil 22.	$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin 3.kalsinasyon işlemi için sıcaklık–zaman grafiği (tamamen oksijen ortamında)	35
Şekil 23.	$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin sinterleme işlemi için sıcaklık–zaman grafiği (tamamen oksijen ortamında).	35
Şekil 24.	$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin oksijen verme işlemi için sıcaklık– zaman grafiği.....	36
Şekil 25.	$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin kalsinasyon işlemi için sıcaklık– zaman grafiği (tamamen oksijensiz ortamda).....	37
Şekil 26.	$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin 1.sinterleme işlemi için sıcaklık– zaman grafiği	37
Şekil 27.	$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin 1.sinterleme işlemi için sıcaklık– zaman grafiği	38
Şekil 28.	X-ışını kırınım sistemi	39
Şekil 29.	Direnç ölçüm sistemi	40
Şekil 30.	Örneklerin kesilmesi ve dört nokta yöntemi ile kontak yapılmasının şematik gösterimi.	40
Şekil 31.	Manyetik kaldırma kuvveti ölçüm sistemi	41
Şekil 32.	Manyetik kaldırma kuvveti ölçümü sırasında süperiletken örnek ile magnet arasındaki mesafe ilişkisinin örnek hareketinin şematik gösterimi.	42
Şekil 33.	JEOL JSM-6390L model taramalı elektron mikroskobu.	43
Şekil 34.	EDS2006 Model 550i IXRF System isimli EDS cihazı	43
Şekil 35.	Tüm katkılar için 20-60° arası kaydırılmış XRD spektrumları	44
Şekil 36.	Örneklerin örgü parametreleri a, b, c ve V (hacim) değerleri	45
Şekil 37.	x=0.0 katkılı S00 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.	46
Şekil 38.	x=0.2 katkılı S02 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.	46
Şekil 39.	x=0.4 katkılı S04 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.	47
Şekil 40.	x=0.6 katkılı S06 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.	47
Şekil 41.	x=0.8 katkılı S08 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.	48
Şekil 42.	x=1.0 katkılı S10 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.	48
Şekil 43.	a) x=0.0, b) x=0.2, c) x=0.4, d) x=0.6, e) x=0.8, f) x=1.0 katkılıları için 0 – 1.5 T manyetik alanlarda normalize edilmiş R-T ölçüm sonuçları.	49
Şekil 44.	Tüm katkılar için alansız soğutma altında alansız R-T ölçüm sonuçları.....	49

Sayfa No:

Şekil 45.	a) $x=0.0$, b) $x=0.2$, c) $x=0.4$, d) $x=0.6$, e) $x=0.8$, f) $x=1.0$ katkıları için $\ln(R(T)/R(T_c))$ 'nin $1/(kBT)$ 'ye göre grafikleri.....	50
Şekil 46.	Sabit manyetik alanda (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.50T) aktivasyon enerjisinin katkıya göre değişimi.....	50
Şekil 47.	Her katkının aktivasyon enerjisinin manyetik alana göre değişimi.....	51
Şekil 48.	$T = 950, 975, 1000, 1025$ ve 1050 °C sıcaklıklarda sinterlenen $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ süperiletkeninin F-z grafikleri.....	52
Şekil 49.	$x=0.0$ için S00 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	52
Şekil 50.	$x=0.2$ için S02 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	53
Şekil 51.	$x=0.4$ için S04 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	53
Şekil 52.	$x=0.6$ için S06 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	54
Şekil 53.	$x=0.8$ için S08 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	54
Şekil 54.	$x=1.0$ için S10 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	55
Şekil 55.	Karşılaştırma amaçlı a) $x=0.0$, b) $x=0.2$, c) $x=0.4$, d) $x=0.6$, e) $x=0.8$, f) $x=1.0$ katkıları farklı hızlardaki manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.	55
Şekil 56.	Sabit hızda ($v=0.3759$ mm/s) tüm örneklerin manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.....	56
Şekil 57.	a) $v=0.5681$, b) $v=0.3759$, c) $v=0.1960$, d) $v=0.1558$, e) $v=0.1063$ ve f) $v=0.0973$ mm/s hızlardaki tüm örneklerin manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimleri	56
Şekil 58.	a) $x=0.0$, b) $x=0.2$, c) $x=0.4$, d) $x=0.6$, e) $x=0.8$ ve f) $x=1.0$ örneklerin SEM görüntüleri	57

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 1.	Bazı I. tip süperiletkenlerin Tc kritik sıcaklıkları ve Hc(0) kritik manyetik alan değerleri (Aslan, 2005)	7
Tablo 2.	Bazı II. tip süperiletkenlerin Tc kritik sıcaklıkları ve Hc2 kritik manyetik alan değerleri.	8
Tablo 3.	Güç uygulamaları için HTS süperiletkenlerinin kritik parametreleri.....	23
Tablo 4.	YBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} 'nun (YBCO) ab-düzlemi ve c-ekseni yönünde sıfır mutlak sıcaklıkta süperiletkenlik ana parametreleri. ξ, koherens uzunluğu; λ, manyetik alan girme derinliği; H _c , termodinamik kritik manyetik alan; J _c , kritik akım yoğunluğu; H _{c1} ve H _{c2} ise sırasıyla alt ve üst kritik manyetik alan değerleri (Ginsberg, 1994; Poole, 2000).....	25
Tablo 5.	Başlangıç bileşenlerini oluşturmak için kullanılan oksit tozların molekül ağırlıkları ve saflık dereceleri	29
Tablo 6.	50g'lık SmBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletkeni için oksit bileşenlerinin miktarları	30
Tablo 7.	(Sm _{1-x} Nd _x)Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletken yapısında x=0.0 için (SmBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları	31
Tablo 8.	(Sm _{1-x} Nd _x)Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletken yapısında x=0.2 için (Sm _{0.8} Nd _{0.2} Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları	31
Tablo 9.	(Sm _{1-x} Nd _x)Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletken yapısında x=0.4 için (Sm _{0.6} Nd _{0.4} Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları	31
Tablo 10.	(Sm _{1-x} Nd _x)Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletken yapısında x=0.6 için (Sm _{0.4} Nd _{0.6} Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları	32
Tablo 11.	(Sm _{1-x} Nd _x)Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletken yapısında x=0.8 için (Sm _{0.2} Nd _{0.8} Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları	32
Tablo 12.	(Sm _{1-x} Nd _x)Ba ₂ Cu ₃ O _{7-δ} süperiletken yapısında x=1.0 için (NdBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları	32

SEMBOLLER DİZİNİ

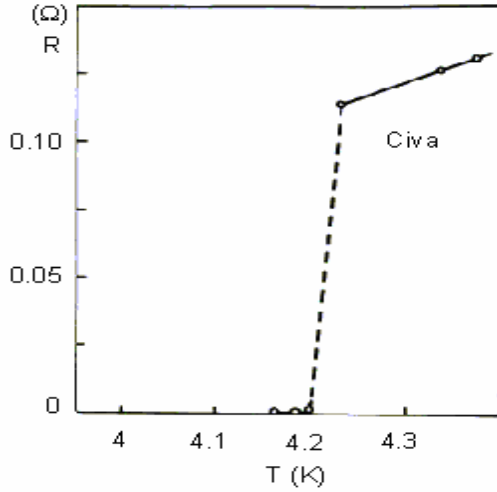
a, b, c	: Örgü parametreleri
h, k, l	: Miller indisleri
B	: Manyetik alan
c	: Işık hızı
e	: Elektron yükü
E	: Elektrik alan
F	: Lorentz kuvveti
f	: Manyetik kaldırma kuvvet yoğunluğu
h	: Planck sabiti
H	: Dış manyetik alan
H_c	: I. tip süperiletkenlerde kritik manyetik alan
H_{c1}	: II. tip süperiletkenlerde alt kritik manyetik alan
$H_{c1}(0)$: Mutlak sıfır sıcaklıkta alt kritik manyetik alan
H_{c2}	: II. tip süperiletkenlerde üst kritik manyetik alan
$H_{c2}(0)$: Mutlak sıfır sıcaklıkta üst kritik manyetik alan
J	: Akım yoğunluğu
J_c	: Kritik akım yoğunluğu
K	: Kelvin
M	: Manyetizasyon
n_s	: Elektron yoğunluğu
R	: Direnç
T	: Sıcaklık
T_c	: Kritik sıcaklık
V	: Birim hücrenin hacmi
χ	: Manyetik alınganlık
λ	: Girme derinliği
κ	: Ginzburg-Landau parametresi
ξ	: Koherens uzunluğu
θ_D	: Debye sıcaklığı
ρ	: Özdirenç
Ω	: Ohm

Φ_0	: Akı kuantası
δ	: Oksijen eksikliği
BSCCO	: BiSrCaCuO
Nd123	: NdBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ}
Sm123	: SmBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ}
EDS	: Energy Dispersive Spectrometry
SEM	: Scanning Electron Microscope
FC	: Manyetik alanda soğutma (FieldCooling)
ZFC	: Manyetik alansız soğutma (Zero FieldCooling). Manyetik alan uygulanmazken örneği soğutma işlemi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Süperiletkenlik ile ilgili ilk çalışmalar 1908 yılında Hollandalı fizikçi KamerlingOnnes'in helyumu sıvılaştırması ile düşük sıcaklık alanında yaptığı deneylerle başladı (Onnes, 1911). Onnes ve yardımcıları ilk olarak Platin'i incelediler ve öz direncinin, örneğin saflık derecesine bağlı olduğunu buldular. Bu çalışmadan 3 yıl sonra (1911) Onnes, deneyinde helyum gazını sıvılaştırarak sıcaklığı $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye (4 K) kadar düşürdü, saf cıvanın bu sıcaklıklardaki direncini ölçtü ve 4,19 K'de cıva direncinin $120\text{ }\mu\Omega$ 'dan $3\text{ }\mu\Omega$ 'a aniden düştüğünü gözledi (Şekil 1) (Çelik, 2006). Bundan bir yıl sonra ise Onnes, yeterince yüksek manyetik alan uygulanması durumunda süperiletkenliğin yok olduğunu keşfetti. Helyumu sıvılaştırması ve maddelerin düşük sıcaklık özellikleri üzerine yaptığı çalışmalar Onnes'e 1913 yılında Nobel Fizik Ödülünü kazandırdı.



Şekil 1. Cıvanın süperiletkenliğe geçişi (Onnes, 1911)

W. Meissner ve R. Ochsenfeld 1933 yılında süperiletkenlerin manyetik özelliklerini incelediler ve manyetik alanda soğutulan bir süperiletkenin, kritik sıcaklık altında manyetik akıyı dışladığını buldular (Meissner and Ochsenfeld, 1933). Bu olay Meissner Olayı olarak bilinir. Ayrıca süperiletken malzemelerin $H_c(T)$ kritik manyetik alanlarından daha büyük manyetik alanlarda süperiletkenlik özelliklerini kaybettiklerini gözlemlediler.

Süperiletkenliğin elektrodinamik özelliklerini açıklayan ilk makroskobik teori London Teorisidir (1935) (Schmidt vd., 1997). Sezgiye dayalı bu teori, süperiletkenliğin

temel özelliği olan diamanyetizma ve sıfır direnç özelliğini açıklar ve Maxwell denklemlerine dayalı iki denklemden oluşur. Daha sonraki yıllarda manyetik alandaki davranışlarına göre süperiletkenleri iki ayrı grupta toplamanın mümkün olduğu anlaşıldı. London teorisi her iki tür süperiletken için ortak olan Meissner durumunu açıklamaktadır.

London teorisi kuantum etkilerini hesaba katmamaktadır. İşte bu etkileri dikkate alan süperiletkenliğin ikinci makroskobik teorisi Ginzburg - Landau teorisidir (1950) (Schmidt vd.,1997). Ginzburg ve Landau, normal hal ile süperiletken hal arasında bir düzen parametresi olduğunu düşündüler (GinzburgandKirzhnits, 1982).

1957 yılında süperiletkenliğin doğasının anlaşılması J. Bardeen, L. Cooper, J. R. Schrieffer tarafından geliştirilen ve BCS olarak anılan mikroskobik teori ile mümkün oldu (Bardeen vd.,1957). Süper akımı taşıyan elektron çiftlerinin fononlar aracılığıyla çiftlendiğini ortaya koyan BCS teorisi mutlak sıfır civarındaki süperiletkenliği açıklamaya yöneliktir. Cooper, atomik örgü titreşimlerinin doğrudan bütün elektronları birleştirmekten sorumlu olduğunu fark etti. Bu titreşimler, elektronların takım halinde çiftlenmesine neden olur ve kristal örgü içerisindeki engellerle herhangi bir temas girmeden aralarından geçmelerini sağlar. Bu elektronların oluşturduğu takımlara Cooper çiftleri (Cooper pairs) adı verilmektedir. Cooper ve arkadaşları normalde bir elektronun diğer elektronu itmesi gerektiğini ve aynı zamanda süperiletken içinde ezici bir çekiciliğin de olması gerektiğini düşünüyordular. Bu ikilemin çözümü fononlarda bulundu. Teorilerine göre, süperiletken örgü içerisindeki pozitif yüklenmiş bir bölgeden bir negatif yüklü elektron geçtiğinde örgüde bir büzüşme meydana geliyordu. Elektron bu bölgeden çıkmadan ve örgü eski pozisyonuna gelmeden önce bu bölgeden geçen ikinci bir elektronun diğer elektron tarafından itilmesi beklenirken, bu pozitif etkileşimden dolayı birbirlerine bağlanırlar (Kılıç, 2008). BCS süperiletkenlik teorisi, onlara 1972 yılında Nobel Fizik Ödülünü kazandırdı.

Bu yılları takiben Abrikosov, süperiletkenliğin GL parametresi (κ) olarak bilinen bir özelliğinin o zamana kadar kabul edildiği gibi 0,71'den küçük değil de büyük olması durumunda neler olabileceğini sorguladığı bir makale oluşturdu (Abrikosov, 1957). Böylece süperiletkenler, I. tip ve II. tip olmak üzere iki gruba ayrıldı.

1962 yılında Brian D. Josephson, 2 mm kalınlığındaki yalıtkan bir engel ile ayrılmış iki süperiletken arasında elektron çiftleri tarafından taşınan tünelleme akımının var olacağını öngördü, bu öngörü kısa bir süre içerisinde ispatlandı. Yine aynı yıllarda

Bean, bir süperiletkenin, süperiletkenlik özelliğini kaybetmeden önceki kritik akım yoğunluğunun, alınganlık eğrilerinden bulunabileceğini gösterdi (Bean,1962).

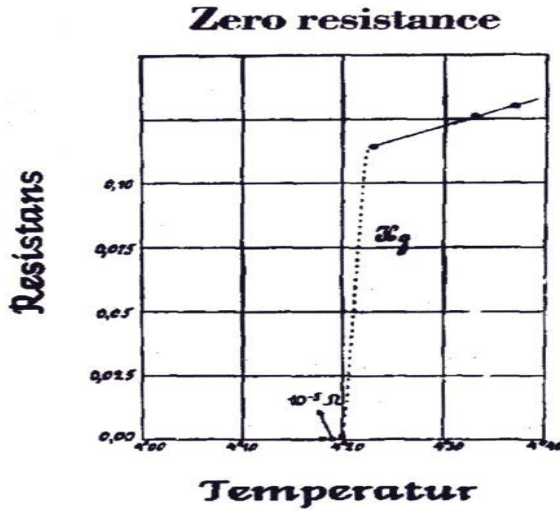
Yüksek sıcaklık süperiletkenleri ilk önce 1986'da J. Bednorz ve K. A. Müller tarafından La-Ba-Cu-O sisteminde gözlemlendi (Bednorz ve Müller, 1986). Bu sistemde süperiletkenlik geçiş sıcaklığı 35 K olarak ölçüldü. Bu keşfin ardından $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ bileşiğinin 92 K'de süperiletken hale geçtiği gözlemlendi (Wu vd.,1987). Bu sıcaklık sıvı azot sıcaklığının (77 K) üzerinde olduğundan süperiletkenlik konusundaki çalışmalar bu tarihten sonra hızla arttı. Bunun hemen ardından $REBa_2Cu_3O_{7-x}$ (RE= Y, Yb, La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) formundaki bileşiklerin 90 K civarında T_c gösterdikleri gözlemlendi (Müller vd., 1997). Ocak 1988'de $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ bileşiğinin 110 K'de T_c gösterdiği ölçüldü ve daha sonra $Ti_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ bileşiğinin de 120 K'de T_c gösterdiği belirlendi. Ardından civa bazlı bakıroksitler keşfedildi ve $HgBa_2Ca_2Cu_3O_9$ bileşiğinin 134 K'de T_c gösterdiği 1993 Mayıs ayında bulundu. Son yıllarda yapılan çalışmalarda basit bir kristal yapıya sahip olan magnezyum diborürün (MgB_2) 39 K'de süperiletken özellik gösterdiği bulundu (Nagamatsu vd., 2001). Bu keşif süperiletkenlik alanındaki çalışmalara yeni bir ivme kazandırdı.

Bu çalışmada, $(Sm_{1-x}Nd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ yapısında süperiletken örnekler üretmek ve elektriksel, yapısal ve manyetik özelliklerini inceleyerek en optimum katkı (x) değerini belirlemektir. Bunun için, katı hal tepkime yöntemiyle $x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve 1.0 katkı değerleri için ikişer adet süperiletken örnekler üretilmiştir. İlk olarak örneklerin XRD ölçümü yardımıyla yapısal özellikleri incelenerek kristal örgü parametreleri belirlenmiştir. Her katkıya sahip iki örnekten biri ile, alansız soğutma rejiminde farklı manyetik alan altında sıcaklığa göre direnç ölçümü yapılmıştır. Direnç ölçümlerinden kritik geçiş sıcaklığı, geçiş aralığı, manyetik alana karşı dayanımı, aktivasyon enerjisi belirlenmiştir. Diğer örnek kullanılarak, manyetik alandaki davranışının bir göstergesi olan manyetik levitasyon ölçümü yapılarak hem manyetiksel hem de elektriksel özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar literatürle karşılaştırılacak ve bu çalışmaya ait sonuçlar da literatüre kazandırılacaktır.

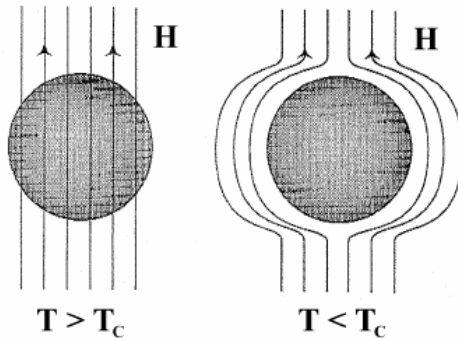
Bu çalışma birinci bölüm; süperiletkenlik ve çalışma konusu ile ilgili genel kitabi bilgileri, ikinci bölüm; bu çalışma kapsamında yapılan tüm çalışmaları, üçüncü bölüm; çalışmadan elde edilen tüm bulguları, dördüncü bölüm; çalışmada elde edilen bilgiler ile ilgili sonuç-tartışma ve son bölüm olan beşinci bölüm de bu çalışmanın devamı durumunda neler yapılabileceğiyle ilgili öneriler kısmını içermektedir.

1.2. Sıfır Direnç ve Mükemmel Diamagnetizma

Kritik sıcaklık ya da geçiş sıcaklığı (T_c) adı verilen belirli bir sıcaklık değerinin altında, süperiletkenlerin elektriksel direnci Şekil 2’de gösterildiği gibi sıfıradüşmektedir. Bunun anlamı, akımın kayıpsız bir şekilde malzeme içinden akabilmesidir. Normal malzemelerdeki direncin varlığı, taşıyıcıların safsızlıklarla ya da örgüyle yaptığı saçılmalarla ilişkilidir. Halbuki süperiletkenlerde, elektronlar Cooper çiftlerini oluşturarak saçılmaya uğramazlar ve dolayısıyla sıfır direnç gözlenir. Bu çiftlenme nedeniyle meydana gelen yeni durum, düzen parametresi ile temsil edilir. Çiftlenimin uzunluğu ise eş uyum parametresi (ξ) ile belirlenir.



Şekil 2. Cıvanın elektriksel direncinin sıcaklıkla değişimi (Onnes, 1911).



Şekil 3. Normal ve süperiletken durum (Meissner Etkisi) için akı çizgilerinin dağılımı.

Uygulanan magnetik alan, geçiş sıcaklığının altındaki bir sıcaklık değerinde süperiletken malzemenin içinden Şekil 3’teki gibi tamamen dışarlanır (Meissner Etkisi). Budurum, Cooper çiftlerinin malzemenin yüzeyinde dolanmasıyla gerçekleşir.

Magnetik alan yüzeyden sadece belirli bir derinliğe kadar nüfuz edebilir. Her bir süperiletken için farklı olan bu derinliğe, nüfuz etme derinliği (λ) denir.

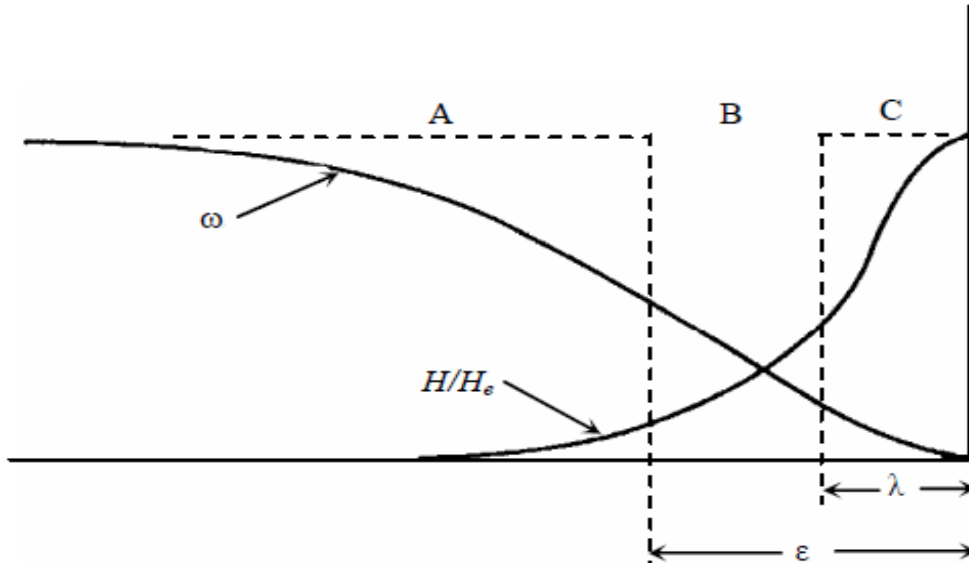
Ginzburg –Landau parametresi olan κ , nüfuz etme derinliğinin eş yuğum uzaklığına oranı olarak bilinir, $\kappa = \lambda / \xi$. I. tip süperiletkenler için $\kappa < \sqrt{1/2}$ iken II. tip süperiletkenler için $\kappa > \sqrt{1/2}$ 'dir.

1.2.1. I. ve II. Tip Süperiletkenler

Süperiletkenler magnetik alandaki davranışlarına göre iki grupta incelenebilirler. Dış magnetik alanın etkisinde bulunan, süperiletken bir malzemedeki Cooper çiftlerinin yoğunluğu, malzeme yüzeyinden iç bölgelere doğru değişir. Bunun nedeni, eş yuğum mesafesinin (ξ) sızma derinliğine (λ) göre çok uzun olduğu malzemelerde, yüzeydeki ya da herhangi bir normal-süperiletken (N-S) ara yüzeyindeki elektronların çift oluşturmak için kendilerine uygun elektron bulamamalarıdır. Cooper çiftlerinin yoğunluğunda meydana gelen bu sonlu değişimin önemli sonuçları vardır. Şekil 4'deki A bölgesinde, Cooper çiftlerinin yoğunluğu ile orantılı olan düzen parametresi maksimumdur. Yüzeyden ξ kadar içeride süperiletken durumdan normal duruma geçiş gerçekleşir. C bölgesinde, dış magnetik alan λ kadar içeri sızar. Burada mıknatıslanma normalden (sızma olmadığı durum) daha azdır. A \rightarrow B geçişinde enerji $\sqrt{1/2} \mu_0 \xi H_c^2$ kadar artarken, C bölgesinde $(1/2) \mu_0 \lambda H_c^2$ kadar azalır. Bu iki etki sonucu enerjinin birim yüzey alanındaki değişimi Denklem 1,

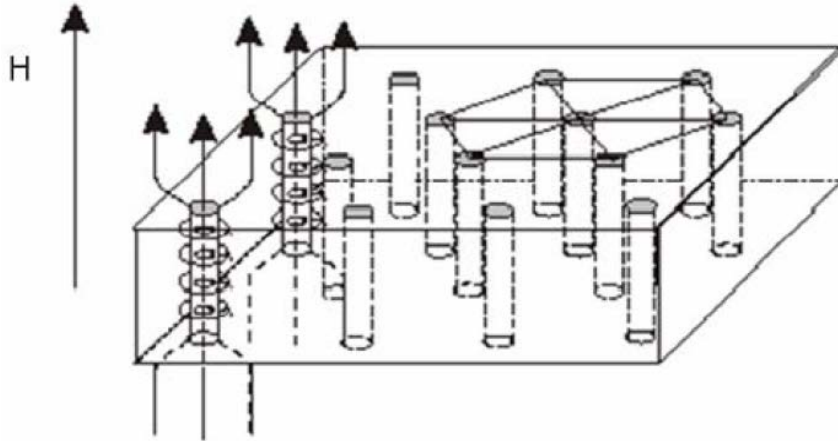
$$\Delta E = \frac{1}{2} \mu_0 H_c^2 (\xi - \lambda) \quad (1)$$

ile ifade edilir. Yüzey Enerjisi olarak adlandırılan bu enerji, bir süperiletkenin magnetik alandaki davranışlarını belirleyen asıl parametredir. Yüzey enerjisinin pozitif ($\xi > \lambda$) olması durumunda ni-si yüzeylerin oluşması için enerji gereklidir. I. Tip süperiletkenlerde yüzey enerjisi pozitifdir. Eğer sıfır ya da negatif yüzey enerjisi söz konusu ise, mıknatıslanmış süperiletkenin yapısı, ince süperiletken ve sonsuz küçük normal iletken tabakalardan oluşan bir yapıya dönüşmeye çalışacaktır. Magnetik akının ince süperiletken yüzeylere daha iyi sızmasından dolayı mıknatıslanma enerjisi azalacaktır. Bu sıra dışı davranışı ilk olarak A. A. Abrikosov (Abrikosov, 1957) tanımlamış ve bu malzemeleri normal davranış gösteren süperiletkenlerden ayırt etmek amacıyla II. Tip süperiletkenler olarak adlandırmıştır (Tinkham, 1975).



Şekil 4. Süperiletken düzen parametresinin ve magnetik akının konuma bağıli değişimi

II. Tip süperiletkenler için H_{c1} ve H_{c2} olmak üzere iki kritik magnetik alan değeri tanımlanır. Uygulanan dış magnetik alanın $H < H_{c1}$ değerleri için Meissner etkisi gözlenir. $H > H_{c2}$ değerleri için süperiletkenlik tamamen ortadan kalkar. $H_{c1} < H < H_{c2}$ aralığı ise karışık duruma ya da girdap durumuna karşı gelir, Şekil 5. Girdap durumundaki bir malzemede süperiletken ve normal durum bölgeleri bir aradadır.



Şekil 5. Karışık durumdaki bir süperiletkenin girdap yapısı.

I. tip süperiletkenlerde uygulanan manyetik alan, kritik manyetik alan değerine ulaştığında örnek içerisine alan tamamen girer ve malzeme normal hale geçer. Benzer şekilde I. tip süperiletkenlerde kritik manyetik alan değerine kadar mıknatıslık, negatif yönde hemen hemen doğrusal olarak artar, ancak kritik manyetik alan değerinde keskin bir

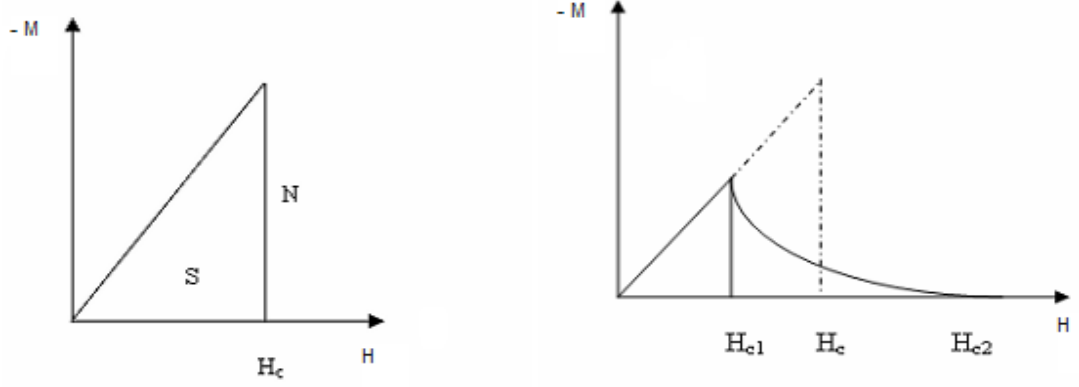
şekilde sıfıra düşer (Şekil 6.a). I. tip süperiletkenlerde süperiletken – normal geçişler keskindir ve I. tip süperiletkenlerin kritik manyetik alan değerleri H_c düşüktür.

Düşük sıcaklık süperiletkenlerinin (çoğunlukla metaller ve bileşikler olup $T < 25K$ ' dir) en geniş uygulama alanları, parçacık hızlandırıcıları ve tıpla ilgili cihazlardır. Düşük sıcaklık süperiletkenlerinin en büyük dezavantajı, kritik sıcaklığın altında tutulması için sıvı helyuma ihtiyaç duyulmasıdır. Sıvı helyum, kaynama sıcaklığı çok düşük olması ve doğada çok az bulunması nedeniyle elde etmesi oldukça zor ve pahalıdır. Bazı düşük sıcaklık metal süperiletkenlerin kritik geçiş sıcaklıkları ve $T = 0 K$ 'deki kritik manyetik alan değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Bazı I. tip süperiletkenlerin T_c kritik sıcaklıkları ve $H_c(0)$ kritik manyetik alan değerleri (Aslan, 2005)

I. tip süperiletkenler	T_c (K)	$H_c(0)$ (Tesla)
Al	1,196	0,0105
Ga	1,083	0,0058
Hg	4,153	0,0410
In	3,408	0,0281
Nb	9,260	0,1991
Pb	7,193	0,0803
Sn	3,722	0,0305
Ta	4,470	0,0829

II. tip süperiletkenler, H_{c1} kritik manyetik alan değerine kadar I. tip süperiletkenlerin özelliğini (Meissner hali) gösterirler. Alt kritik manyetik alan (H_{c1}) değerine kadar manyetik alanı dışarıda tutar ve negatif yönde mıknatıslanırlar. Bu değer üstünde uygulanan alanlarda, alanın bir kısmı dışlanmakta ve bir kısmı da malzemeye nüfuz etmektedir. Bu durumda malzeme yine süperiletkenliğini sürdürmektedir. Ancak manyetik alan H_{c2} ile gösterilen üst kritik manyetik alan değerine ulaştığında alan tümüyle malzemeye girer ve süperiletkenlik yok olur. II. tip süperiletkenler düşük H_{c1} ve yüksek H_{c2} değerlerine sahiptirler (Şekil 6.b).



Şekil 6. a) I. tip süperiletkenlerin mıknatıslanma eğrisi b) II. tip süperiletkenlerin mıknatıslanma eğrisi (Schmidt, 1997)

Tablo 2. Bazı II. tip süperiletkenlerin T_c kritik sıcaklıkları ve H_{c2} kritik manyetik alan değerleri.

II. tip süperiletkenler	T_c (K)	$H_{c2}(0)$ (Tesla)
Nb_3Al	18,7	32,4
Nb_3Ge	23,2	38
NbN	15,7	15,3
$NbTi$	9,3	15
$Nb_3(AlGe)$	21	44
$PbMoS$	14,4	60
$LaSrCuO$	36	32
$YBaCuO$	92	120
$BiSrCaCuO$	125	89
$HgBaCaCuO$	135	190

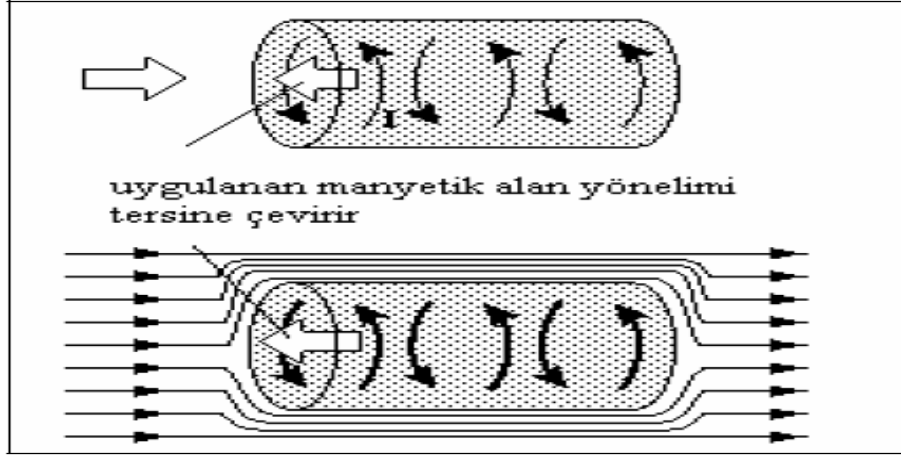
Tablo 2’de bazı II. tip süperiletken örneklerin kritik geçiş sıcaklıkları ve $T = 0$ K’deki üst kritik manyetik alan değerleri gösterilmektedir.

1.3. Meissner Etkisi

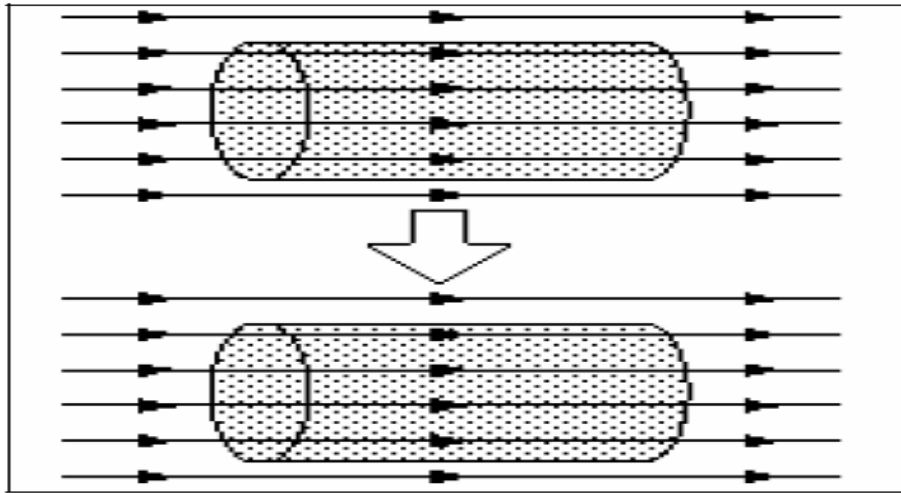
Süperiletkenlerin en önemli özelliklerinden birisi de mükemmel diamanyetik davranış göstermesidir. 1933’ lere kadar süperiletken ideal bir iletken olarak düşünülürdü.

Fakat Meissner ve Ochsenfeld deneylerle bunun doğru olmadığını gösterdi (Meissner and Ochsenfeld, 1933).

İdeal bir iletken numune önce soğutulur ve sonra dış manyetik alan uygulanırsa alan numunenin iç kısımlarına nüfuz etmez, uygulanan alan dışarlanır. Bu durum Şekil 7’de gösterilmektedir. Fakat ideal bir iletken üzerine önce manyetik alan uygulanır ve sonra soğutulursa numuneye manyetik akı çizgileri Şekil 8’de gösterildiği gibi nüfuz eder.

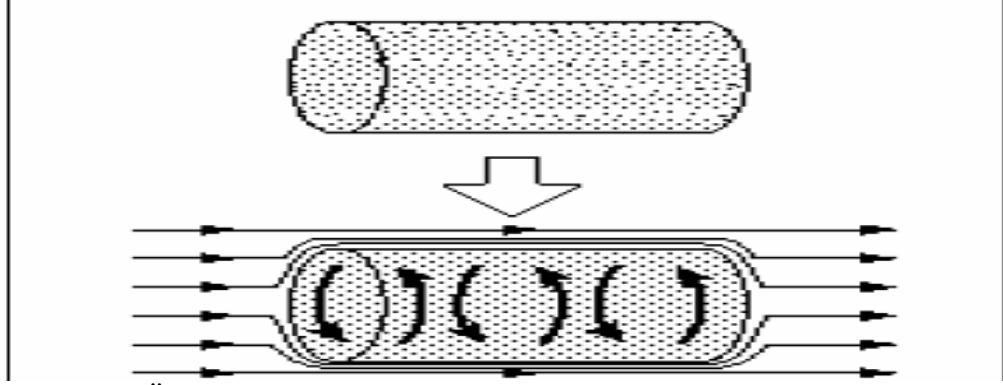


Şekil 7. Manyetik alan yokken soğutulmuş ve sonra manyetik alan uygulanmış ideal bir iletken

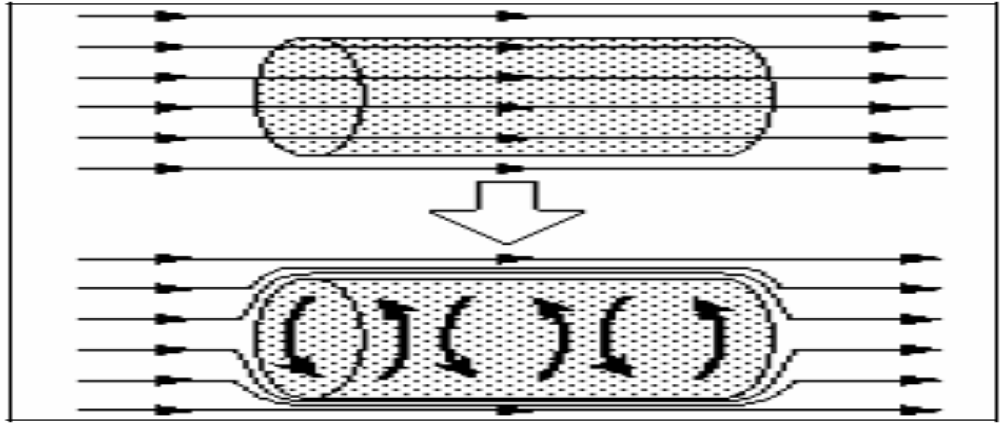


Şekil 8 . Manyetik alanda soğutulmuş ideal bir iletken

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 9 ve Şekil 10’da gösterilmiştir. Süperiletkende bu durum işlemlerin yapılış sırasına bağlı değildir. Yani ideal bir iletken süperiletken değildir.



Şekil 9. Önce manyetik alansız soğutulmuş, sonra manyetik alan uygulanmış bir süperiletken



Şekil 10. Manyetik alanda soğutulmuş bir süperiletken

Süperiletkenlerde sıcaklık geçiş sıcaklığının üstünde iken alan şekilde görüldüğü gibi silindire 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 (Boğaz,2006).

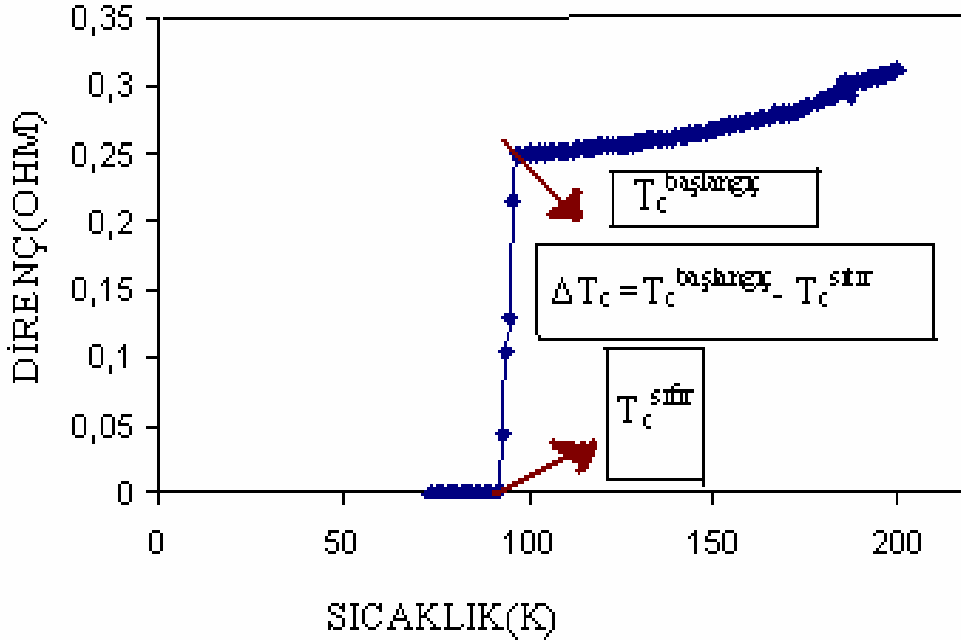
1.4. Süperiletkenlik Parametreleri

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

1.4.1. Kritik Geçiş Sıcaklığı (T_c)

Süperiletkenlikte kritik sıcaklık, T_c , materyalin iletkenlik özelliklerinin değişmeye başladığı en yüksek sıcaklığın başlangıcı olarak açıklanır. Kritik geçiş sıcaklığından sonra materyalin direnci sıfıra düşer. Şekil 11’de görüldüğü gibi eğrinin son noktası ve başlangıç noktası arasındaki fark $\Delta T_c = T_c^{\text{başlangıç}} - T_c^{\text{sıfır}}$ olarak hesaplanır.

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



Şekil 11. Saf YBCO süperiletkenine ait direnç-sıcaklık eğrisi ve ΔT_c aralığı.

1.4.2. Kritik Akım Yoğunluğu (J_c)

Süperiletkenliği bozan sadece kuvvetli bir manyetik alan değildir. Bunun yanı sıra bir süperiletkende akım yoğunluğu J_c olarak adlandırılan kritik akım değerini geçtiği zaman da süperiletkenlik ortadan kalkar. J_c ’nin değeri $T=T_c$ de sıfır değerinden 0 K’de maksimum J_c değerine kadar artma eğilimi gösterir. J_c değeri genelde deneysel ve yarı-teorik olmak üzere iki yöntemle bulunabilir. Bunlardan birincisi (Denklem 2) akım-gerilim (I-V) karakteristiklerinden hesaplanabilen yöntem diğeri ise (Denklem 3) kritik akım yoğunluğunun bulunmasında en çok kullanılan M-H histerisis eğrileridir.

Histerisiseğrilerinden yararlanarak yarı teorik akım yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılan denklemler;

$$J_c = \frac{30\Delta M}{d} \quad (2)$$

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

olup Bean formülü olarak bilinirler (Bean, 1962). Burada $\Delta M = M_+ - M_-$ örneğin manyetizasyonu, a ve b örneğin boyutları ve d ise tanecik boyutlarıdır. İlk denklem genel olarak tanecik boyutlarına bağlı ölçümlerde, ikincisi ise örneğin boyutlarına göre hesaplamalar için kullanılır. Bu denklemler sonucunda ortaya çıkan değerler daha çok yarı teorik olarak kabul edilirler ve kritik akım yoğunluğunun hesaplanmasında en fazla kullanılan denklemler olarak bilinmektedirler. Ancak, J_c teorik olarak da London denklemlerinin uzantıları kullanılarak hesaplanabilmektedir.

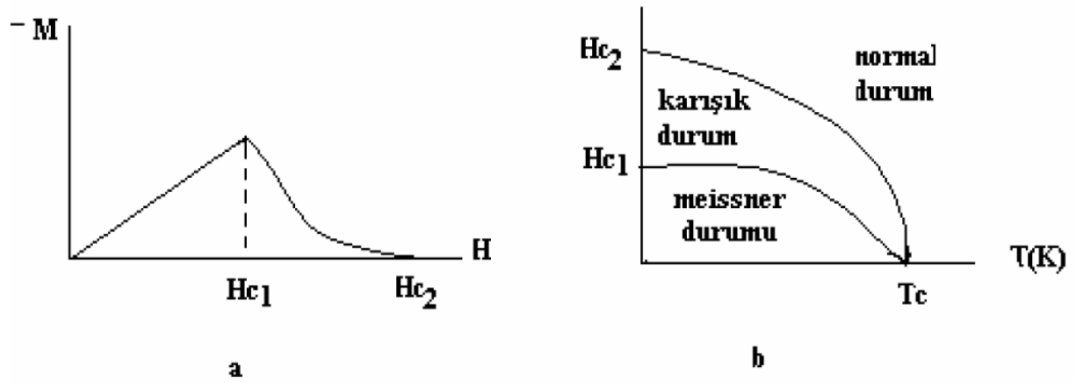
1.4.3. Kritik Manyetik Alan (H_c)

Süperiletkenliğin önemli bir özelliği de kritik alandır. Süperiletken numunelerde bir kritik manyetik alan değeri vardır. Bu alana kadar örnek dışarıdan uygulanan manyetik alanı dışlar ancak bu alan değerinden daha yüksek alanlar uygulanırsa süperiletkenlik özelliği bozulur. Bu kritik değer altındaki manyetik alanlarda ise örnek süperiletkenlik özelliğini korur. Termodinamik kritik manyetik alan $H_c(T) = H_c(0)[1 - (T/T_c)^2]$ şeklinde ifade edilir (Yakıncı, 1992) ve hem örneğin geçiş sıcaklığı T_c 'ye hem de ortamın sıcaklığına bağlıdır. Bu manyetik alan değeri süperiletken malzemenin yapısını bozmadan uygulanabilecek maksimum manyetik alan değeridir. Kritik alan değeri malzemenin yapısına, manyetik alanın uygulanış yönüne de bağlı olarak değişebilir. Tip II süperiletkenlerde ise, Meissner durumu ($0 - H_{c1}$) ile karışık durum ($H_{c1} - H_{c2}$) mevcuttur. Meissner durumunda yapı manyetik alanı tamamen dışlarlar. Karışık durumda ise yapı içine kısmi olarak manyetik alan girer.

1.4.3.1. Alt Kritik Manyetik Alan (H_{c1}) ve Üst Kritik Manyetik Alan (H_{c2})

II. tip süperiletkenler, H_{c1} alt kritik manyetik alan değerine kadar I. tip süperiletkenlerin özelliğini (Meissner hali) gösterirler.

Alt kritik manyetik alan (H_{c1}) değerine kadar manyetik alanı dışarıda tutar ve negatif yönde mıknatıslanırlar. Bu değer üstünde uygulanan alanlarda, alanın bir kısmı dışlanmakta ve bir kısmı da malzemeye nüfuz etmektedir. Bu durumda malzeme yine süperiletkenliğini sürdürmektedir. Ancak manyetik alan H_{c2} ile gösterilen üst kritik manyetik alan değerine ulaştığında alan tümüyle malzemeye girer ve süperiletkenlik yok olur. II. tip süperiletkenler düşük H_{c1} ve yüksek H_{c2} değerlerine sahiptirler (Şekil 12).



Şekil 12. a) II.Tip süperiletkenlerin uygulanan manyetik alanla manyetizasyonun değişimi, b) II. tip süperiletkenlerde manyetik alan faz diyagramı

Bazı metal alaşımlar ve HT materyaller II. tip süperiletkenler olarak adlandırılır ve artan alan ile H_{c1} değerine kadar tam bir Meissner etkisi gösterir. H_{c1} 'in üzerinde örneğe kısmen manyetik akı işler, bununla birlikte süperiletkenlik durumunun özelliği olan kayıpsız akım taşıma özelliği korunur. H_{c2} değerine gelindiğinde manyetik alan çizgileri numuneye tamamen girmeye başlar ve süperiletkenlik yok olur. H_{c1} ve H_{c2} aralığında süperiletken içerisinde öbekler halinde manyetik akı, Şekil 2.4, oluşur ve bu bölgeye karışık durum (mixed-state) denir (Tinkham, 1982 ;Poole vd., 1989).

1.4.4. Sızma Derinliği (λ)

Süperiletken malzemelerde belirli bir kritik alan değerinden sonra numunenin süperiletkenlik özelliği kaybolmaktadır. Bu kritik alan değerine kadar uygulanan manyetik alan numune içerisinde belirli bir derinliğe kadar üstel olarak azalarak ilerler.

Bu ilerleme miktarı sıcaklığa ve numunenin türüne bağlı olarak değişir. İşte bu ilerleme miktarına ait parametreye Sızma Derinliği (Penetration Depth) denir, λ . (Denklem 4)Matematiksel olarak;

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

verilir(AshcroftandMermin, 1976). Burada m elektronun kütlesi, c ışık hızı ve n_s ise çiftlenmiş elektron yoğunluğudur. Yüksek sıcaklık süperiletkenler için sızma derinliği 1200-1400 Å arasında olduğu belirlenmiştir (Ateş, 1998). YBCO'nun sızma derinliği $\lambda_{ab} \approx 140$ nm ve $\lambda_c \approx 600-1800$ nm civarındadır.

1.4.5. Uyum Uzunluğu (ξ)

Uyum uzunluğu, süperiletkenliğin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Süperiletkenliğin oluşabileceği en küçük boyut yada Cooper çiftlerinin bir arada bulunabileceği mesafe olarak tanımlanır (Tinkham, 1982). Uyum uzunluğu aynı zamanda uygulanan manyetik alanla değişen enerji band aralığının, E_g , bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Uyum uzunluğu ile öz uyum uzunluğu arasındaki ilişki ise (Denklem 5) ;

$$\xi \approx (\xi_0 \ell)^{1/2} \quad (5)$$

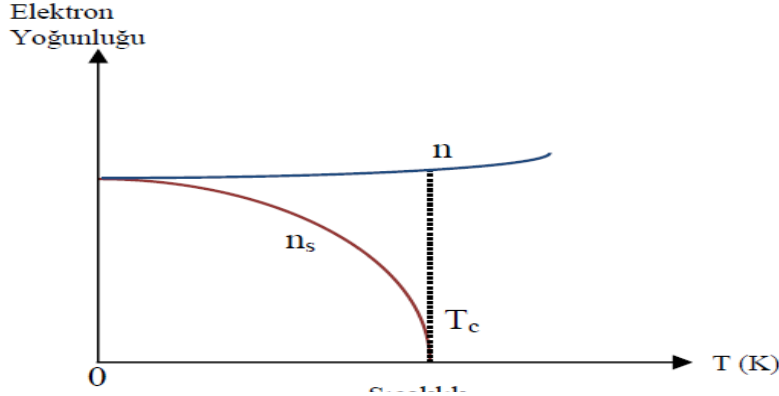
olarak verilir. Burada ℓ , Cooper çiftlerinin aldığı yoldur ve ξ_0 ise saf süperiletkendeki öz uyum uzunluk (Denklem 6) olup değeri BCS teorisine göre

$$\xi_0 = 0.39 h v_f / \pi E_g \quad (6)$$

olarak verilmektedir. Burada v_f Fermi enerjisindeki elektronların hızı, E_g ise BCS teorisinde tanımlandığı gibi $E_g = [(h^2/2m)k_f q_0]$ olarak tanımlanır. BSCCO ve YBCO'nun uyum uzunluk değerleri sırasıyla 2.2 Å ve 4.2Å olarak belirlenmiştir (Ateş, 1998;Kittel, 1976). Yüksek sıcaklık süperiletkenlerindeki uyum uzunluk değeri metal ve metal alaşım süperiletkenler ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmüştür.

1.5. 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 13'de gösterildiği gibi toplam elektron yoğunluğundan sıfıra doğru bir azalma gösterir.



Şekil 13. Süperiletkenlik elektronlarının sıcaklıkla değişim grafiği

Bu durumda sıcaklığa bağlı olarak süperelektronların sayısı (Denklem 7);

$$n_s = n \cdot \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \right] \quad (7)$$

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

Süperelektronlar, herhangi bir saçılmaya maruz kalmadıkları gibi dirençleride 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 özelliğinin 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 bağlı 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 (Kartal, 2009).

1.6. 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 Denklem 8 bağıntısında gösterilmiştir.

$$m \frac{dV_s}{dt} = -eE \quad (8)$$

Süperelektronlar bir saçılmaya maruz kalmadıklarından dolayı, saçılma ile ilgiliterimler yoktur.

Süperakım yoğunluğu (Denklem 9);

$$J_s = n_s e V_s \quad (9)$$

şeklinde yazılıp, bu eşitliğin zamana göre türevi alınır(Denklem 10.a); elektrik alan ve akımyoğunluğu arasında (Denklem 10.b);

$$\frac{dJ_s}{dt} = n_s e \frac{dV_s}{dt} \quad (10.a)$$

$$\frac{dJ_s}{dt} = \frac{n_s e^2}{m} E \quad (10.b)$$

bağıntıları elde edilir. Denge durumunda akım yoğunluğu J_s sabit olacağı için, değişim sıfıra eşit olacaktır (Denklem 10.c). O hâlde; malzeme içinde elektrik alan sıfır olmalıdır.

Yani,

$$\frac{dJ_s}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad E = 0 \quad (10.c)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{J}_s = -\frac{1}{\lambda_L^2} \vec{H} \quad (11.a)$$

$$H(x) = H(0)e^{-x/\lambda} \quad (11.b)$$

Denklem 11.b de $x = \lambda$ yazılırsa;

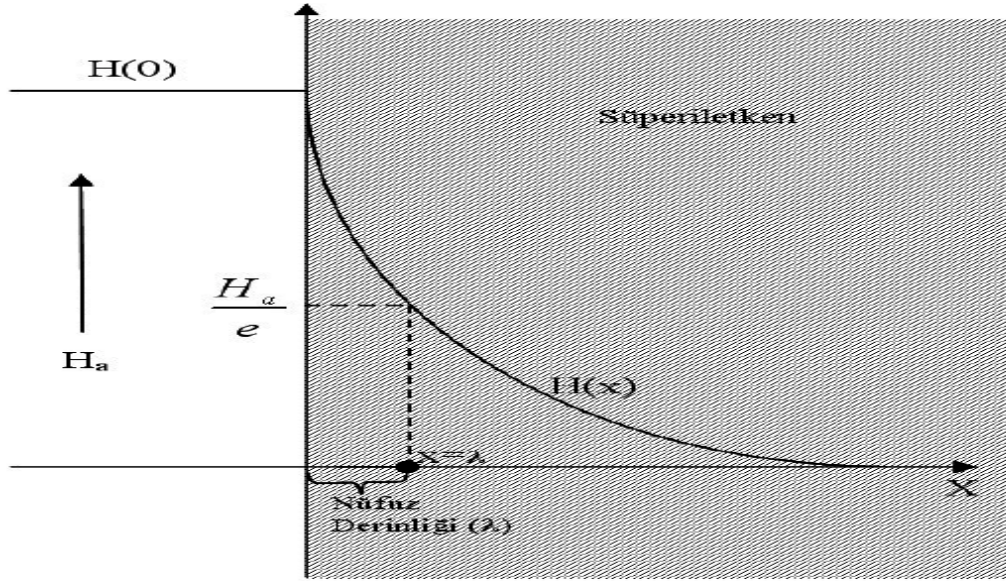
$$H(x) = H(0)e^{-1} \quad (11.c)$$

$$H(x) = \frac{H(0)}{e} \quad (11.d)$$

Yani, dışarıdan uygulanan alanın $1/e$ 'sine düştüğü alan (Denklem 11.c-11.d) değeri λ 'dır. Denklem 11.a. süperiletkenler için “**Ohm Yasası**” olarak kabul edilebilir. London teorisi akımın yüzeye yakın bölgelere nüfuz ettiğini ifade eder. Bu mesafe “London

Nüfuz Derinliği (λ_i)” olarak adlandırılır ve değişimi Şekil 14’deki gibidir. Nüfuz derinliği Denklem 12 uyarınca sıcaklık ile değişir.

$$\lambda(T) = \lambda(0) \sqrt{1 - \left[\frac{T}{T_c}\right]^4} \quad ; \quad \lambda(0) = \sqrt{\frac{m}{\mu_0 n_s e^2}} \quad (12)$$



Şekil 14. Uygulanan manyetik alanın bir süperiletken içerisine girişi (Rose-Innes, and Rhoderick, 1978)

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 nüfus 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 (Çimen, 2006).

1.7. Ginzburg – Landau Teorisi

1950 yılında Ginzburg ve Landau'nun bazı varsayımlara dayandırdıkları buteorî, sıfır manyetik alanda faz geçişini doğru olarak tanımlamıştır (Aksan vd., 2000). 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 (Denklem 13), bu iki uzunluğun oranıdır.

$$\kappa = \frac{\lambda}{\xi} \quad (13)$$

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 sınırda geçiş aniden olmaz. Akı; süperiletken yüzeyden bir miktar, nüfuz derinliği kadar girebilmektedir ve bu sınırda κ << 1 durumu pozitif yüzey enerjisine, bu pozitif yüzey enerjisi de I. tip süperiletkenliğe işaret ederken, κ >> 1 durumu negatif yüzey enerjisine ve dolayısıyla II. tip süperiletkenlik gösterir (Denklem 14). Yani,

$$\frac{\xi}{\lambda} \begin{cases} > \sqrt{2} \text{ ise; } I. \text{ tip} \\ < \sqrt{2} \text{ ise; } II. \text{ tip} \end{cases} \quad (14)$$

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.

1.8. Karışık Hal Durumu

Normal ve süperiletken durumdan başka II. tip süperiletkenler, malzemede normal bölgelerin de bulunduğu karışık hal diye adlandırılan yeni bir durum sergilerler. Karışık halde, Meissner etkisi olmaz ve süperiletkenliğini kaybetmeden manyetik akı süperiletkene kısmi bir şekilde girer. Karışık halin varlığının sebebi, malzemenin en düşük toplam serbest enerjiye sahip duruma meyilli olması olarak açıklanabilir. Normal ve süperiletken bölgeler arasındaki yüzey enerjisi negatif olduğunda, normal bölgelerin oluşması toplam serbest enerjiyi azaltacak ve daha düşük enerjili duruma getirecektir (Rose-Innes, and Rhoderick, 1978). Bu durum, malzemenin hacminin yüzeye oranının maksimum olduğu, konfigürasyonun, dış manyetik alana paralel olan silindirik normal alan olduğunu (Şekil 15) söyler. Silindirik normal bölgeler düzgün bir şekilde yer alır. Bu bölgelere akı merkezi (fluxon lattice) denir. Her bir özde manyetik akı, uygulanan manyetik alana paralel olup, etrafındaki akımlar tarafından komşu süperiletken bölgelerden perdelenir. Örneğin yüzeyinde oluşan yüzey akımlarıyla birlikte süperakımlar (Şekil 16) külfeye diamagnetizmayı korur.

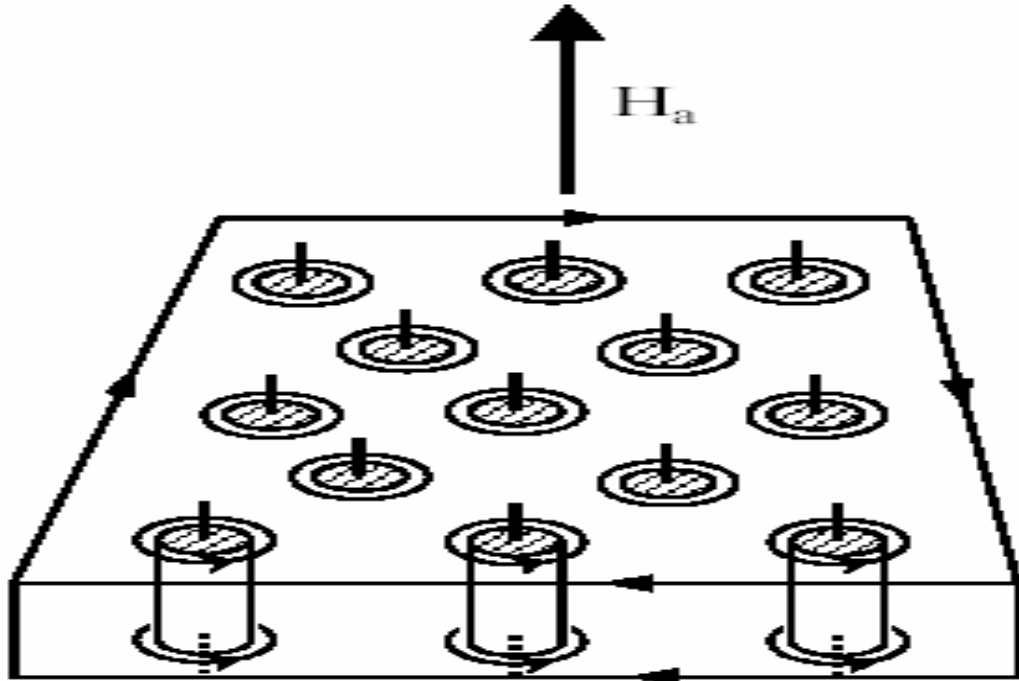
Karışık hal, II. tip süperiletkenlerin asıl özelliğidir ve manyetik alan $H_{c1} < H < H_{c2}$ durumunda oluşur. Manyetik akının, her bir akı kuantumuna sahip,

$\Phi_0 = h/2e = 2,6678 \times 10^{-15} \text{T.m}^2$, fluxon olarak adlandırılan, akı tüplerine girdiği, Abrikosov tarafından ilk defa söylendi.

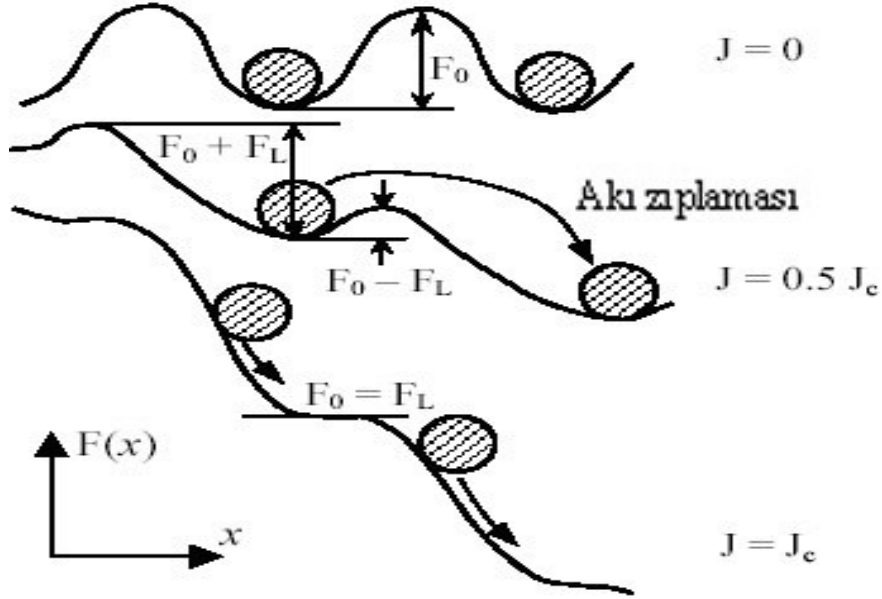
Abrikosov'dan birkaç yıl sonra, II. tip süperiletkenlerin magnetizasyonu deneysel olarak Bean tarafından tanımlandı (Bean, 1962; Bean, 1964). Bean, akım ve manyetik akı dağılımının makroskopik modelini sundu ve böylesi malzemelerde akı girginliğinin düzgün olmadığını örneğin merkezinde serbest akı bölgesinin ve akı yoğunluğu gradiyentinin olduğunu gösterdi. Bean'ın modeli kritik hal modeli olarak da adlandırılır ve II. tip süperiletkenlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılır.

1.9. Akı Çivilenmesi (Flux Pinning), Akı Sürüklenmesi (Flux Creep) ve Akı Akısı (Flux Flow)

İdeal saf materyalde, akı çizgileri kolayca hareket edebilir ve uygulanan alana göre yoğunluğu ayarlanabilir. Yine de II. tip süperiletkenlerdeki safsızlıklar ve homojen olmamalarından dolayı, fluxonlar çivilenir ve hareket etmeleri için geçmesi gereken enerji bariyerleri oluşur. Akı çivilenmesi, fluxonların F_0 derinliğinde çivileme kuvvetine sahip bir kuyuya yerleşmişve bir kuyudan başka bir kuyuya geçmesi için zıplamaya ihtiyaç duyduğu mesafedeymiş gibi düşünülebilir. Bu durum Şekil 16'te gösterilmektedir.



Şekil 15. Normal merkezleri ve etrafında dolanan süperakımgirdaplarını gösteren karışık hal. Dikey çizgiler merkezlerin içinden geçen akıyı gösterir. Yüzey akımı bulk diamagnetizmayı gösterir.



Şekil 16. Akı akışı mekanizması. Manyetik alandaki akımın varlığı Lorentz kuvveti üretir. Lorentz kuvveti çivileme potansiyelini geçebilen bir kuvvete ulaştığında bir diğer kuyuya geçer (Sheahan, 1994).

II. tip süperiletken, yoğunluğu J olan elektrik akımını taşıdığı anda akı çizgilerini geçer ve her bir merkeze $F_L = Jx\Phi_0$ Lorentz kuvveti uygulanır. Çivileme (pinning) gerilimi F_0 Lorentz kuvvetinden F_L büyük olduğu müddetçe fluxonlar yerlerinde durur. Bu durum çivileme kuyularının derinliği, J 'nin artmasıyla küçük değere inse dahi geçerlidir. Belirli J_c değerinde, Lorentz kuvveti F_L , "pinning" gerilmesinden F_0 büyük olacak ve tüm fluxonlar harekete başlayacaktır (Şekil 16). Bu harekete flux-flow denir. J_c 'ye de kritik akım yoğunluğu denir ve süperiletkenlerin taşıyabileceği maksimum akım olduğundan çok önemli bir karakteristik parametredir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde net akı hareketi, akı merkezlerinin termal değişimi (TAFF) tarafından aktif hale getirilebilir. Bu hareket daha yavaş ve daha seyrek olup, flux-creep olarak adlandırılır.

1.10. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinde Kritik Akımlar

Akı sürüklenmesi için Anderson-Kim modeli, II. tip süperiletkenlerdeki ölçülen kritik akım yoğunluğunun J_c , çivileme "pinning" gerilmesi F_0 ve voltaj kriteri E_c ile ilişkisi Denklem 15'de gösterilmektedir (Anderson, 1962; Kim vd., 1963):

$$J_c(T) = J_c(0) \left[1 - (k_B T / F_0) \ln(Bd\Omega / E_c) \right] \quad (15)$$

Eşitlikte $J_c(0)$ mutlak sıfır sıcaklıktaki kritik akım yoğunluğu, Ω akı sıçrama frekansı, B manyetik indüksiyon ve E_c ise genelde V/m olarak ele alınan voltaj kriteridir. d ve Ω , sıcaklığa ve uygulanan alanın genliğine bağlı parametre olduğundan, yukarıdaki eşitlik sayısal olarak çözülmelidir.

Birim uzunluktaki voltaj E_c değeri, süperiletken numunenin birim uzunlukta uygulanacak ya uygulanan manyetik alanın ya da belirli J için sıcaklığa karşılık gelen voltaj değeri olmalıdır (Sheahan, 1994). Bu yüzden, II. tip süperiletkenlerdeki kritik akım yoğunluğu J_c artık daha iyi belirlenemez ve farklı voltajlarda elde edilen J_c değerlerinde belli bir fark olacaktır. Elektrik alandaki akımın tanımlanması için ne kadar yüksek hassasiyete sahip SQUID magnetometre kullanılırsa, o kadar düşük J_c değeri elde edilebilir. Daha az hassas E_c kriteri, tipik iletim akımı ölçümlerinden elde edilir ve daha yüksek J_c değeri ölçer. $1 \mu\text{V/cm}$ çok yaygın olarak kullanılan voltaj kriteridir.

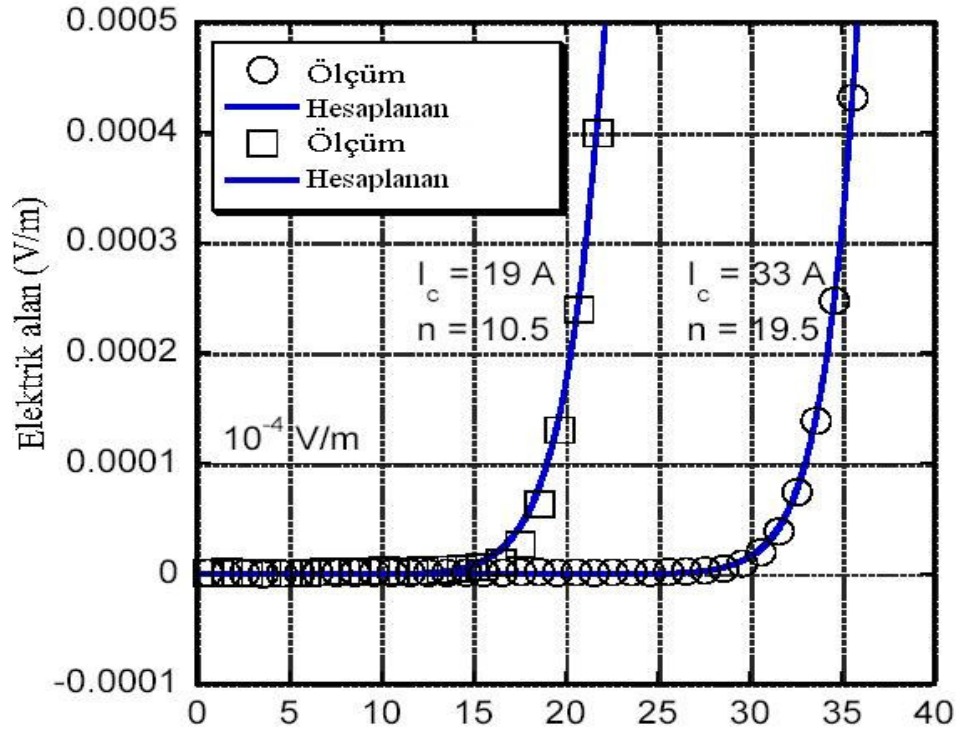
DC akımı ve $1 \mu\text{V/cm}$ kriteri ile elde edilmiş iki tane yüksek sıcaklık süperiletken şeritlerinin ölçülmüş voltaj-akım karakteristiklerine örnek olarak Şekil 17 verilmektedir. Yüksek- T_c süperiletken malzemelerden bir tanesi Bi-2223'tür. Gümüş kaplanmış Bi-2223'ün DC karakteristiğindeki akı hareketinin etkisi Hughes tarafından çalışılmıştır (Hughes vd., 1997).

HTS ve LTS malzemelerinin rutin karakterizasyonu için, kuvvet serisi voltaj akımbağıntısı deneysel verilerle mükemmel uyduğundan ve basitliğinden dolayı kullanılır. Kuvvet serisi modelinde elektrik alan E , Denklem 16'daki gibi akımın n kuvvetiyle orantılıdır:

$$E = E_c (I/I_c)^n \quad (16)$$

E_c voltaj karakterine, I_c kritik akıma ve n değeri de geçiş bölgesindeki dikliği tanımlar. Ölçülmüş iki adet örnekler için yukarıdaki denklem kullanılarak fit edilmiş farklı I_c ve n kuvvet serilerini, Şekil 17 göstermektedir.

77 K'de Bi-2223 şeritleri için tipik n değerleri 10-30 arası iken, normal duruma geçiş daha keskin ve Nb-Ti'deki n değeri ise 50'ye ulaşabilir (Iwasaki vd., 1995).



Şekil 17. 77 K’de DC akım uygulayarak elde edilen ölçümlerden elde edilmişiki adet Bi-2223 şeritlerinin I-V karakteristikleri (Stavrev, 2002).

Kritik akım yoğunluğu J_c , ölçülmüş I_c değerinden hesaplanır (Denklem 17):

$$J_c = I_c / S \quad (17)$$

S , süperiletkenin kesit alanıdır. Eğer $1 \mu\text{V}/\text{cm}$ ’den farklı E_c kullanılsa dahi oran yine sabit kalır.

1.11. Yüksek Sıcaklık Süperiletken Malzemeleri

Yüksek sıcaklık süperiletkenler, birim hücre olarak adlandırılan farklı elementlerin atomlarının tekrarlı dizilimini içeren kimyasal bileşiklerdir. Çok küçük kristalde var olan trilyonlarca birim hücreler, taneler olarak adlandırılır. Milyonlarca taneler makroskopik örnek oluşturmak için gereklidir. HTS’ler kırılğan seramik maddelerdir. Çoğu oksit olup, oda sıcaklığındaki öz dirençleri bakırdan 100 kat daha yüksektir (Tixador, 1995).

Berdnorz ve Müller tarafından keşfedilen yüksek- T_c ’li süperiletken, T_c ’si 30 K’nın üzerinde olan $(\text{La},\text{Ba})_2\text{CuO}_4$ Lantanyum-Bakır oksittir. Bu zamana kadar keşfedilen en yüksek T_c ’li HTS malzemesi $T_c=134 \text{ K}$ $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ ’dir. $T_c>77 \text{ K}$ olan ilk süperiletken Y-123 veya genel olarak YBCO olarak da bilinen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ _triyum-Baryum-Bakır

oksittir. $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ ve $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ bizmut oksitleri sırasıyla Bi-2212 ve Bi-2223 olarak da adlandırılıp şu an en mükemmel HTS maddelerdir. Son iki bileşenler BSCCO olarak adlandırılıp Bizmut-Stronsiyum-Kalsiyum-Bakır oksit için standart gösterimdir. YBCO, Bi-2212 ve Bi-2223 için kritik parametreler Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 3. Güç uygulamaları için HTS süperiletkenlerinin kritik parametreleri

	Y123	Bi-2212	Bi-2223
T_c (K)	93	87	110
B_{irr} 4,2 K’de (T)	>30	>30	>30
B_{irr} 77 K’de (T)	>5	0,005	0,5
J_c 4,2 K’de (A/mm ²)	>100000	5000	3000
J_c 77K’de (A/mm ²)	>10000	100	500

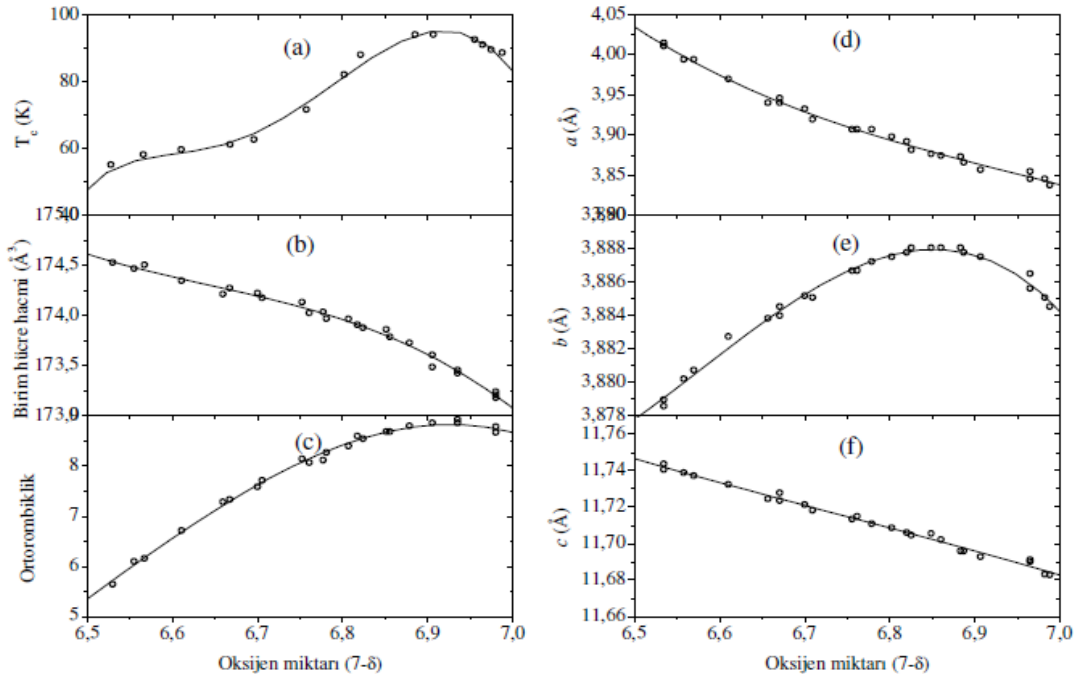
1.12. Y-Ba-Cu-O Sistemi¹

Y-Ba-Cu-O sisteminin kristal yapısı, bakır ve oksijenin CuO zinciri ve CuO_2 düzlemleri içerir. Y-Ba-Cu-O sisteminde bütün yapılarda iki adet CuO_2 düzlemleri mevcut olup, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ yapısında bir, $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ yapısında iki ve $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15}$ yapısında da c eksenini boyunca ardışık olarak bir ve iki adet CuO zincirleri bulunur (Dzhafarov vd., 1996; Yvon and François, 1989)

YBCO sisteminde normal ve süperiletken durumlar oksijen konsantrasyonu ve ortorombik fazdaki oksijen düzenlenmesine çok bağlıdır. Bu sistem ısı işlem ortamında bulunan gazların cinsine ve oksijen basıncına bağlı olarak 600°C ’den 750°C ’ye kadar ortorombik-tetragonal faz geçişi gösterir (Speech vd., 1988). $\text{YBa}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15}$ yapı da $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ gibi oksijene duyarlıdır. Ancak çift zincirli $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ yapısının kritik sıcaklığı ($\sim 80\text{K}$) oksijen kaybına duyarlı değildir (Tallon vd., 1990).

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısının oksijen miktarına bağlı olarak hem ortorombik veya tetragonal yapıda olabilir. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısının oksijen miktarına göre örgü parametreleri ve bunlara ait bilgiler Şekil 18’te verilmektedir (Conder, 2001).

¹Bu başlık (Çelik, 2006) kaynağından faydalanılarak hazırlandı.



Şekil 18. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ yapısına ait bazı parametrelerin oksijen miktarına göre değişimi. (a) Kritik sıcaklık, (b) birim hücre hacmi, (c) Ortorombiklik, (d) a örgü parametresi, (e) b örgüparametresi ve (f) c örgü parametresi

1.12.1. YBCO süperiletkenlerin kristal yapıları²

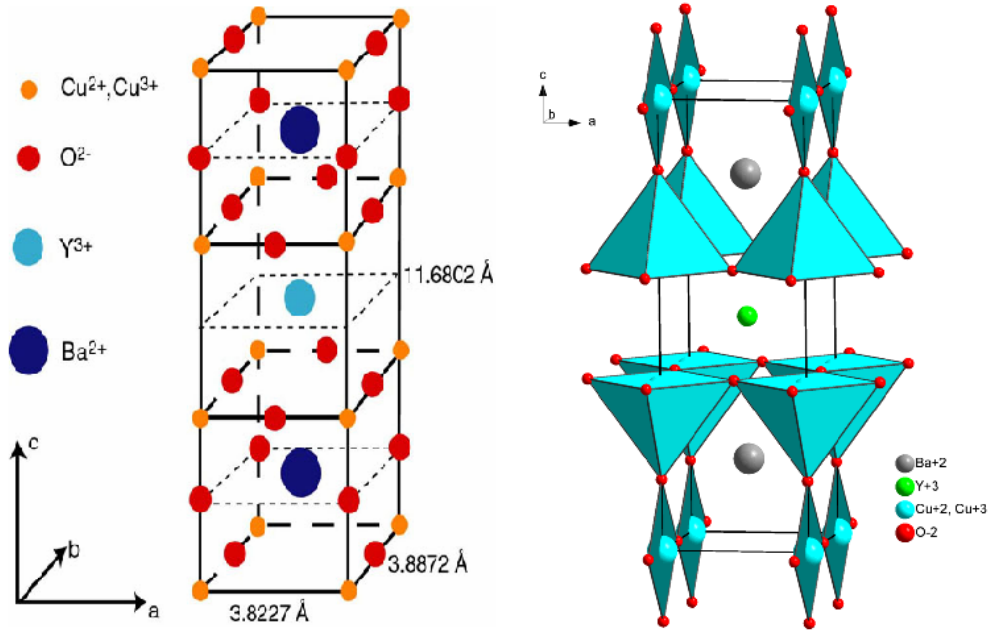
Yüksek sıcaklık süperiletkenleri arasında $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO), ilk sentezlenenlerden biri olup oldukça ayrıntılı bir şekilde çalışılmaktadır.

Tüm yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin, süperiletiminde baskın rol oynayan CuO_2 düzlemleridir. Diğer bileşenler CuO_2 düzlemlerinde yük yoğunluğunu düzenleyen yük deposu olarak davranırlar ve taşıyıcılar yalnızca bu düzlemler boyunca hareket ederler. YBCO'nun özel durumunda, her birim hücre, iki adet BaO tabakasıyla araya alınmış ve Y atomuyla ayrılmış iki adet CuO_2 düzlem içerir (Şekil 19).

Bileşik, mümkün iki yapıda bulunabilir. Bu yapılar, tetragonal ($a=b \neq c$) ve ortorombikdir ($a \neq b \neq c$). Bu yapıların oluşumu, hücre kenarlarındaki son Cu-O tabakalarındaki oksijen dağılımı ve miktarına bağlıdır. Düşük oksijen konsantrasyonu için ($\delta \leq 1$), birim hücredeki alt ve üst CuO_2 düzlemlerindeki bakır atomları arasında oksijen atomları rasgele dağılırlar. Bu durum tetragonal yapı oluşumuna öncülük eder. δ 'nın değeri sıfıra yakınsa, oksijen atomları bu tabakalardaki bakır atomlarının b-ekseni yönünde

²Bu başlık (Sarhan, M., 2011) kaynağından faydalanılarak hazırlandı.

aralarına düzenli bir şekilde yerleşerek ortorombik yapıyı oluştururlar. Bu durumda, CuO atomları düzlemden ziyade zincir oluşur ve CuO zinciri olarak adlandırılırlar.



Şekil 19. $YBa_2Cu_3O_7$ (YBCO) yapısı (Çelik, 2006)

YBCO örnekleri ile çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli şeylerden biri ise onları nemli havadan ve sudan korumaktır. Çünkü su, YBCO ile reaksiyon gerçekleştirip Y_2BaCuO_5 süperiletken olmayan faza dönüşür (Yan vd., 1987). Çözünmeyi önlemek için örnekler mümkün olduğu kadar kuru ortamda tutulmalıdır.

Diğer yüksek sıcaklık süperiletkenleri gibi YBCO da II. tip süperiletkenlerdendir. CuO_2 düzlemleri boyunca taşıyıcıların oluşturduğu manyetik akı, ab-düzleminde ve c-ekseninde farklı özelliklere sahiptir. Süperiletken YBCO'nun ana karakteristik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 'nin (YBCO) ab-düzlemi ve c-ekseni yönünde sıfır mutlak sıcaklıkta süperiletkenlik ana parametreleri. ξ , koherens uzunluğu; λ , manyetik alan girme derinliği; H_c , termodinamik kritik manyetik alan; J_c , kritik akım yoğunluğu; H_{c1} ve H_{c2} ise sırasıyla alt ve üst kritik manyetik alan değerleri (Ginsberg, 1994; Poole, 2000)

Parametreler		ab - düzlemi	c - eksen
$\xi(0)$	(nm)	1,5 - 4,3	0,3 - 0,7
$\lambda(0)$	(nm)	100 - 140	500 - 800
$H_c(0)$	($10^4 Oe$)	1 - 3	1 - 3

$J_c(0)$	(A/cm ²)	3 - 12.10 ⁸	5 - 25.10 ⁷
$H_{c1}(0)$	(Oe)	20 - 230	80 - 90
$H_{c2}(0)$	(10 ⁴ Oe)	230 - 624	70 - 112

1.13. Manyetik Kaldırma Kuvveti

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin keşfinden sonra yüksek kaldırma kuvvetine sahip YBCO külçe süperiletkenlerinin; manyetik diskler (Yang vd., 2002), havada dönen çarklar, motorlar (Yang vd., 2002) ve manyetik olarak havaya kaldırılmış taşıma sistemleri (MagLev trenler) gibi pratik uygulamaları üzerinde birçok bilim adamı çalışmaktadır.

$$\text{Kaldırma kuvveti tek boyutta (z) düşünülürse } F = m \frac{dH}{dx}, m = Mv \text{ ve } M = AJ_c r$$

şeklinde verilir. Burada; m, süperiletkenin toplam manyetik momenti; dH/dx, dış alan tarafından üretilen manyetik alanın aksenal yöndeki değişim hızı; M, birim hacimdeki magnetizasyon; A, örnek geometrisine bağlı bir sabit; J_c , süperiletkenin kritik akım yoğunluğu; r ise perdeleme akım ilmeğinin yarıçapıdır. Görüldüğü gibi dH/dx, J_c ve r ne kadar büyük olursa kaldırma kuvveti de o kadar büyük olur. Büyük J_c ve r değerleri de örnek içerisindeki akı çivileme merkezlerinin güçlü olmasına bağlıdır (Yang vd., 2001).

Kritik akım yoğunluğu ve magnetin manyetik alan dağılımı dışında kaldırma kuvvetini etkileyen birçok parametre vardır. Bunlardan bazıları; tanecik yarıçapı, tanecik yönelimi (Yang vd., 2003), örneğin kalınlığı, süperiletken-magnet arasındaki mesafe (Yang vd., 2002) ve soğutma mesafesidir. YBCO külçe süperiletkenleri kullanılarak yapılan bir çalışmada soğutma mesafesinin 7 cm'den 0,8 cm'ye azaltılmasıyla maksimum kaldırma kuvvetinin de 74 N'dan 48 N'a düştüğü görüldü (Yang vd., 2003). Ayrıca kaldırma kuvveti ölçümü sırasında magnet ile süperiletken malzeme arasındaki mesafe azaldıkça kaldırma kuvvetinde bir artış gözlemlendi (Çelik, 2009). Süperiletken örneğin kalınlığı arttıkça kaldırma kuvveti de artmaktadır (Yamachi vd., 2003).

Kaldırma kuvvetinin tayini için üç önemli faktör vardır. Bunlar; örnek içindeki süperiletken tane (domain) büyüklüğü, uygulanan manyetik alana bağlı olarak domainlerin yönelimleri ve mikroyapısal kusurlardan kaynaklanan tanecikler arası çivileme mekanizmasıdır. Yapılan bir diğer çalışmada yüksek erime fazına sahip Nd123 çekirdekleri ile büyütülen YBCO tek kristalinin yüksek kaldırma kuvveti gösterdiği gözlemlendi (Todt, 1994).

Tek kristal YBCO külçe örneklerinde tanecik yöneliminin kaldırma kuvveti üzerindeki etkisi sıvı azot sıcaklığında incelendiğinde kaldırma kuvvetinin, uygulanan dış manyetik alan (H) yönüyle değiştiği ve H alanının c-eksenine paralel olduğu durumda, c-eksenine dik olduğu durumdan üç kat daha büyük kaldırma kuvvetine sahip olduğu gösterildi (Yang vd., 1998). Ayrıca YBCO külçe süperiletkenlerinin hacmi, boyutu, şekli sabit kalırken tanecik sayısının artması, dolayısıyla tanecik boyutunun azalmasıyla kaldırma kuvvetinin azaldığı görüldü (Yang vd., 2002).

Magnet sayısı 1'den 12'ye arttıkça kaldırma kuvvetinin de 18,8 N'dan 49 N'a arttığı gözlemlendi. Bu da göstermektedir ki farklı magnet konfigürasyonlarında kaldırma kuvveti değeri de farklılaşmaktadır. Aynı çalışmada aynı sayıda magnet kullanıldığı halde manyetik kutupların küçülmesiyle kaldırma kuvvetinin arttığı da gözlemlendi (Yang vd., 2001).

Tek kristal $YBa_2Cu_3O_x$ süperiletkenlerinde oksijen verme sürecinin kaldırma kuvveti üzerindeki etkisi incelendiğinde örneğin hacminden bağımsız olarak oksijenle tavlamanın, 450 °C'de ve yaklaşık ilk 10 saatlik periyotta kaldırma kuvvetine bir etkisi olduğu belirlendi. Deneysel sonuçlar, yaklaşık 10 saatlik oksijenle tavlama sürecinin kaldırma kuvvetini artırdığını göstermektedir (Donglu, 1997).

Çok taneli ve tek taneli YBCO süperiletkenleri ile kaldırma kuvveti arasındaki ilişki incelendiğinde tek taneli YBCO süperiletkeninin kaldırma kuvvetlerinin toplamının çok taneli YBCO süperiletkeninin kaldırma kuvvetinden yaklaşık %5 kadar daha fazla bir değere sahip olduğu gözlemlendi (Yang vd., 2002).

Eritme yöntemi ile hazırlanan YBCO külçe süperiletkenleri, 77 K'de yüksek kritik akım yoğunluğu ve yüksek kritik manyetik alana sahip olduklarından yüksek kaldırma kuvvetine de sahiptirler (Wang vd., 2003). Bir başka çalışmada aynı yöntem ile hazırlanan YBCO + Pt süperiletkenlerinin Y123+Y211 süperiletkenlerinden daha yüksek kaldırma kuvvetine sahip olduğu gözlemlendi (Balachandran, 1993).

Üstten tohumlamalı büyütme yöntemi (TSMG) ile üretilen YBCO süperiletkenine farklı oranlarda Ca katkısı ve $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkenlerinde x katkı miktarı arttıkça süperiletkenlik geçiş sıcaklığının azaldığı görüldü (Lin, 2002).

Katıhal tepkime yöntemi düşük sıcaklıkta sinterlenen malzemeler için, MPMG yöntemi ise yüksek J_c değerleri ve tanecikler arası güçlü etkileşimler için oldukça uygundur (Çelik, 2009). MPMG yöntemi hazırlanan Sm123 ve katıhal tepkime yöntemi ile hazırlanan Yb211 örneklerinin belirli oranlarda katkılanmasıyla elde edilen $(Sm123)_1$.

$x(\text{Yb211})_x$ süperiletkenleri için x katkı miktarının kaldırma kuvvetleri üzerindeki etkisi incelendiğinde, x katkı miktarı arttıkça kaldırma kuvveti yoğunluğunun da arttığı görüldü. Bunun nedeni süperiletken olmayan Yb211 yapısının Sm123 tanecikleri arasında akı çivileme merkezleri olarak davranmasıdır. Ayrıca farklı sıcaklıklarda ($1080\text{ }^\circ\text{C}$, $1100\text{ }^\circ\text{C}$, $1120\text{ }^\circ\text{C}$) sinterlenen $(\text{Sm123})_{1-x}(\text{Yb211})_x$ süperiletkenleri arasında $1100\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sinterlenen örneğin en yüksek kaldırma kuvveti yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlendi (Çelik, 2009).

Yapılan başka bir çalışmada $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_{x/2}\text{Gd}_{x/2}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ süperiletkenleri üzerinde Yb 'nin difüzyon etkisi incelendi ve Yb123 yapısının ayrışma sıcaklığı Y123 ve Gd123 yapısının ayrışma sıcaklığından düşük olduğu için Yb123 yapısı, Y123 veya Gd123 yapısındaki taneciklerin birleşmesine neden olduğu görüldü (Çelik, 2009).

Üstten tohumlama (TSMG) yöntemi ile hazırlanmış PtO_2 , Ag_2O ve CeO_2 katkılı $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ külçe süperiletkenlerinin manyetik özellikleri incelendiğinde uygulanan manyetik alanın bir fonksiyonu olarak kritik akım yoğunlukları $J_c(B)$, sıcaklık ve alana bağlı gevşeme oranları olan $S(T)$ ve $S(B)$ türetildi. Bu sonuçlar üzerine farklı katkıların etkisi incelendi. Katkılı örneklerin (Pt , Ag , Ce katkılı) daha düşük gevşeme oranlarına ve daha yüksek kritik akım yoğunluklarına, dolayısıyla pratik uygulamalar için daha yüksek kaldırma kuvvetine sahip olduğu görüldü (Qin, 1999).

Farklı oranlarda $\text{Nd}_4\text{Ba}_2\text{Cu}_2\text{O}_{10}/\text{Sm}_2\text{Ba}_1\text{Cu}_2\text{O}_5$ katkılanmasıyla eritme yöntemi ile elde edilen Nd123 ve Sm123 süperiletkenlerinin fiziksel ve yapısal özellikleri incelendi ve 5 Tesla 'nın üzerindeki alanlar için kritik akım yoğunluğu ve kritik sıcaklık değerlerinden Nd123 ve Sm123 için farklı parametre değerleri elde edildi. Sm123 süperiletkenin yüksek kaldırma kuvvetine yol açan yüksek J_c değerine sahip olduğu, Nd123 süperiletkeninin ise üretiminin daha karmaşık ve henüz optimize edilmediği görüldü (Kaiser, 1998).

MSMP yöntemi ile çift çekirdekli YBCO süperiletkenlerinin hazırlanması esnasında çift çekirdek kullanılması 123 taneciklerinin büyümesi için gerekli olan zamanı kısaltırken tanecik sınırlarında tuzaklanmış manyetik alanını ve kaldırma kuvveti değerini azaltmaktadır. Tanecikler arasındaki zayıf bağların temel nedeni, artık bir erimenin var olmasıdır (Kim, 2001).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada ilk olarak, $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Sm123) yapısının en uygun sinterlenme sıcaklığının belirlenmesi için kalsine edilmiş Sm123 pelletleri $T=950, 975, 1000, 1025$ ve 1050°C 'lerde sinterlendi. Ölçülen manyetik levitasyonunun en yüksek olduğu sıcaklık sinterlenme sıcaklığı olarak belirlendi ve tüm x katkı oranlarına sahip örnekler için bu sinterlenme sıcaklığı uygulandı. $\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (SmNd123) yapısına sahip her $x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve 1.0 katkıları için ikişer adet örnekler üretildi. Örneklerin biriyle XRD ölçümü yapıldıktan sonra farklı manyetik alanlarda (0-1,5T) sıcaklığa göre direnç ölçümleri, SEM ve EDS ölçümleri yapıldı. Diğer örnek ise manyetik levitasyon ölçümleri için kullanıldı. Tüm ölçümler bu bölüm altında alt başlıklarıyla birlikte verilmektedir.

2.2. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ve $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Süperiletken örneklerin üretilmesi

Sm123 ve SmNd123 örneklerinin hepsi katıhal tepkime yöntemiyle üretildi. Bu yöntem toz hazırlama, kalsinasyon, sinterlenme ve oksijen verme olarak alt başlıklar altında incelenecektir.

2.2.1. Toz Örneklerin Hazırlanması

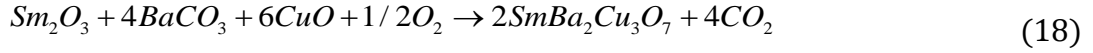
Başlangıç bileşenlerini elde etmek için kullanılan oksit tozlarının molekül ağırlıkları ve saflık değerleri Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5. Başlangıç bileşenlerini oluşturmak için kullanılan oksit tozların molekül ağırlıkları ve saflık dereceleri

Bileşimin adı	Kimyasal formülü	Molekül ağırlığı (gr / mol)	Saflık derecesi (%)
Samaryum Oksit	Sm_2O_3	348,7	99,999
Neodyum Oksit	Nd_2O_3	336,5	99,99
Baryum Karbonat	BaCO_3	197,34	99,997
Bakır Oksit	CuO	79,545	99,9995

2.2.1.1. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin toz örneklerinin hazırlanması:

50g'lık $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısına ait Sm_2O_3 , BaCO_3 ve CuO oksit tozları stokiyometrik oranlarda hassas terazi ile tartıldı. Değerler Tablo 6'de ve $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ için kimyasal reaksiyon formülü Denklem 18'de verilmektedir:



Tablo 6. 50g'lık $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeni için oksit bileşenlerinin miktarları

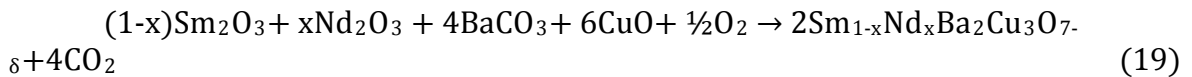
Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm_2O_3	11,9811
BaCO_3	27,1197
CuO	16,3977

$\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin üretimi için gerekli oksit tozları 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazi yardımıyla tartıldı. Tozlar agad havanında 180 dakika el ile karıştırıldı. Öğütülen tozların her biri alümina (Al_2O_3) potaya konarak kalsinasyon işlemine hazır hale getirildi.

2.2.1.2. $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin toz örneğinin hazırlanması:

$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin üretiminde her bir x katkısı için 6 gramlık toz karışımı oluşturuldu. Sm_2O_3 , Nd_2O_3 , BaCO_3 ve CuO tozları stokiyometrik oranlarda hassas terazi ile tartıldı. Stokiyometrik oranlara karşılık gelen miktarlar her x katkısı için aşağıda tablolar halinde verilmektedir.

$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısı için Denklem 19'deki kimyasal reaksiyon formülü kullanıldı.



$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısında $x=0.0$ için ($\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$) stokiyometrik oranlar Tablo 7'da verilmektedir.

Tablo 7. $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletken yapısında $x=0.0$ için $(\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})$ oksit bileşenlerinin miktarları

Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm_2O_3	1,43773
Nd_2O_3	0
BaCO_3	3,25436
CuO	1,96773

$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısında $x=0.2$ için $(\text{Sm}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})$ stokiyometrik oranlar Tablo 8’de verilmektedir;

Tablo 8. $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletken yapısında $x=0.2$ için $(\text{Sm}_{0.8}\text{Nd}_{0.2}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})$ oksit bileşenlerinin miktarları

Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm_2O_3	1,18344
Nd_2O_3	0,12237
BaCO_3	3,34846
CuO	2,02462

$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ yapısında $x=0.4$ için $(\text{Sm}_{0.6}\text{Nd}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})$ stokiyometrik oranlar Tablo 9’de verilmektedir;

Tablo 9. $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletken yapısında $x=0.4$ için $(\text{Sm}_{0.6}\text{Nd}_{0.4}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta})$ oksit bileşenlerinin miktarları

Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm_2O_3	0,91400
Nd_2O_3	0,25203
BaCO_3	3,44816
CuO	2,08491

(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} yapısında x=0.6 için (Sm_{0.4}Nd_{0.6}Ba₂Cu₃O_{7-δ}) stokiyometrik oranlar Tablo 10’da verilmektedir;

Tablo 10. (Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} süperiletken yapısında x=0.6 için (Sm_{0.4}Nd_{0.6}Ba₂Cu₃O_{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları

Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm ₂ O ₃	0,62804
Nd ₂ O ₃	0,38966
BaCO ₃	3,55398
CuO	2,14889

(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} yapısında x=0.8 için (Sm_{0.2}Nd_{0.8}Ba₂Cu₃O_{7-δ}) stokiyometrik oranlar Tablo 11’da verilmektedir;

Tablo 11. (Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} süperiletken yapısında x=0.8 için (Sm_{0.2}Nd_{0.8}Ba₂Cu₃O_{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları

Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm ₂ O ₃	0,32396
Nd ₂ O ₃	0,53599
BaCO ₃	3,66650
CuO	2,21693

(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} yapısında x=1.0 için (NdBa₂Cu₃O_{7-δ}) stokiyometrik oranlar Tablo 12’de verilmektedir;

Tablo 12. (Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} süperiletken yapısında x=1.0 için (NdBa₂Cu₃O_{7-δ}) oksit bileşenlerinin miktarları

Kimyasal Formül	Kütlesi (gr)
Sm ₂ O ₃	0
Nd ₂ O ₃	0,69187
BaCO ₃	3,78638
CuO	2,28941

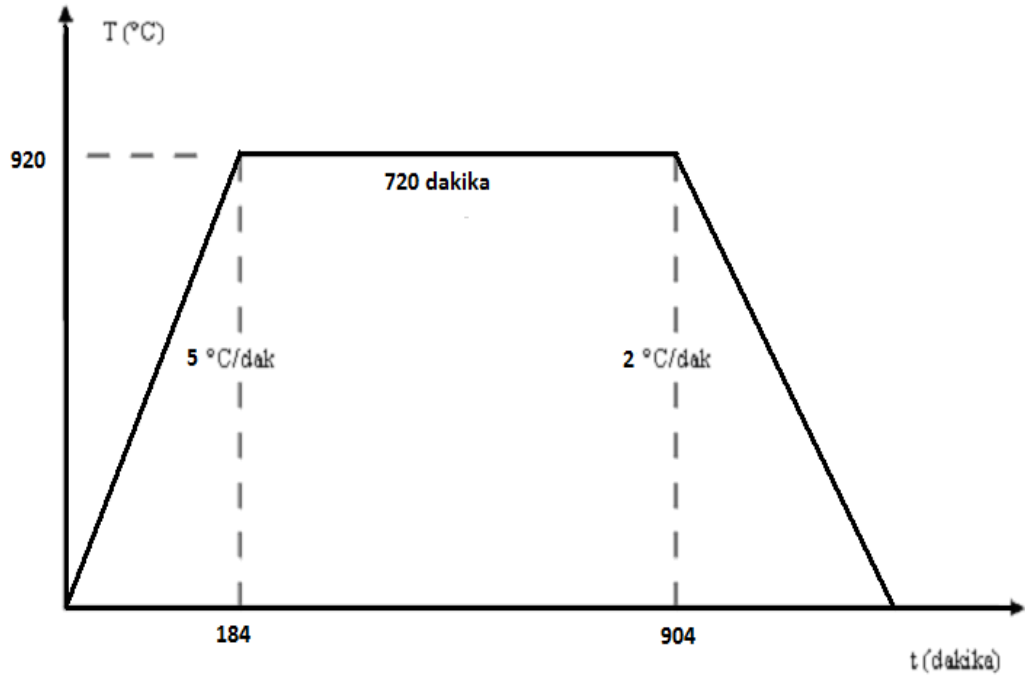
(Sm_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_{7-δ} süperiletkeninin üretimi için gerekli oksit tozları 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazi yardımıyla tartıldı. Her bir örnek için tozlar ayrı ayrı karıştırılarak agad havanında 120 dakika el ile karıştırıldı. Öğütülen tozların her biri alümina (Al₂O₃) potaya konarak kalsinasyon işlemine hazır hale getirildi.

2.2.2. SmBa₂Cu₃O_{7-δ} Süperiletkeninin Hazırlanması

SmBa₂Cu₃O_{7-δ} süperiletkeni katıhal tepkime yöntemi ile hazırlandı. Isıl işlemlerin tamamı Protherm marka programlanabilir tüp fırın içinde gerçekleştirildi.

2.2.2.1. Kalsinasyon işlemi

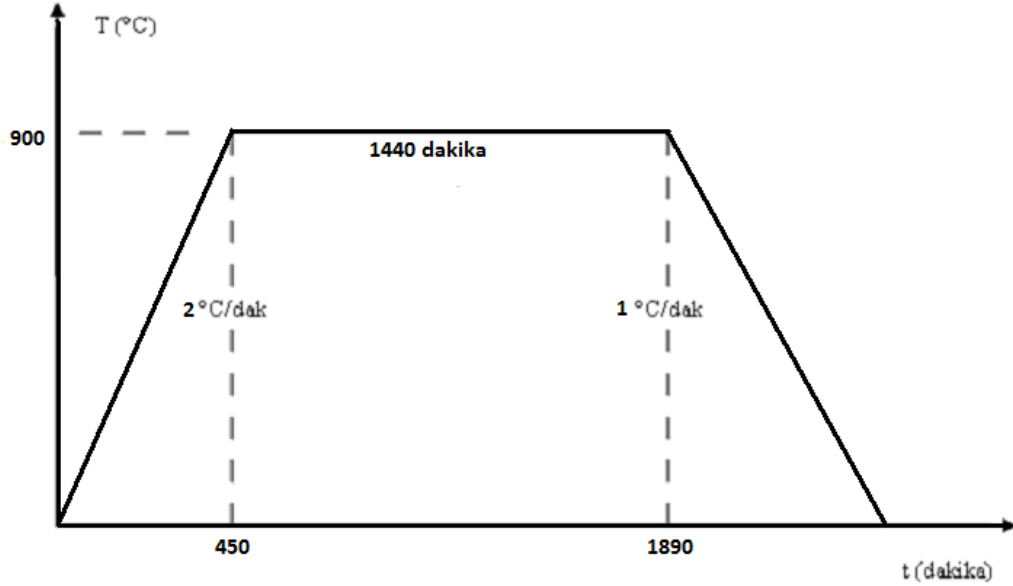
Öğütülen tozlar, alümina (Al₂O₃) potaya konarak tüp fırın içine yerleştirildi. Fırın, oda sıcaklığından 920 °C'ye 9 °C/dak hızla ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 12 saat bekletilen örnekler 9 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Böylece 1. kalsinasyon işlemi tamamlandı. 1. kalsinasyon işleminin şematik diyagramı Şekil 20'de gösterilmektedir.



Şekil 20. SmBa₂Cu₃O_{7-δ} süperiletkeninin 1. kalsinasyon işlemi için sıcaklık-zaman grafiği

Oda sıcaklığına soğutulan örnekler agad havanında elle 60 dakika, öğütüldü. Karıştırılan tozlar, 2. kalsinasyon işlemi için hazır hale getirildi.

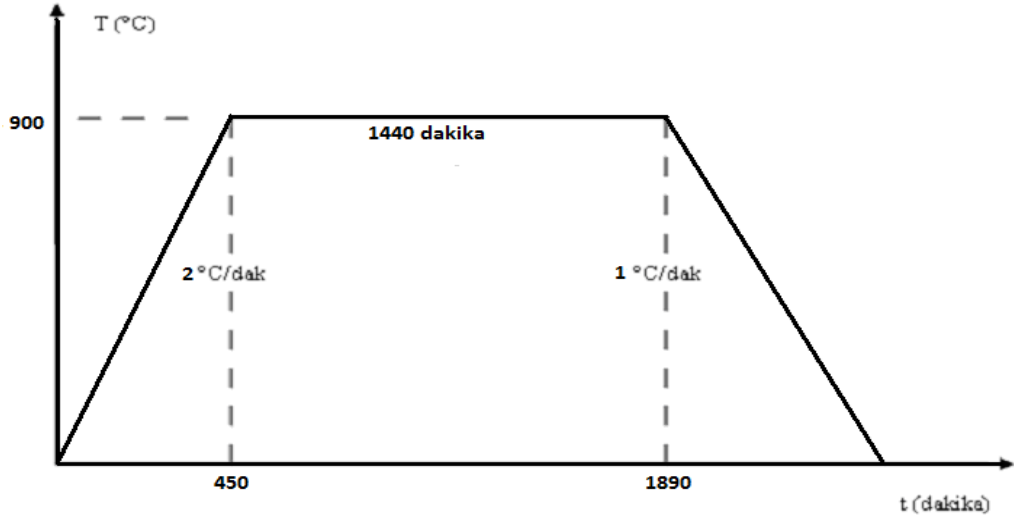
2. kalsinasyon işlemi için öğütülen tozlar alümina potaya konarak tüp fırın içine yerleştirildi. Fırın, oda sıcaklığından 900 °C'ye 2 °C/dak hızla ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 24 saat bekletilen örnekler 1 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Böylece 2. kalsinasyon işlemi de tamamlandı. 2. kalsinasyon işleminin şematik diyagramı Şekil 21'de gösterilmektedir.



Şekil 21. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin 2. kalsinasyon işlemi için sıcaklık-zaman grafiği (tamamen oksijen ortamında)

Oda sıcaklığına soğutulan örnekler agad havanında elle 60 dakika, öğütüldü. Karıştırılan tozlar, 3. kalsinasyon işlemi için hazır hale getirildi.

3. kalsinasyon işlemi için öğütülen tozlar alümina potaya konarak tüp fırın içine yerleştirildi. Fırın, oda sıcaklığından 900 °C'ye 2 °C/dak hızla ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 24 saat bekletilen örnekler 1 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Böylece 3. kalsinasyon işlemi de tamamlandı. 3. kalsinasyon işleminin şematik diyagramı Şekil 22'de gösterilmektedir.

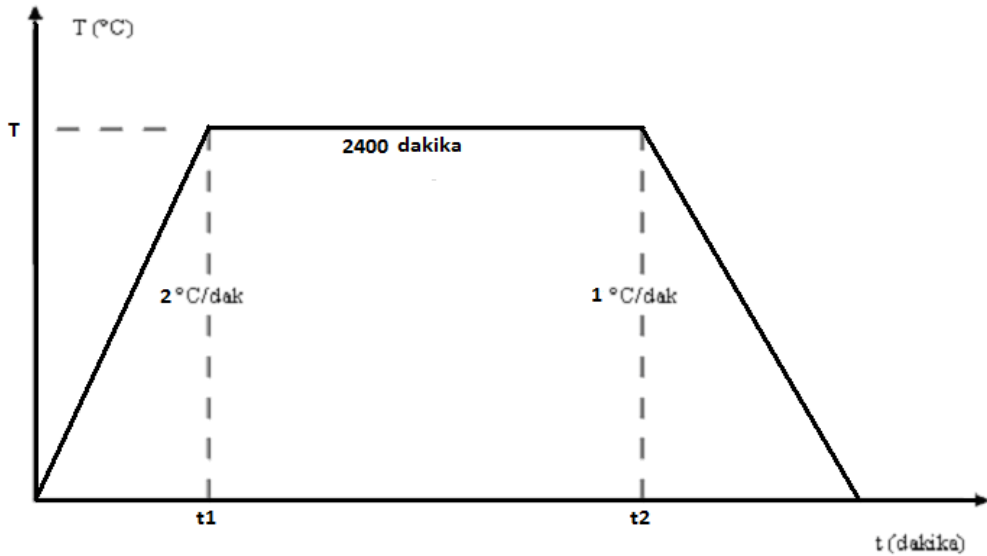


Şekil 22. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin 3.kalsinasyon işlemi için sıcaklık–zaman grafiği (tamamen oksijen ortamında)

Oda sıcaklığına soğutulan örnekler önce ağıd havanında elle 120 dakika, öğütüldü. Karıştırılan tozlar, sinterleme işlemi için hazır hale getirildi.

2.2.2.2. Sinterleme işlemi

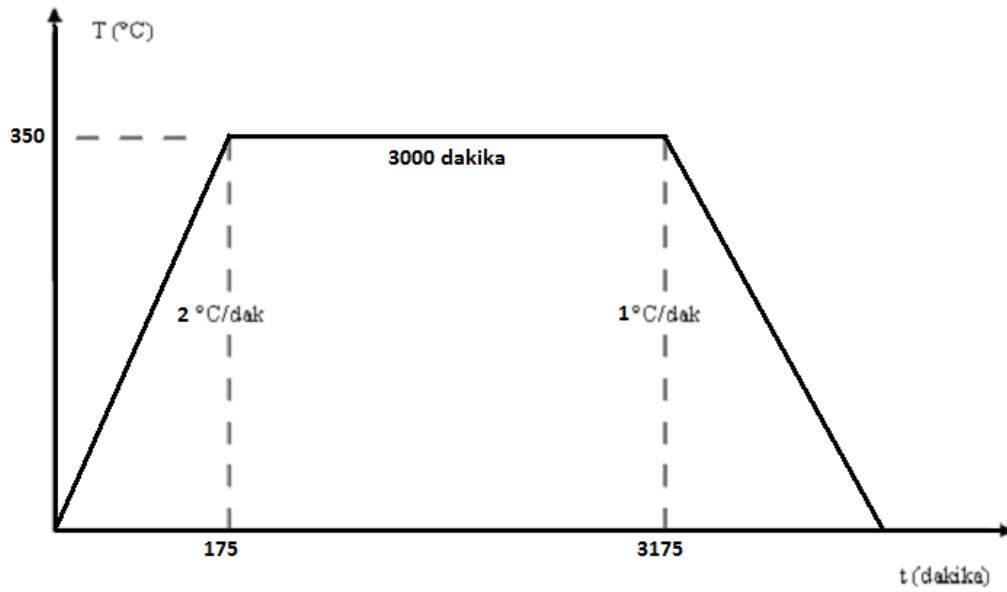
Sinterleme işlem için öğütülen tozlar 3'er gram tartılarak yaklaşık 140 MPa basınç altında preslenerek 13 mm çapında peletler haline getirildi ve peletler programlanabilir tüp fırın içine yerleştirildi. Fırın, 2 °C/dak hızla oda sıcaklığından $T = 950, 975, 1000, 1025$ ve 1050°C 'lere ayrı ayrı çıkartıldı. Bu sıcaklıkta 2400 dakika bekletildi ve 1 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu (Şekil 23).



Şekil 23. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin sinterleme işlemi için sıcaklık–zaman grafiği (tamamen oksijen ortamında).

2.2.2.3. Oksijen verme işlemi

Sinterlenen örnekler son aşama olarak Şekil 24’da gösterildiği gibi oksijen verme işlemi gerçekleştirildi. Örneklerin hepsi birlikte fırına yerleştirildi. Fırının programı başlatıldı ve oksijen vermeye başlandı. Fırın 2 °C/dak hızla oda sıcaklığından 350 °C’ye ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 50 saat oksijen ortamında bekletildi. Fırın, 2 °C/dak hızla ve oksijen ortamında oda sıcaklığına soğutuldu. Böylece farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Sm123) süperiletkenleri elde edildi.



Şekil 24. $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeninin oksijen verme işlemi için sıcaklık–zaman grafiği

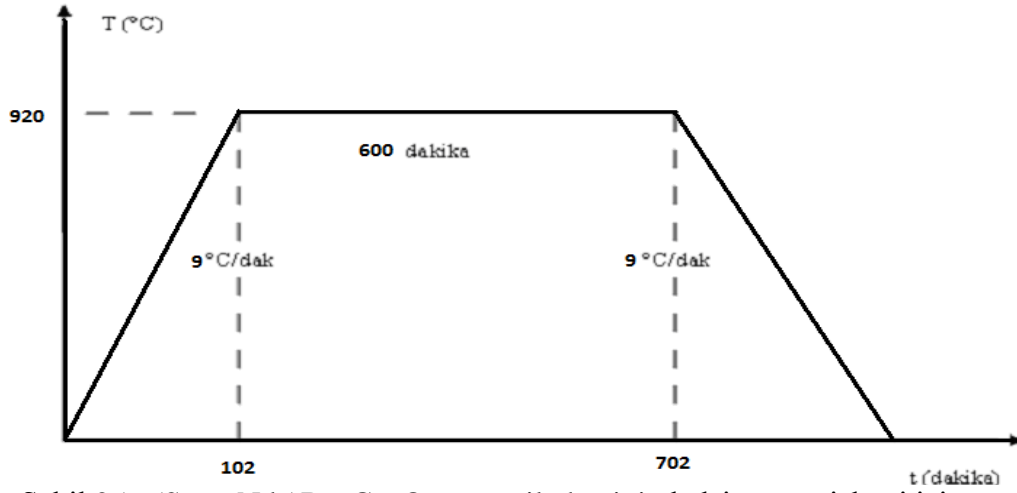
Üretilen $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkenlerinin magnetik özelliklerine bakılarak $\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeni için en optimum sinterleme sıcaklığı belirlendi.

2.2.3. $(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Süperiletkeninin Hazırlanması

$(\text{Sm}_{1-x}\text{Nd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletkeni katıhal tepkime yöntemi ile hazırlandı. Isıl işlemlerin tamamı Protherm marka programlanabilir tüp fırın içinde gerçekleştirildi.

2.2.3.1. Kalsinasyon işlemi

Her bir x katkısı için hazırlanıp öğütülen tozlar, alümina (Al_2O_3) potaya konarak tüp fırın içine ayrı ayrı yerleştirildi. Fırın, oda sıcaklığından 920 °C’ye 9 °C/dak hızla ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 10 saat bekletilen örnekler 9 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Böylece 1. kalsinasyon işlemi tamamlandı. 1. kalsinasyon işleminin şematik diyagramı Şekil 25’de gösterilmektedir.

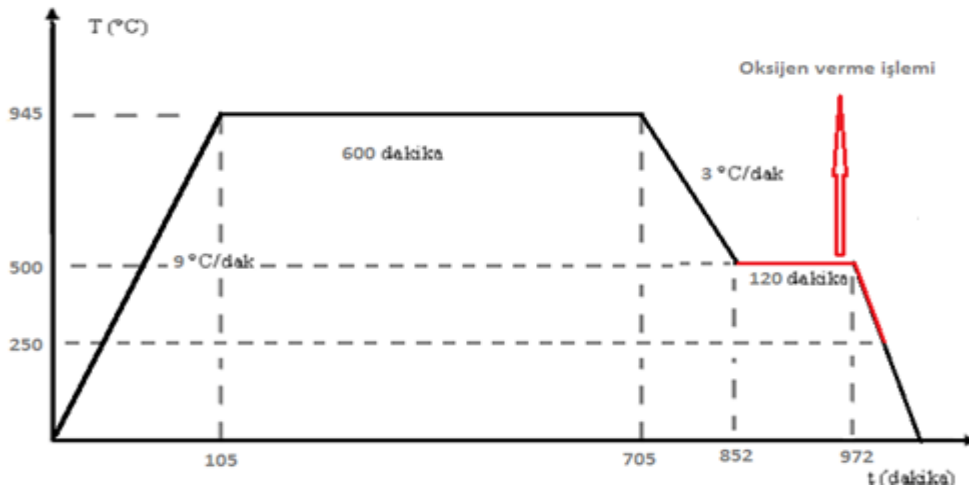


Şekil 25. $(Sm_{1-x}Nd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkeninin kalsinasyon işlemi için sıcaklık–zaman grafiği (tamamen oksijensiz ortamda)

Oda sıcaklığına soğutulan örnekler agad havanında elle 90 dakika, öğütüldü. Karıştırılan tozlar, sinterleme işlemi için hazır hale getirildi.

2.2.3.2. Sinterleme işlemi

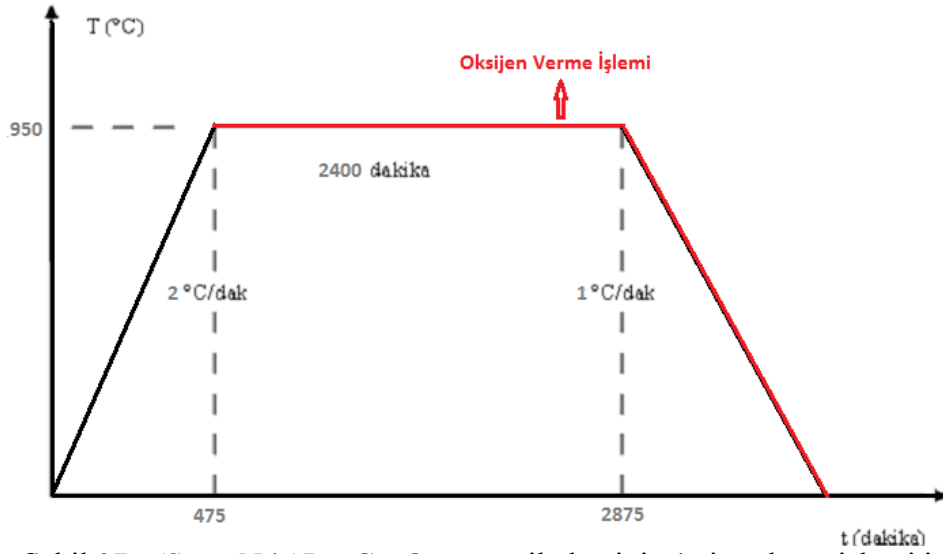
Sinterleme işlem için öğütülen tozdan 4 gram ve 1,5 gram tartılarak yaklaşık 140 MPa basınç altında preslenerek 13 mm çapında peletler haline getirildi ve 1. sinterleme işlemi için peletler programlanabilir tüp fırın içine yerleştirildi. Fırın, 9 °C/dak hızla oda sıcaklığından 945 °C çıkartıldı. Bu sıcaklıkta 600 dakika bekletildi sonra 3 °C/dak hızla 500 °C'ye düşürüldü ve bu sıcaklıkta 120 dakika bekletildi daha sonra 1 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu (Şekil 26).



Şekil 26. $(Sm_{1-x}Nd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkeninin 1. sinterleme işlemi için sıcaklık–zaman grafiği

Oda sıcaklığına soğutulan örnekler önce agad havanında elle 90 dakika, öğütüldü. Karıştırılan tozlar, 2.sinterleme işlemi için hazır hale getirildi.

2. sinterleme işlem için öğütülen tozdan 4 gram ve 1gram tartılarak yaklaşık 140MPa basınç altında preslenerek 13 mm çapında peletler haline getirildi ve 2.sinterleme işlemi için peletler programlanabilir tüp fırın içine yerleştirildi. Fırın, oksijen ortamında 2 °C/dak hızla oda sıcaklığından 950 °C çıkartıldı. Bu sıcaklıkta 2400 dakika bekletildi ve 1 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu (Şekil 27).

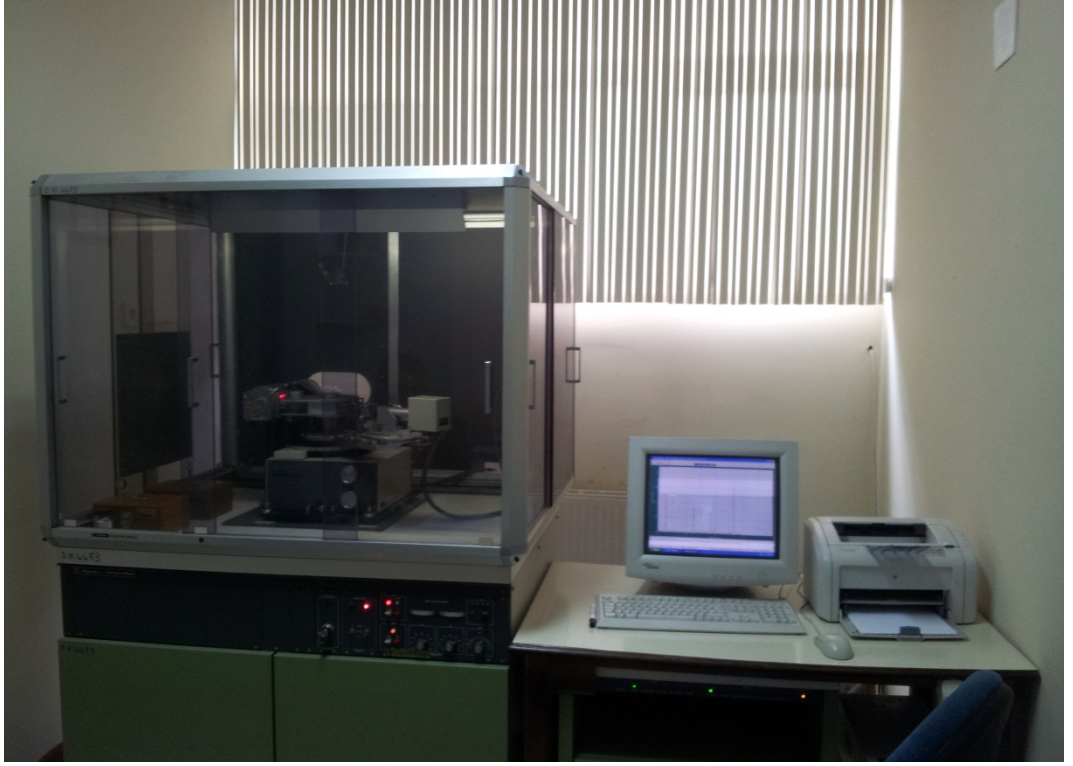


Şekil 27. $(Sm_{1-x}Nd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ süperiletkeninin 1.sinterleme işlemi için sıcaklık-zaman grafiği

Aynı ısıl işlem, serideki her bir katkıya aynı şartlarda ayrı ayrı uygulandı.

2.3. X-Işın Kırınım Ölçümler

Rigaku D/Max-III C difraktometresinde $Cu-K_{\alpha}$ X ışını kullanılan ölçüm sistemi Şekil 28'da görülmektedir. Ölçümler için, çalışma voltajı ve akımı 30 kV ve 20mA olarak seçildi. Ayrıca ölçümler esnasında $2\theta = 20^{\circ} - 60^{\circ}$ aralığı 2 °/dak hızla tarandı.



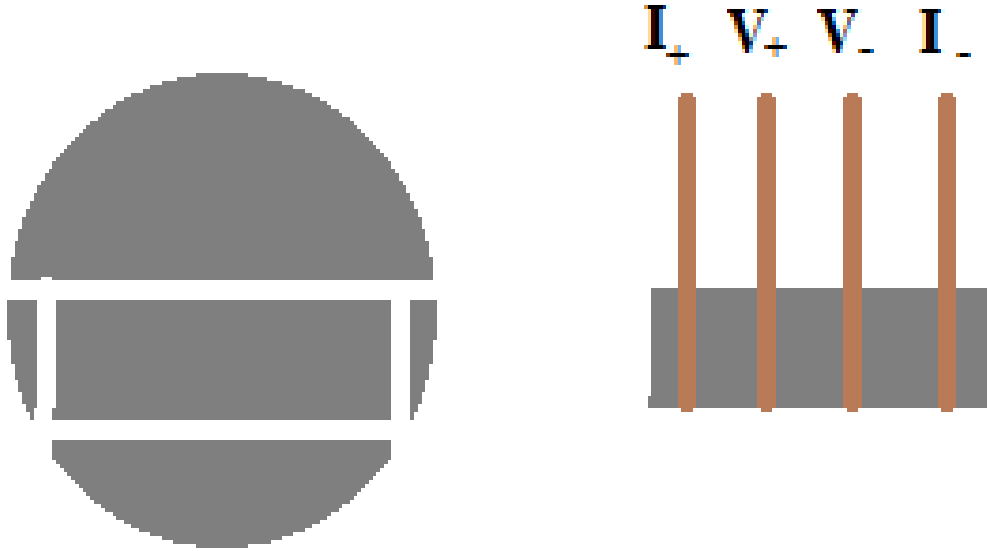
Şekil 28. X-ışını kırınım sistemi

2.4. Direnç Ölçümleri

Direnç ölçüm sistemi, 4–325 K aralığında çalışan kapalı devre He Kryostat sistemi, kapalı devre su soğutma sistemi, yaklaşık 10^{-6} torr mertebesine kadar vakum alabilen turbo moleküler pompa, Lakeshore 332S sıcaklık kontrolcüsü, Keithley AC ve DC akım kaynağı, Keithley Nanovoltmetre'den oluşmaktadır. Direnç ölçümleri bilgisayar programı tarafından kontrol edilerek yapıldı. Ölçüm sistemi Şekil 29'de gösterilmektedir. Direnç ölçümü yapılmadan önce hazırlanan serinin 1 gramlık örnekleri Metkon Mikrocut model 150 kesici ile 2,5 mm genişliğinde kesildi (Şekil 30). Kesilen örnekler gümüş pasta ile bakır teller kullanılarak dört nokta kontak yapıldı. Kontaktları yapılan örnekler kryostat üzerindeki örnek tutucuya yerleştirildi. Direnç ölçümü farklı alanlarda ($H=0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25$ ve 1.50 Tesla) gerçekleştirildi. Alanlı direnç ölçümü 10–150 K sıcaklık aralığında gerçekleşti. Ölçümlerde uygulanan akım 5mA olarak seçildi.



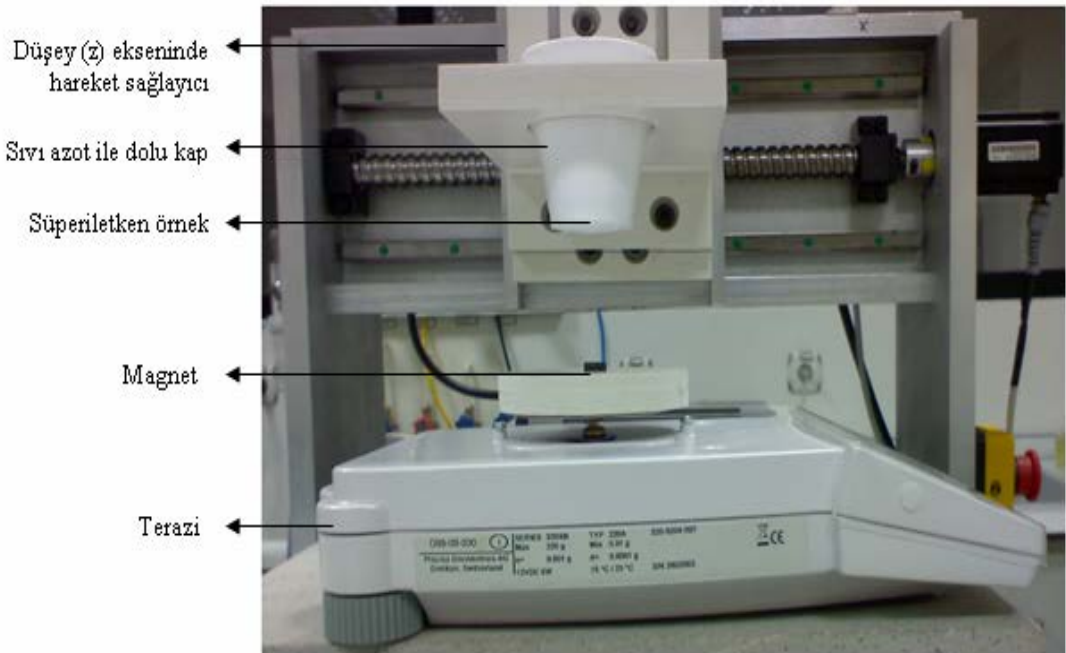
Şekil 29. Direnç ölçüm sistemi



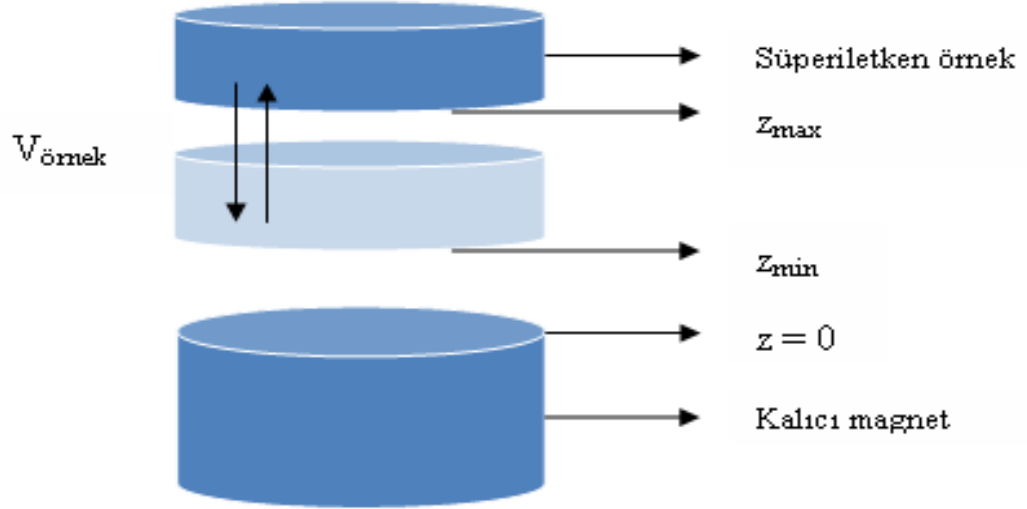
Şekil 30. Örneklerin kesilmesi ve dört nokta yöntemi ile kontak yapılmasının şematik gösterimi.

2.5. Manyetik Levitasyon Kuvvet Ölçümleri

Manyetik levitasyon ölçüm sistemi, üç eksende hareket edebilen bir sistemdir. Üç ayrı step motoruna sahip 3 eksende hareket edebilen sistemin xy–düzlemine hassas terazi yerleştirildi ve terazinin kefesinin tam orta noktasına ise yüksekliği 9.5 mm ve çapı 12.6 mm olan silindirik geometriye sahip mıknatıs konuldu. z–düzlemindeki hareketli kol üzerine, yüksekliği yaklaşık 6 mm ve çapı 13 mm olan silindirik geometriye sahip süperiletken örneğin içinde bulunduğu sıvı azot doldurulmuş kabın yerleştirilebileceği bir düzenek monte edildi (Şekil 31). Ayrıca sıvı azot dolu kabın içindeki süperiletken örneğin, hareket etmemesi ve kabın tabanının tam orta noktasında durabilmesi için bir numune tutucu oluşturulup yerleştirildi. Böylece süperiletken örnek ve mıknatıs aynı eksen doğrultusunda olmaları sağlandı (Şekil 32). Manyetik kaldırma kuvveti ölçümleri, hazırlanan serinin 4 gramlık örnekleri ile yapıldı. Soğutma işlemi, süperiletken örneğin taban yüzeyi ile mıknatıs üst yüzeyi arasındaki mesafe (z_{max}) 50 mm iken kaba sıvı azot konularak gerçekleştirildi. Ölçümlerde mıknatıs sabit tutulup, süperiletken örnek hareket ettirildi. Süperiletken örnekler farklı hızlarda ($v_{örnek}=0.5681, 0.3759, 0.1960, 0.1558, 0.1063$ ve 0.0973 mm/s) ve minimum yaklaştırma mesafesinde ($z_{min}=1$ mm) magnete yaklaştırılıp uzaklaştırılarak manyetik kaldırma kuvvetleri, oluşturulan program yardımıyla 0,25 mm’lik adımlarla ölçüldü ve ölçüm sonuçları süperiletken örneğin hacmine bölünerek manyetik kaldırma kuvvet yoğunluğu program tarafından hesaplandı.



Şekil 31. Manyetik kaldırma kuvveti ölçüm sistemi



Şekil 32. Manyetik kaldırma kuvveti ölçümü sırasında süperiletken örnek ile magnet arasındaki mesafe ilişkisinin örnek hareketinin şematik gösterimi.

2.6. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ile Ölçümler

Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi, yüksek gerilim altında hızlandırılmış elektronlar malzeme yüzeyine çarparak, yüzeyden ışınların yansıyıp dedektör tarafından algılanması prensibine dayanır. Yansıyan elektronlar ve buna bağlı olarak ortaya çıkan x-ışınları kullanılarak yüzeyin topografisi elde edilir. Bu oluşturulan topografi sayesinde, örneklerin yüzey yapıları, içerdikleri fazlar ve taneciklerin yapı içerisindeki düzeni hakkında bilgi edinilebilir.

SEM görüntüleri, Abant İzzet Baysal Üniversitesinde bulunan Şekil 33'de gösterilen JEOL JSM-6390L marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak 20 kV çalışma voltajında, 300, 1000 ve 3000 kat büyütme ile alındı.



Şekil 33. JEOL JSM-6390L model taramalı elektron mikroskobu.

2.7. Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS) ile Ölçümler

Elektron mikroskobundan gönderilen elektron demeti numune yüzeyine çarparak yüzeyindeki atomlar ile etkileşime girmesi sonucunda farklı dalga boylarında x-ışınları oluşturur. X-ışınları her element üzerinden farklı dalga boyunda ve açıda saçılırlar. Bu ışınlar dedektöre ulaşır ve ışınların dalga boyları ve açıları dedektör tarafından belirlenerek verileri bilgisayara aktarılır. Bu veriler bir bilgisayar yazılımı tarafından elde edilir.

Üretilen numunelerin nokta analizi ve % olarak atomik dağılımların belirlenmesi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi'nde bulunan JEOL JSM-6390L marka taramalı elektron mikroskobuna ilave edilmiş Şekil 34'te gösterilen "EDS2006 Model 550i IXRF System" marka bir dedektör kullanılarak yapıldı.



Şekil 34. EDS2006 Model 550i IXRF System isimli EDS cihazı

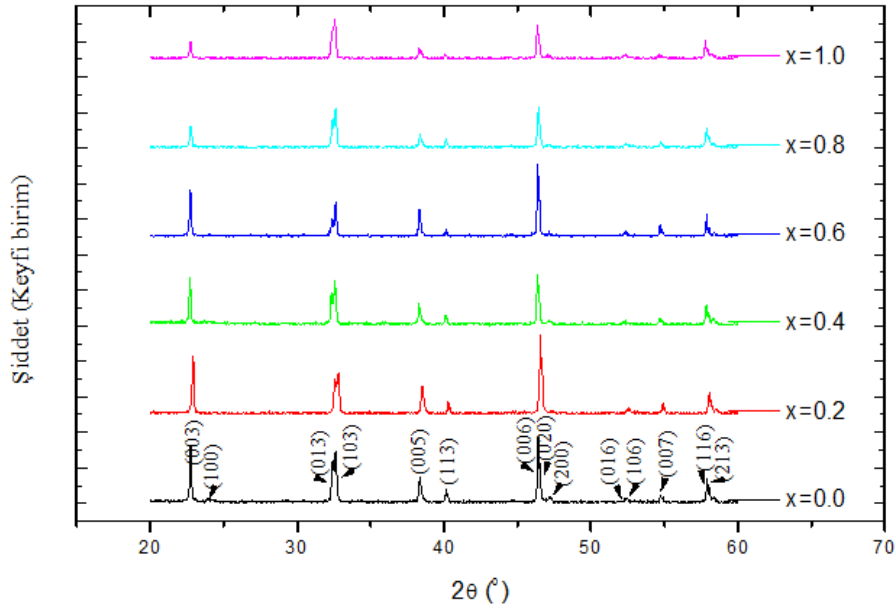
3. BULGULAR

3.1. Giriş

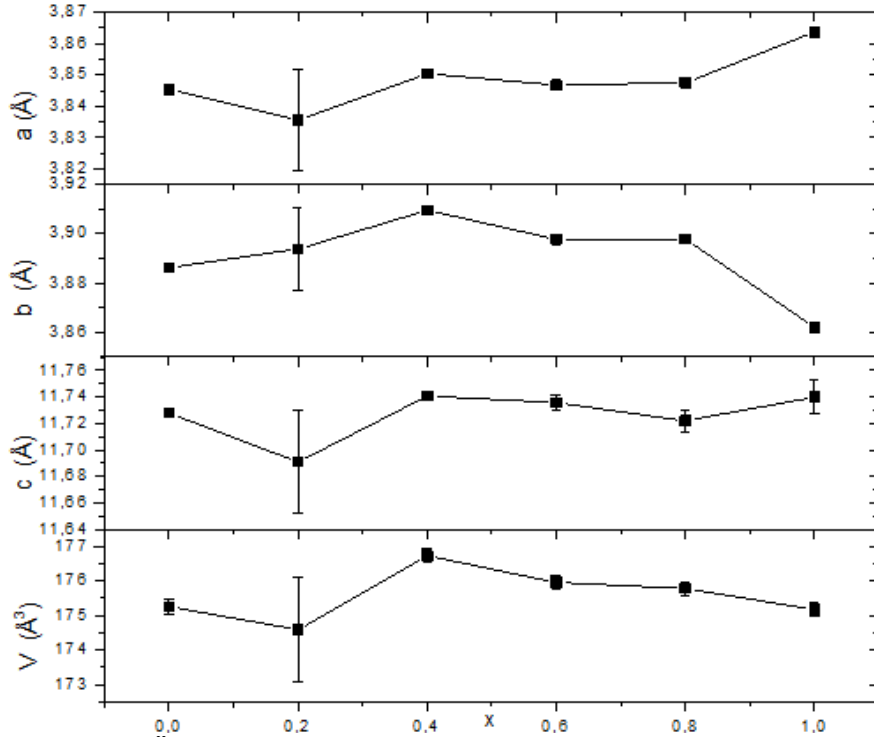
(Sm_{1-x}Nd_x)₁₂₃ süperiletkeni için x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1.0 serisi katıhal tepkime yöntemi ile hazırlandı. Üretilen örneklerin elektriksel, manyetiksel ve yapısal özellikleri incelendi. XRD'den elde edilen kırınım desenlerinden örneklerin içerdiği fazlar ve örgü parametreleri tespit edildi. Sıcaklığa göre direnç değerleri manyetik alan yokken (Zero FieldCooling) ve manyetik alan varken ölçülerek kritik geçiş sıcaklığı ve katkının kritik geçiş sıcaklığına etkisi incelendi. Her bir katkının farklı hızlarda manyetik kaldırma kuvveti ölçüldü ve katkının manyetik kaldırma kuvveti üzerindeki etkisi incelendi. Elde edilen sonuçlar diğer çalışmalardaki sonuçlar ile kıyaslandı.

3.2. XRD Analiz Sonuçları

XRD ölçüm sonuçlarının kaydırılmış halde görünümü Şekil 35'te olup, aynı şekilde pik açıları ve hkl değerleri göz önüne alınarak yapılan hesaplama sonucunda örgü parametreleri ve hücre hacmi değerleri Şekil 36'da gösterilmektedir.



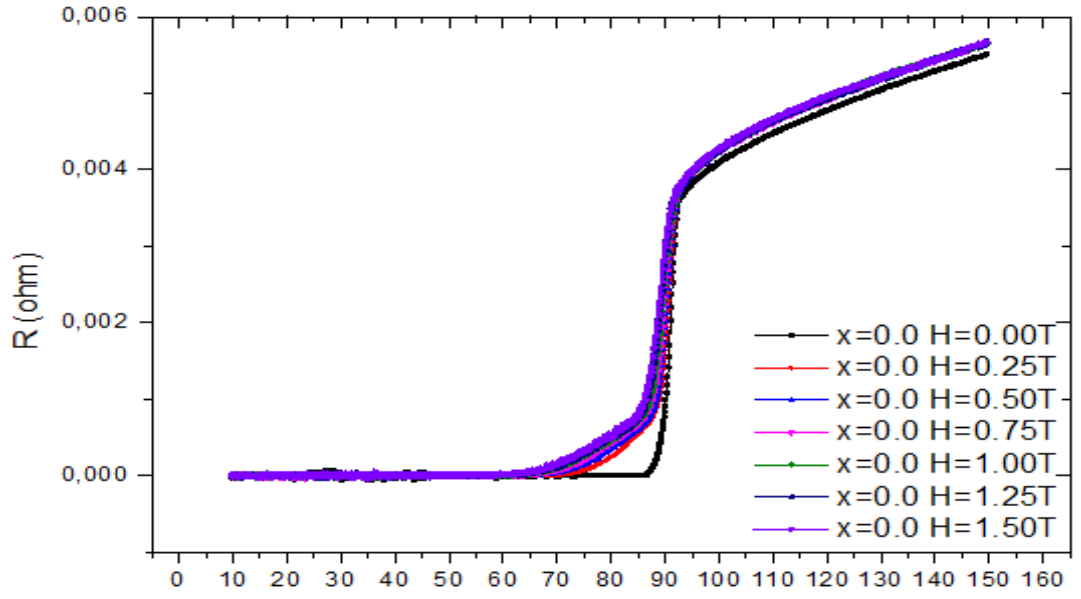
Şekil 35. Tüm katkılar için 20-60° arası kaydırılmış XRD spektrumları



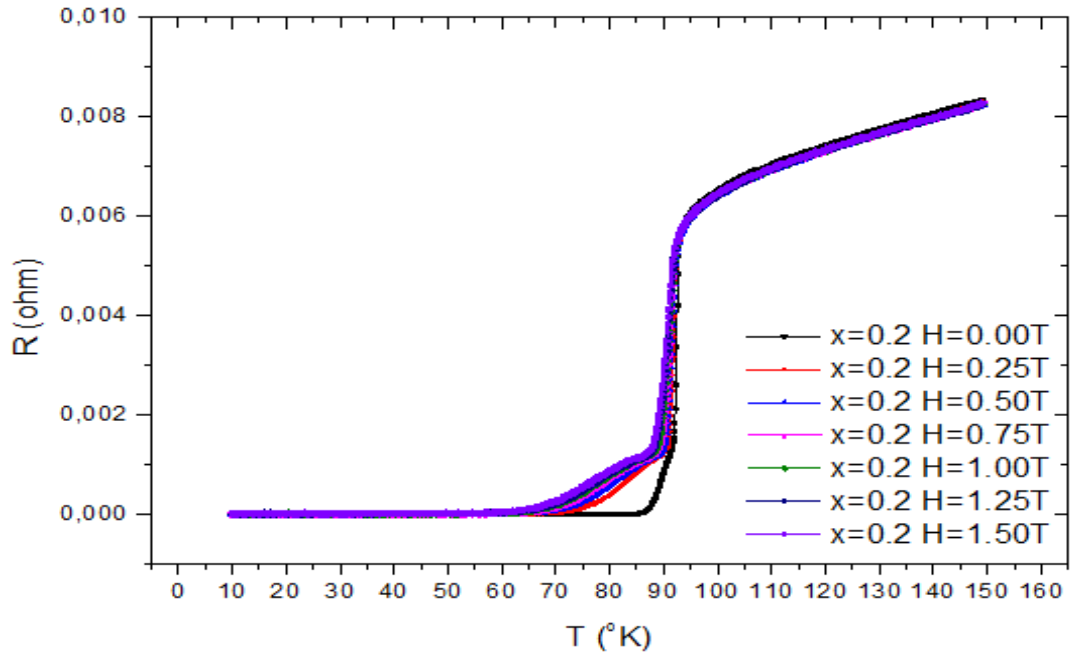
Şekil 36. Örneklerin örgü parametreleri a,b,c ve V (hacim) değerleri

3.3. Direnç Ölçüm Sonuçları

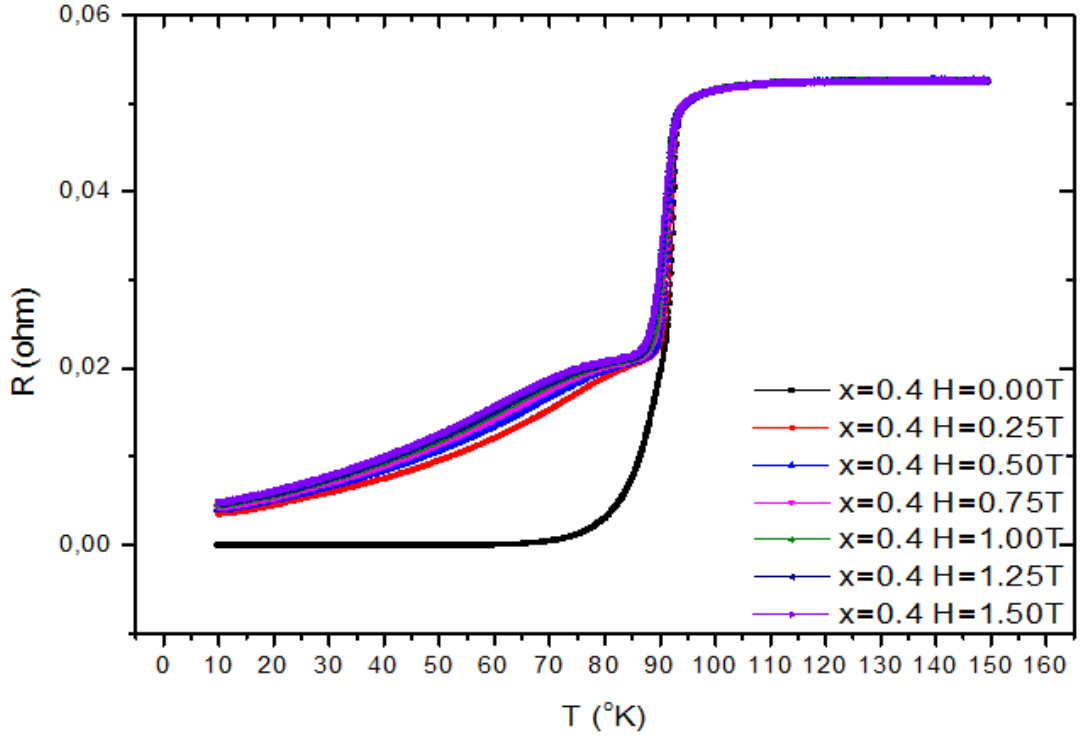
Örneklerin sıcaklığa göre direnç ölçümleri önce manyetik alan yokken $T=10K$ 'e soğutuldu ve örneğe belirli bir manyetik alan ($H=0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25$ ve $1.50T$) uygulandı. Sabit manyetik alan uygulanırken örnek $T=150K$ sıcaklığa $2K/dak$ hızla ısıtıldı. $T=150K$ sıcaklığa gelene kadar sürekli ölçüldü. Her bir ölçüm sonucu örneğe $I_+ = +5 mA$ ve $I_- = -5mA$ akımlar uygulanırken karşılık voltajlar (V_+ ve V_-) ölçüldü ve $V=(V_+ - V_-)/2$ değeri hesaplandı ve akımın mutlak değerine bölünerek direnç değerleri hesaplandı. Böylece, düşük sıcaklıklarda oluşabilecek termal voltaj elimine edildi. S00, S02, S04, S06, S08 ve S10 örneklerine ait direnç – sıcaklık değişimleri sırasıyla Şekil 37, Şekil 38, Şekil 39, Şekil 40, Şekil 41 ve Şekil 42 ve kıyaslama amacıyla normalize edilmiş tüm R-T değerleri birlikte Şekil 43'te gösterilmektedir. Ayrıca normalize edilmiş manyetik alan olmadığında tüm örneklerin normalize R-T değişimleri de Şekil 44'te gösterilmektedir. Tüm örneklerin tüm alanlardaki R-T verilerinden hesaplanan $\ln(R(T)/R(T_c)) - (1/(k_B T))$ değişimleri de Şekil 45'te gösterilmektedir. Şekil 45'ten hesaplanan aktivasyon enerjisi U'nun katkıya ve manyetik alana göre değişimleri sırasıyla Şekil 46 ve Şekil 47'de görülmektedir.



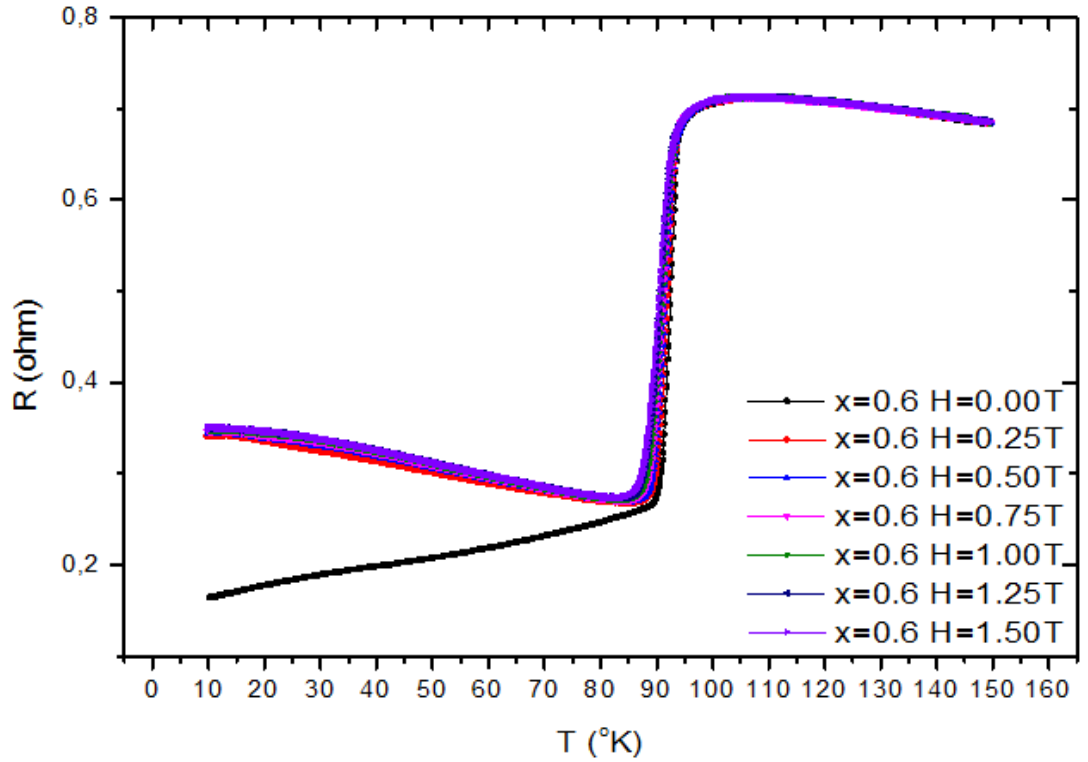
Şekil 37. $x=0.0$ katkılı S00 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.



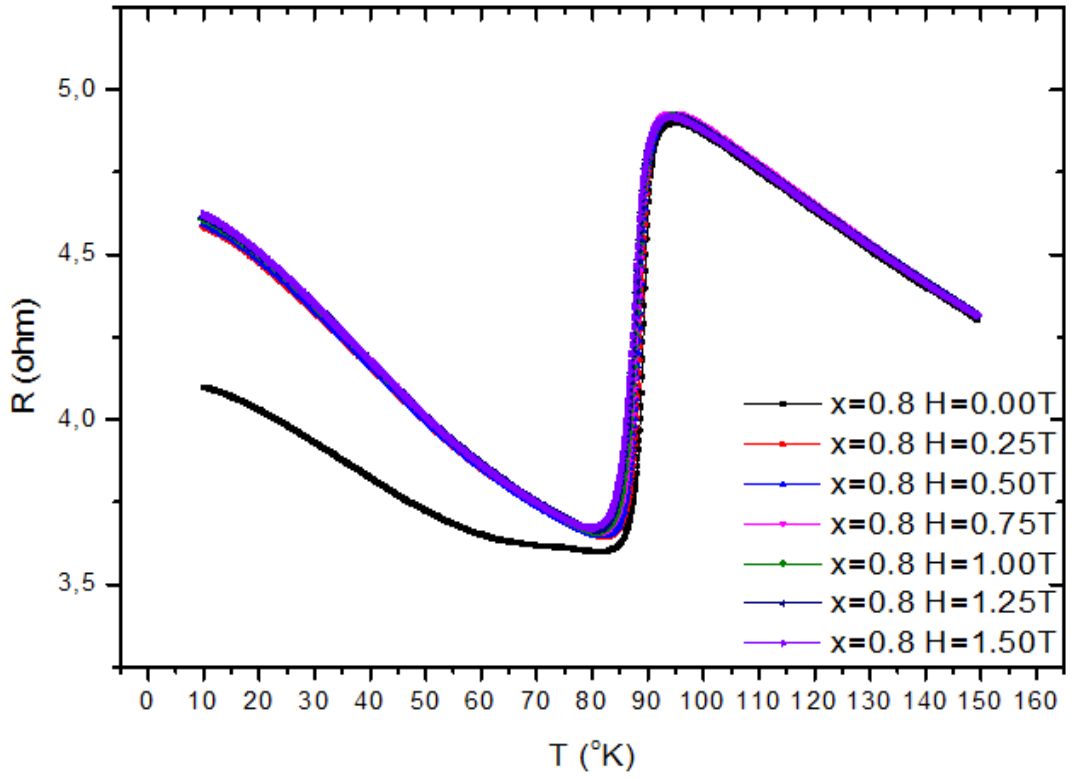
Şekil 38. $x=0.2$ katkılı S02 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.



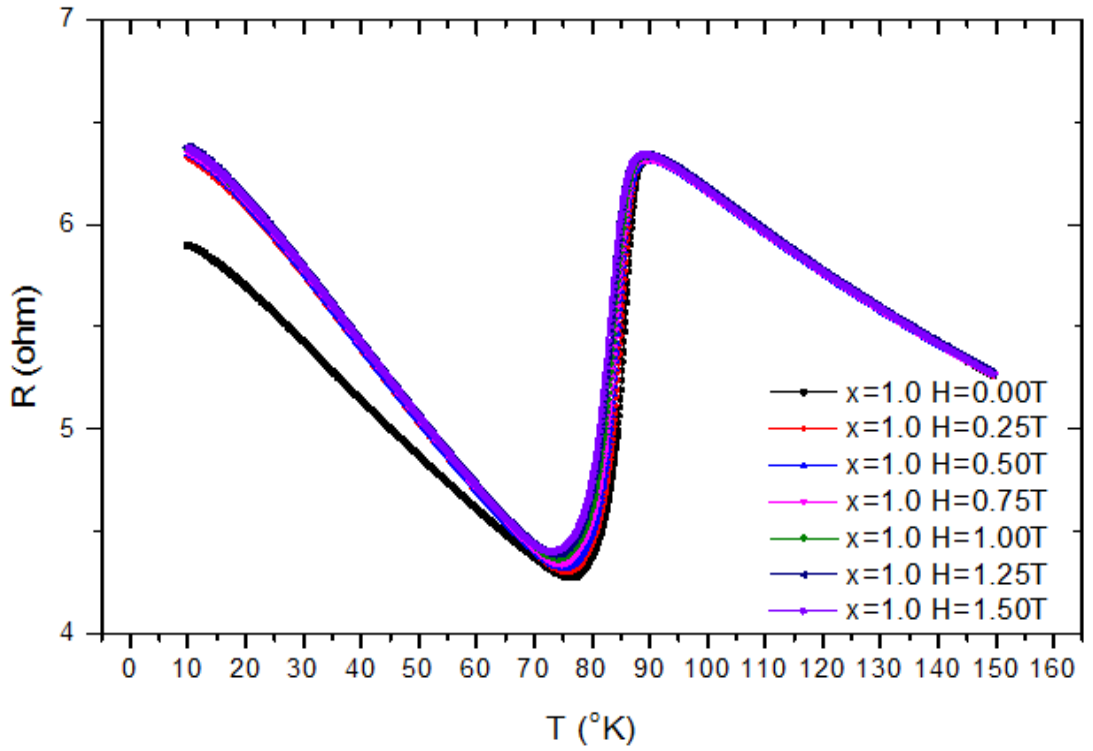
Şekil 39. $x=0.4$ katkılı S04 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.



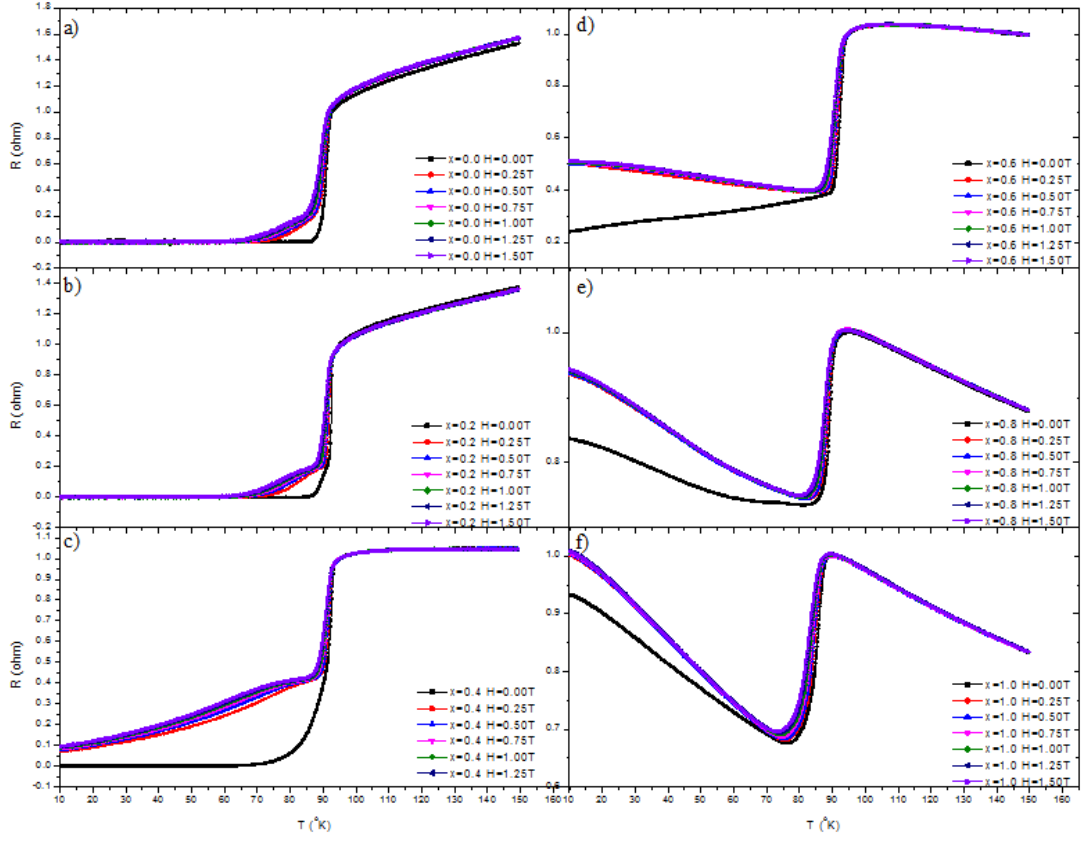
Şekil 40. $x=0.6$ katkılı S06 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.



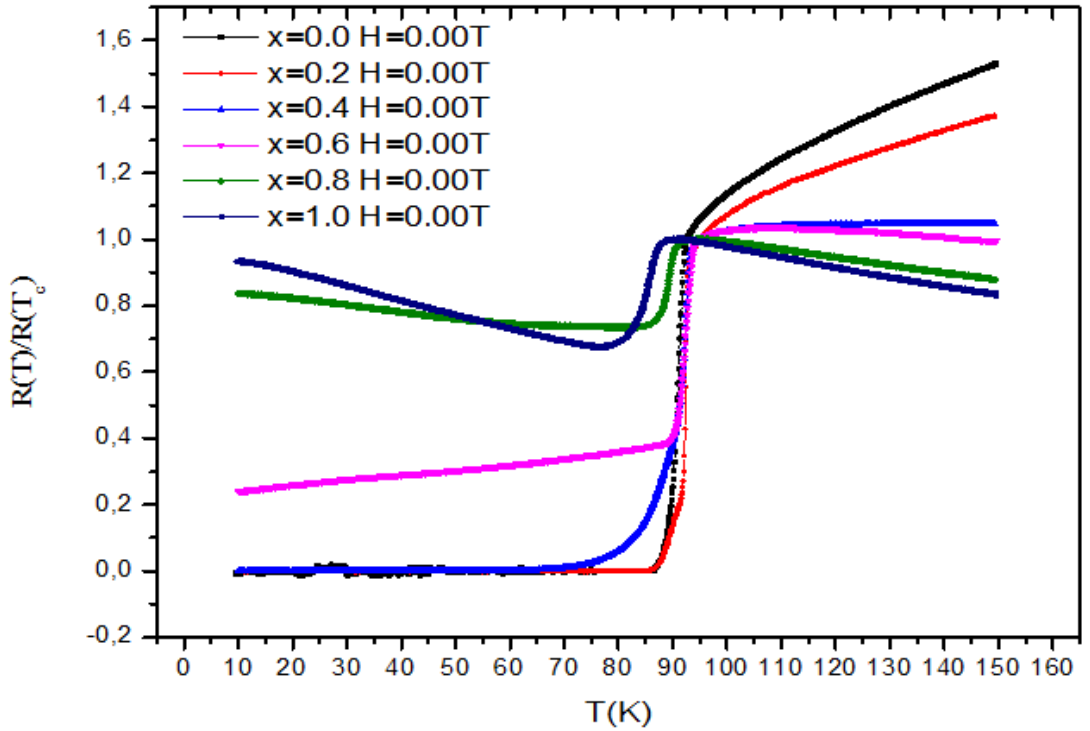
Şekil 41. $x=0.8$ katkılı S08 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.



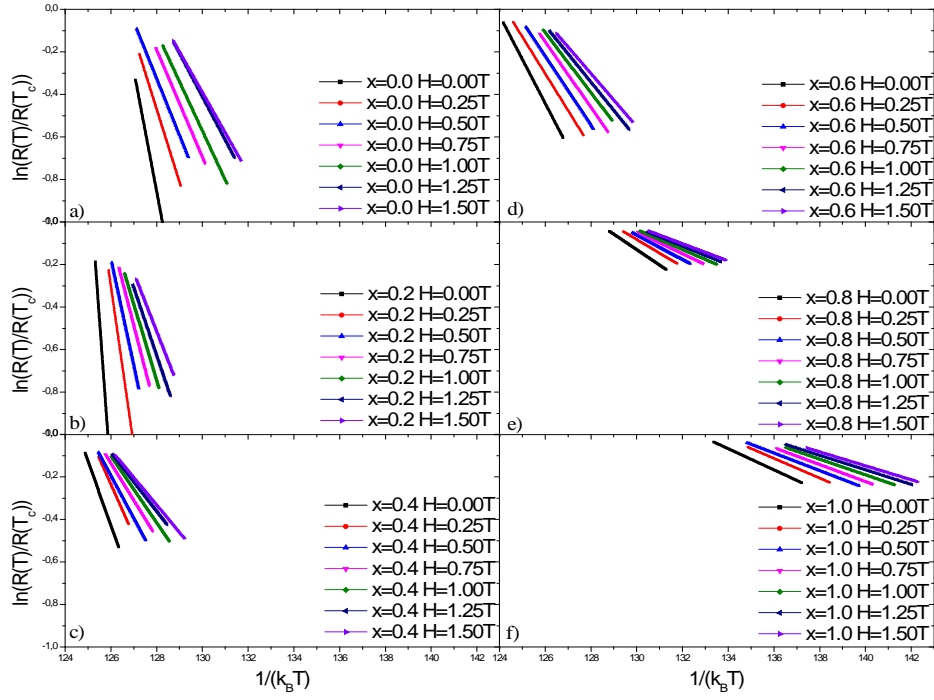
Şekil 42. $x=1.0$ katkılı S10 örneği için alansız soğutma rejiminde 0 – 1.5 T manyetik alanlarda R-T ölçüm sonuçları.



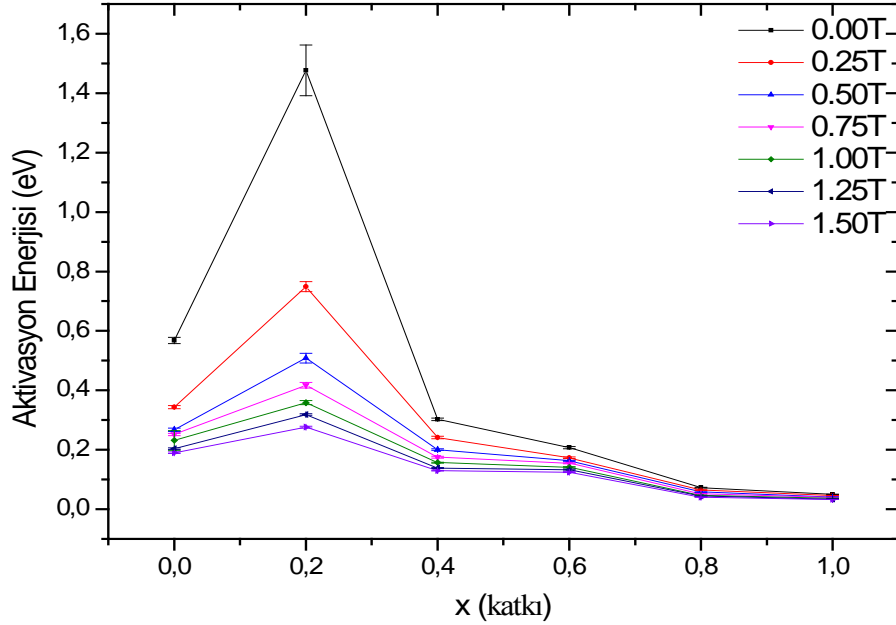
Şekil 43. a) $x=0.0$, b) $x=0.2$, c) $x=0.4$, d) $x=0.6$, e) $x=0.8$, f) $x=1.0$ katkıları için 0 – 1.5 T manyetik alanlarda normalize edilmiş R-T ölçüm sonuçları.



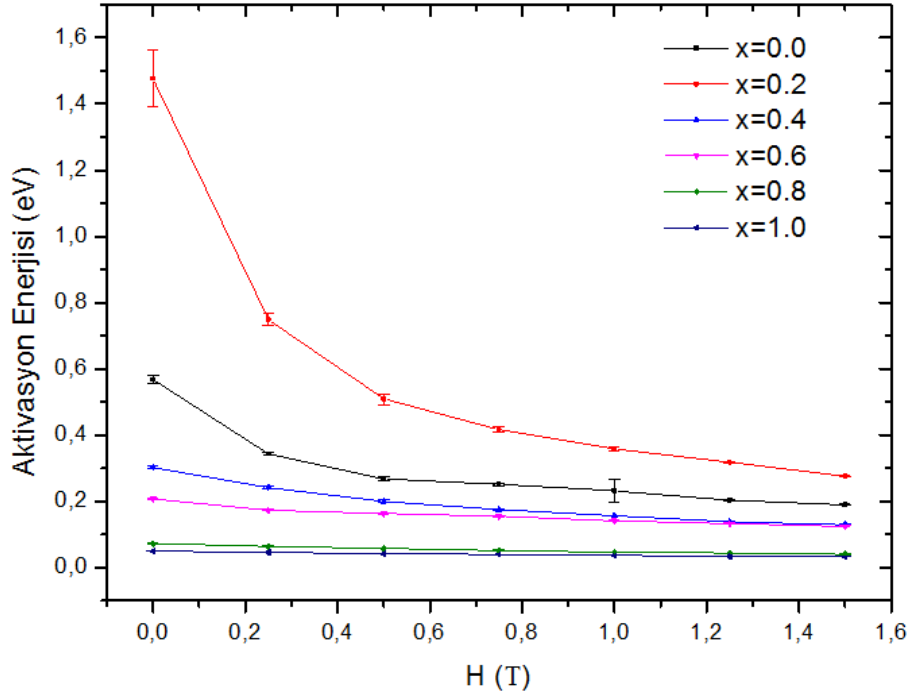
Şekil 44. Tüm katkıları için alansız soğutma altında alansız R-T ölçüm sonuçları



Şekil 45. a) $x=0.0$, b) $x=0.2$, c) $x=0.4$, d) $x=0.6$, e) $x=0.8$, f) $x=1.0$ katkıları için $\ln(R(T)/R(T_c))$ 'nin $1/(k_B T)$ 'ye göre grafikleri.



Şekil 46. Sabit manyetik alanda (0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 ve 1.50T) aktivasyon enerjisinin katkıya göre değişimi.

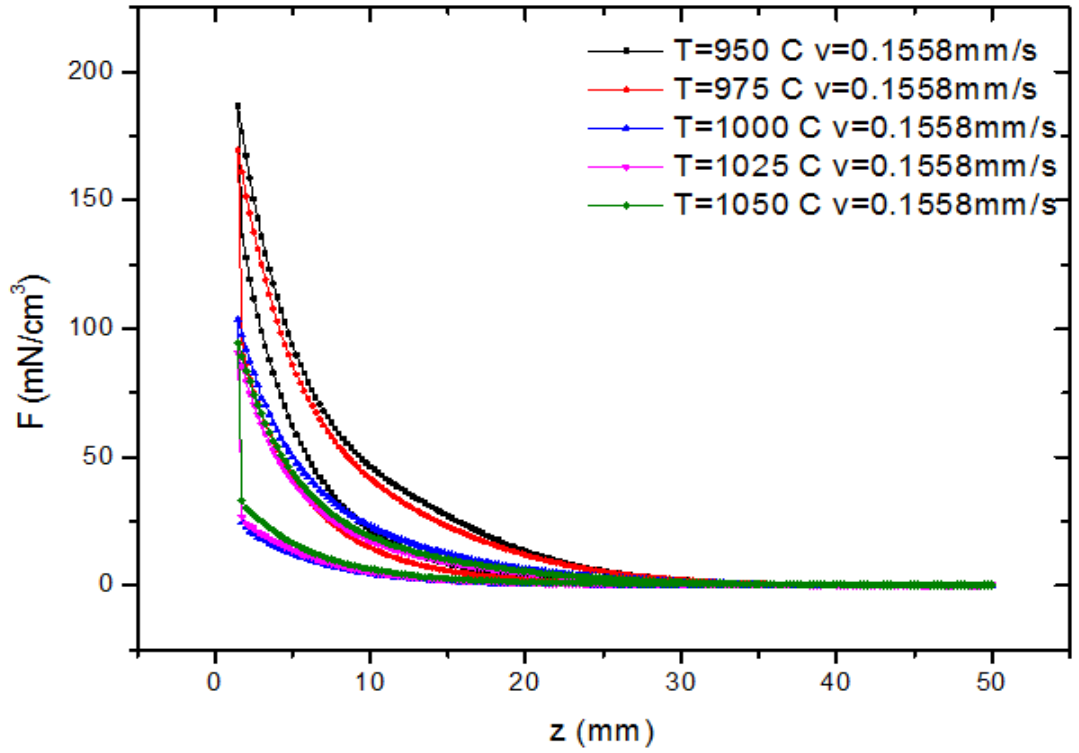


Şekil 47. Her katkının aktivasyon enerjisinin manyetik alana göre değişimi

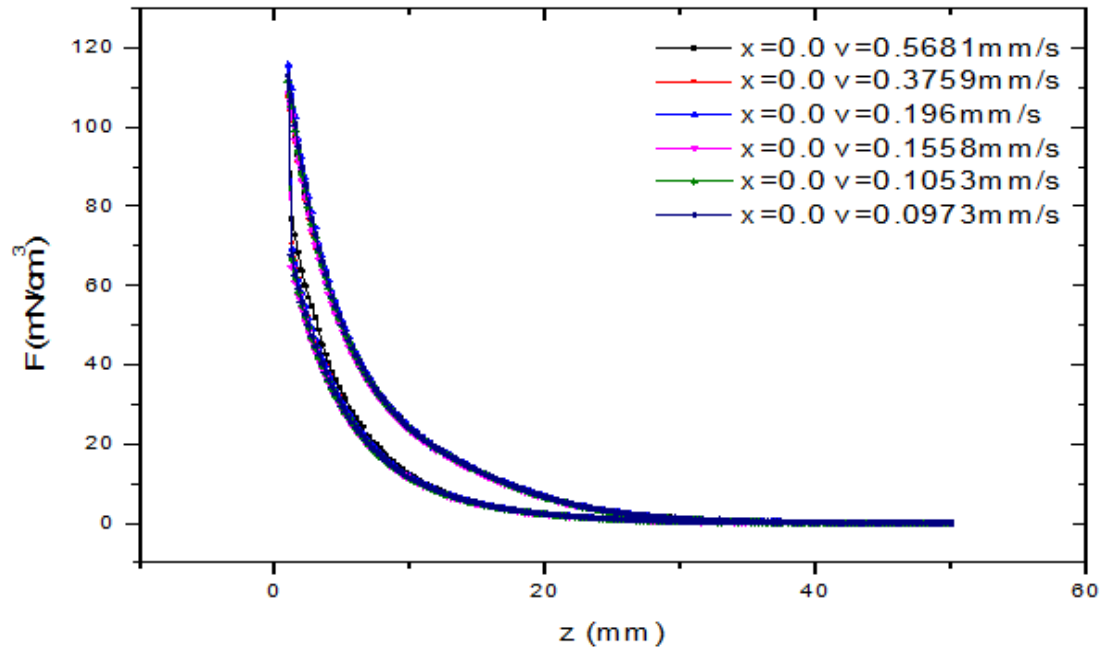
3.4. Manyetik Levitasyon Ölçüm Sonuçları

Farklı sıcaklıklarda ($T = 950, 975, 1000, 1025$ ve 1050 °C) sinterlenen $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ süperiletken örneklerin dikey mesafe değişimlerine göre dikey kuvvetin değişimleri Şekil 48'de gösterilmektedir.

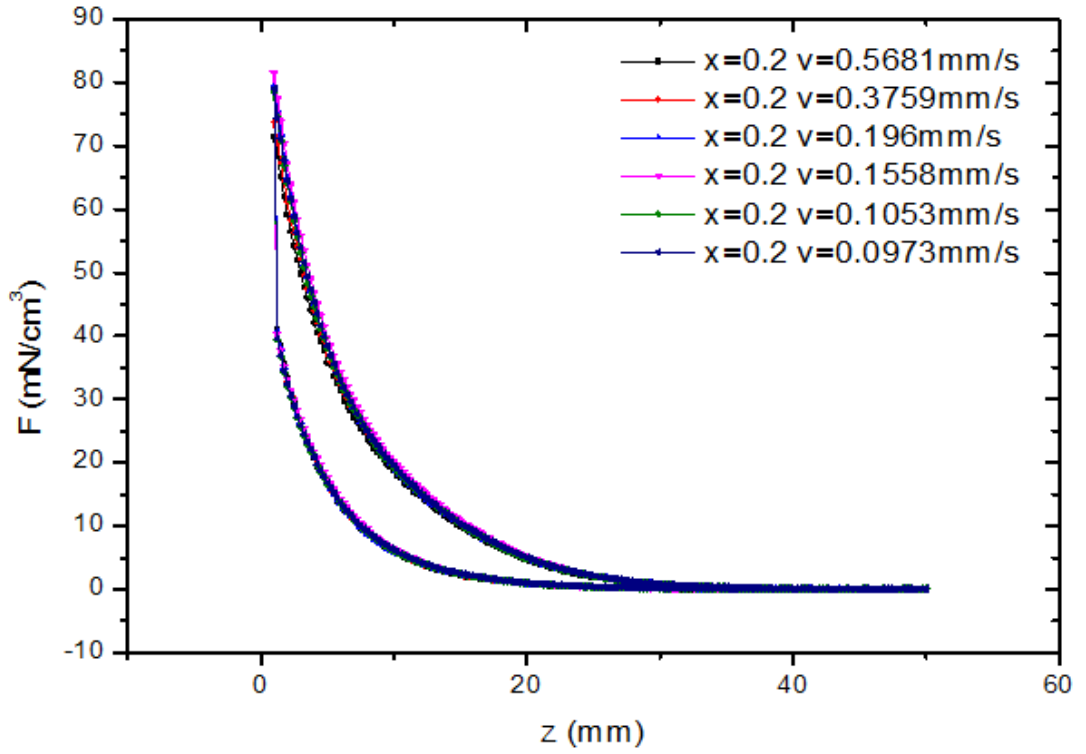
S00, S02, S04, S06, S08 ve S10 örneklerine ait farklı hızlarda yapılan manyetik kaldırma kuvvet yoğunluğunun mesafeye göre değişimleri sırasıyla Şekil 49, Şekil 50, Şekil 51, Şekil 52, Şekil 53 ve Şekil 54'te gösterilmektedir. Karşılaştırma amacıyla tüm manyetik kaldırma kuvvet yoğunlukları değişimleri Şekil 55'te, sabit hızda tüm örneklerin kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimleri ise Şekil 56 ve Şekil 57'da gösterilmektedir.



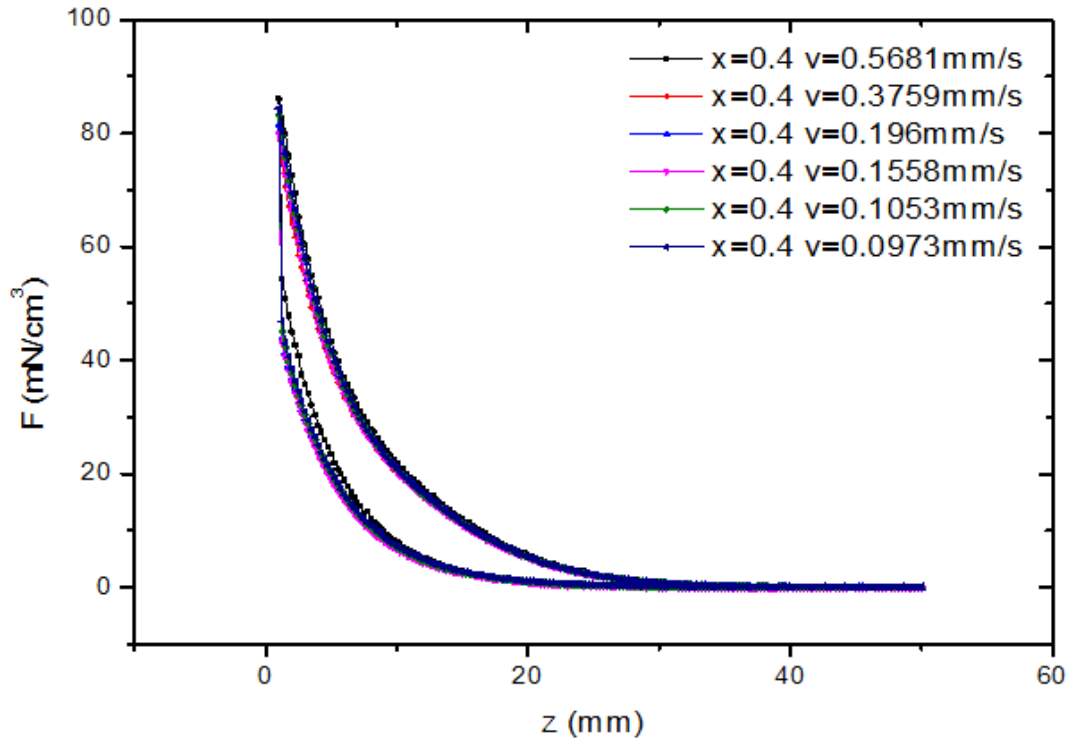
Şekil 48. $T = 950, 975, 1000, 1025$ ve 1050 °C sıcaklıklarda sinterlenen SmBa₂Cu₃O₇₋₈ süperiletkeninin F-z grafikleri.



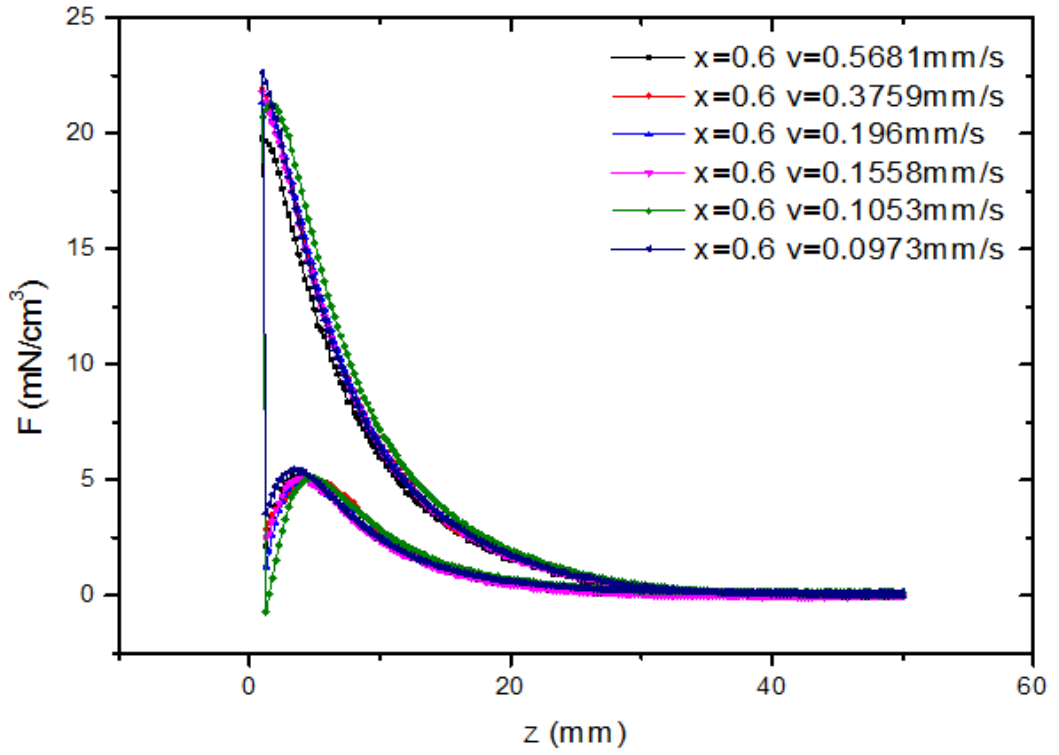
Şekil 49. $x=0.0$ için S00 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



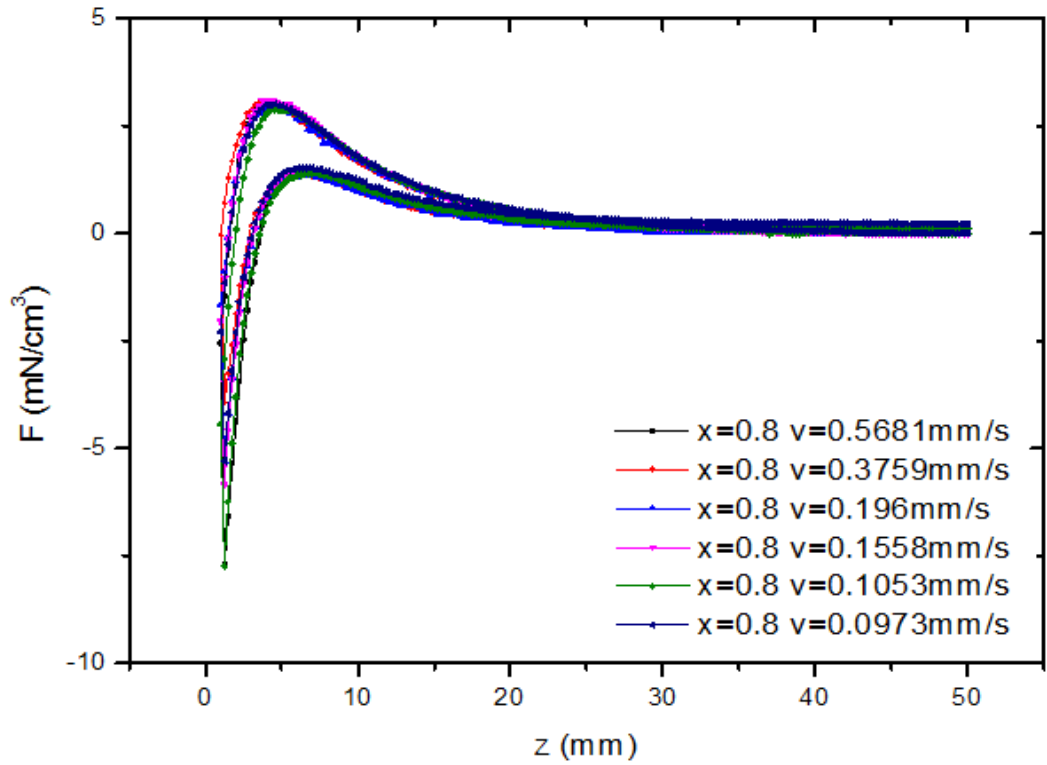
Şekil 50. $x=0.2$ için S02 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



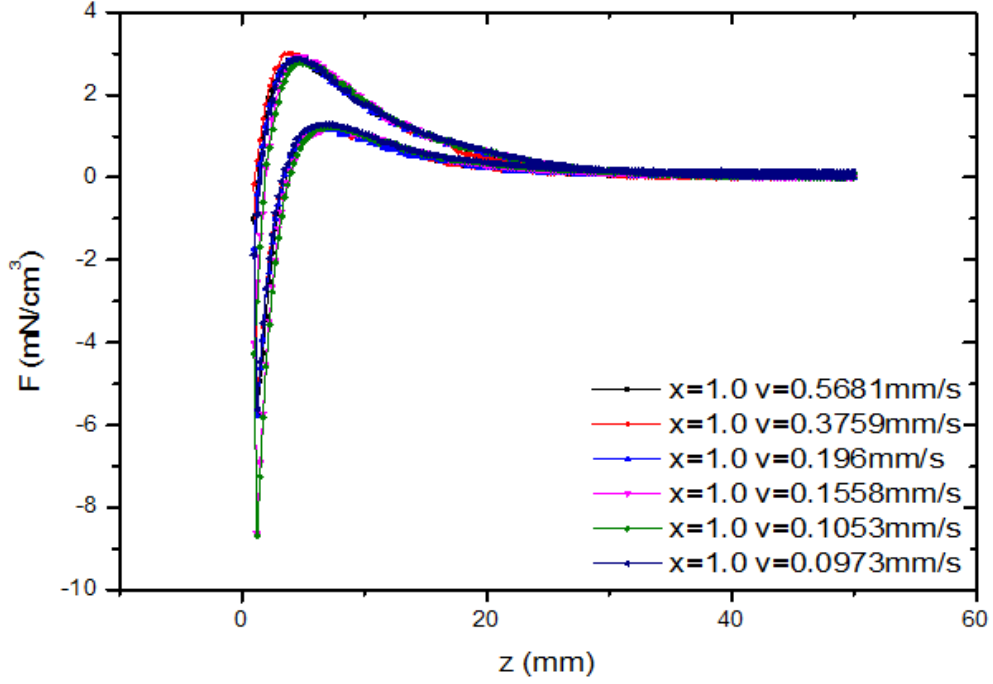
Şekil 51. $x=0.4$ için S04 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



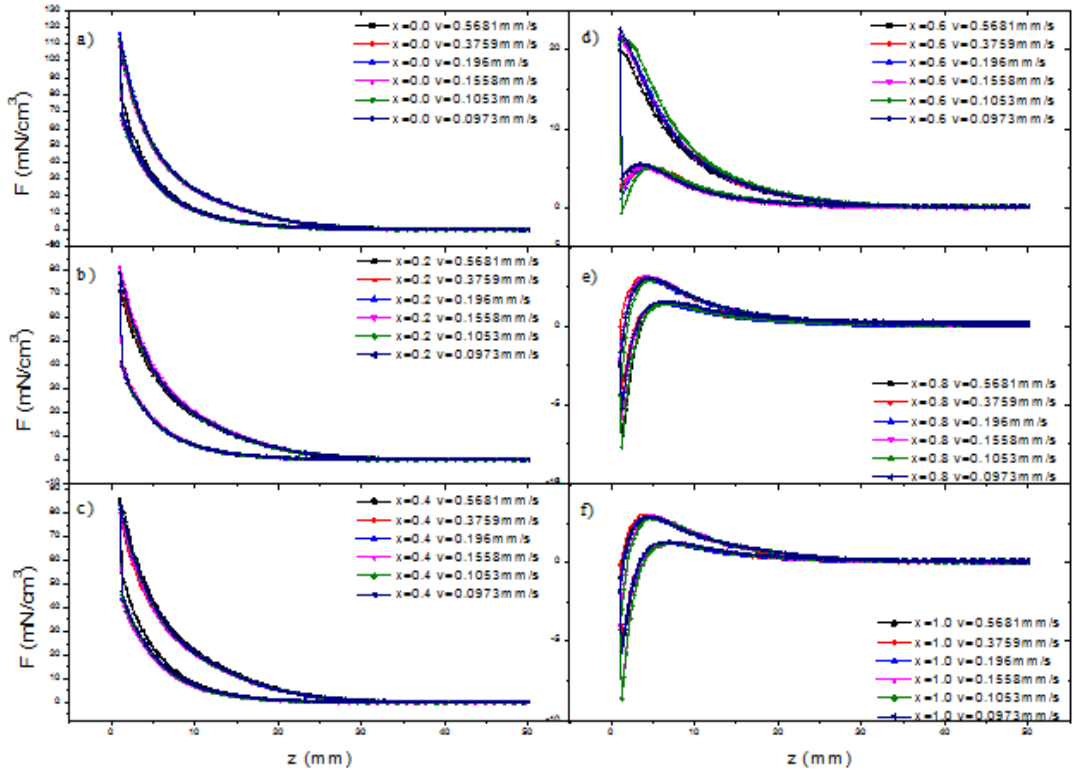
Şekil 52. $x=0.6$ için S06 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



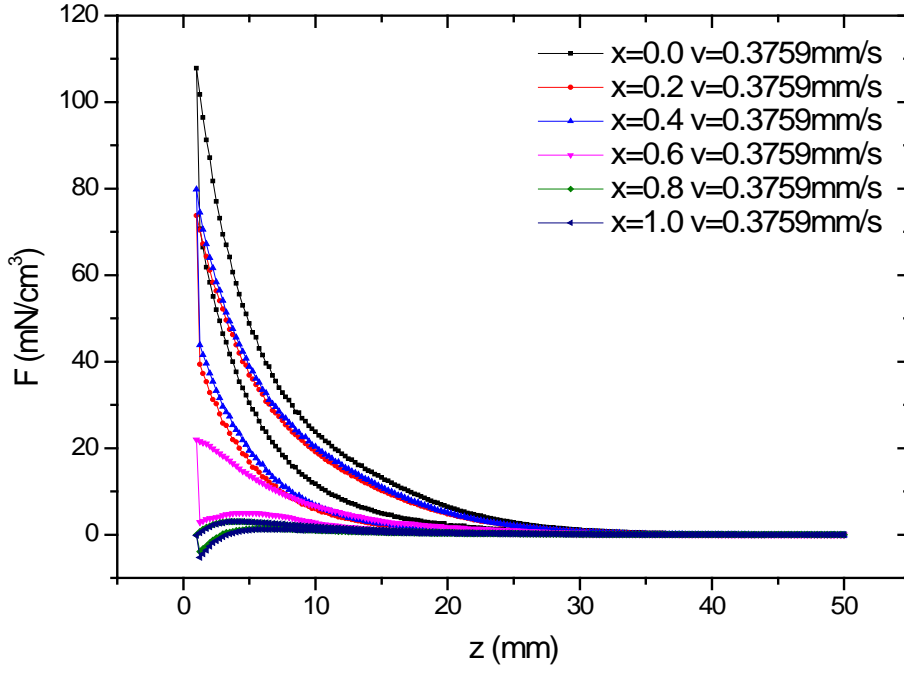
Şekil 53. $x=0.8$ için S08 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



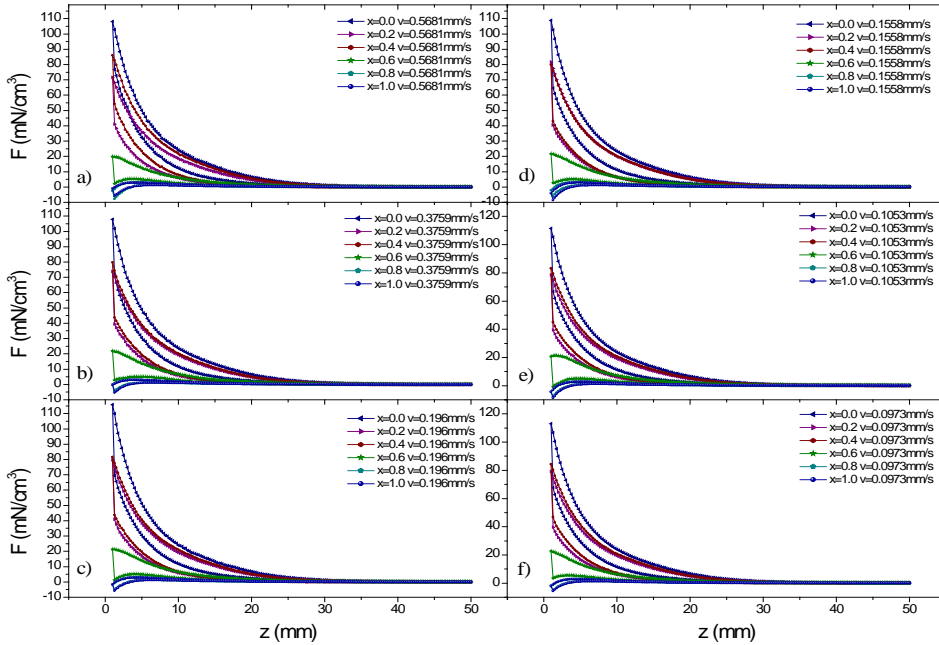
Şekil 54. $x=1.0$ için S10 örneğinin farklı hızlarda manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



Şekil 55. Karşılaştırma amaçlı a) $x=0.0$, b) $x=0.2$, c) $x=0.4$, d) $x=0.6$, e) $x=0.8$, f) $x=1.0$ katkıları farklı hızlardaki manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



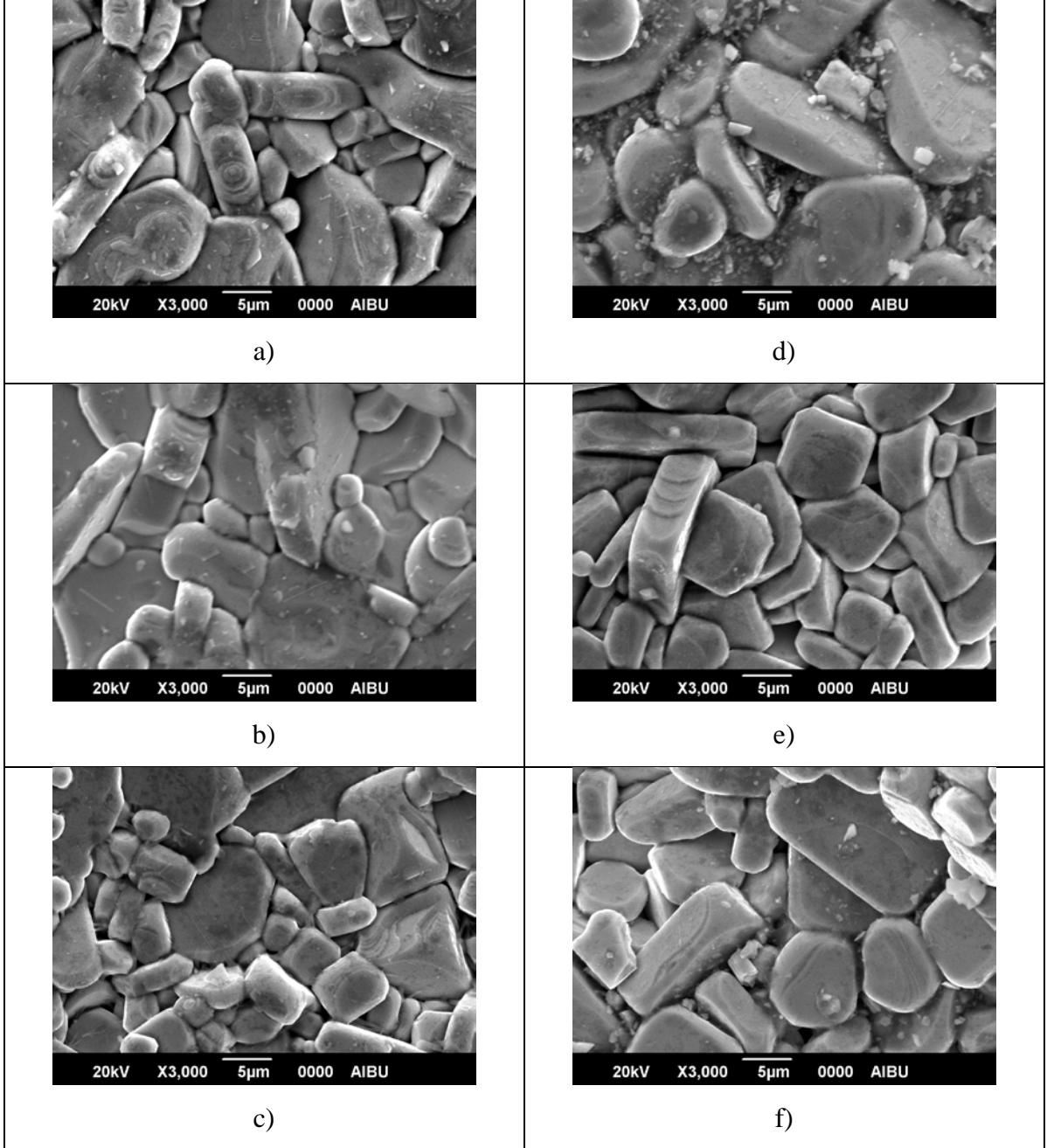
Şekil 56. Sabit hızda ($v=0.3759$ mm/s) tüm örneklerin manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimi.



Şekil 57. a) $v=0.5681$, b) $v=0.3759$, c) $v=0.1960$, d) $v=0.1558$, e) $v=0.1063$ ve f) $v=0.0973$ mm/s hızlardaki tüm örneklerin manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişimleri

3.5. SEM Sonuçları

Abant İzzet Baysal Üniversitesinde JEOL JSM-6390L marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak 20 kV çalışma voltajında, 3000 kat büyütme ile alınan SEM görüntüleri Şekil 58’de gösterilmektedir.



Şekil 58. a)x=0.0, b)x=0.2, c)x=0.4, d)x=0.6, e)x=0.8 ve f)x=1.0 örneklerin SEM görüntüleri

4. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

4.1. XRD Sonuçları

Tüm örneklerin polikristaldifraktometresinde $\theta=20-60^\circ$ aralığında $3^\circ/\text{dak}$ hızda ve 0.02° hassasiyetinde ölçülmüş XRD spektrumlarının 500 değer şiddetinde kaydırılmış hali Şekil 35’de gösterilmiştir. Genel olarak pik şiddetleri incelendiğinde katkı $0 \rightarrow 0.2$ arasında artış, $0.2 \rightarrow 1$ arasında $x=0.6$ örneği dışında azalma göstermektedir.

XRD spektrumlarındaki pik açıları ve düzlemler arası parametreleri göz önüne alınarak yapılan hesaplama sonucunda elde edilen kristal örgü parametreleri a , b , c ve hücre hacmi V Şekil 35’de verilmektedir. Grafikte örgü parametresi a ve b ’nin katkı arttıkça sırasıyla 3.84 \AA ’den 3.87 \AA ’e ve $3.90 \text{ \AA} - 3.87 \text{ \AA}$ aralığında değişim gözlemlendi. Her katkı için a ve b örgü parametreleri farklı değerlerde olup, ortorombik yapı oluşumu gerçekleşmiştir. Sm123 ve Nd123’ün c -örgü sabitleri sırasıyla $11,709 \text{ \AA}$ (Suematsu vd., 1999) ve 11.74 \AA (Vennila, 2005) iken, bu çalışmada üretilen örneklerde $x = 0$ (Sm123) ve $x=1.0$ (Nd123) için c -örgü parametresi sırasıyla $11,7278$ ve 11.7399 \AA olarak hesaplandı. Katkı oranı $x=0.2$ olan S02 örneğine ait tüm örgü parametrelerinde ve dolayısıyla hacim değerinde serideki diğer örneklerle göre hayli yüksek hata payı mevcuttur. Ayrıca örgü parametrelerinde de farklılık mevcuttur. S02 örneğinde %80 Sm123 ve %20 Nd123 oranlarında bulunmaktadır. Bu durumda her iki yapıda baskın olmaktadır. Bu durumda, örneğe ait XRD spektrumunda her iki yapının da pikleri mevcuttur. Yapıların örgü parametreleri birbirine çok yakın olduğundan, her iki yapıya ait aynı pikler de tamamen üstüste gelmeyecek fakat çok yakınında olacaktır. Bu durumda ölçüm şartlarından dolayı açıda adımlar 0.02° olmasına rağmen yapıların piklerini birbirinden ayıramayacak ve her iki piki tek pik olarak görecektir. İki pik birbirine çok yakın ve şiddetleri de karşılaştırılabilir olduklarından dolayı şiddeti yüksek fakat yarı maksimumdaki tam genişlik (full-width at halfmaximum; FWHM) de diğer örneklerin piklerinin FWHM değerlerine göre daha büyük olacaktır. Bu nedenle hesaplamalardayla pike ait açı ve gerekse hata hesabında farklılıklar oluşturacaktır. Bu nedenle örgü parametrelerinde geniş hata aralığı görülmektedir.

4.2. R-T Sonuçları

Tüm örneklerin normalize edilmiş, farklı alanlar altında ölçülmüş R-T grafikleri Şekil 43'te görülmektedir. Grafikte T_c 'nin üzeri sıcaklıklarda katkı miktarı arttıkça örneğin normal direnci $x=0.6$ 'ya kadar iyileşmektedir. $x=0.6$ 'dan $x=1.0$ 'a kadar ise örnek yarıiletken özellik göstermektedir. Bu durum ise Şekil 44'te açıkça görülmektedir.

Geçişin başladığı sıcaklık T_c^{onset} aynı yavanlığını korumakta fakat T_c^{offset} değerinde ise azalma gözlenmektedir. Seri içinde geçiş sıcaklık aralığının en dar olduğu katkı $x=0.2$ S02 örneğidir. Bu da en iyi süperiletkenlik özelliği taşıyan örnek olduğunu göstermektedir. Katkı miktarı arttıkça geçiş aralığı artmaktadır. Manyetik alan arttıkça da geçiş sıcaklık aralığı, alan arttıkça ($H = 0 \rightarrow 0.25T$) hızlı bir şekilde, $H0.25 \rightarrow 1.5T$ aralığında ise artış çok yavaşlamaktadır. $x=0.6$ ve yukarıları örneklerde yapıda süperiletkenlik yanında yarıiletkenlik de bulunmakta ve bu durum da T_c 'nin altında sıcaklıklarda dirençte sıfır yerine belirli bir değer olarak göstermektedir. Bu değer katkı arttıkça artış göstermesi $x=0.6 \rightarrow 1.0$ değiştikçe yarıiletkenliğin daha baskın hale geldiği görülmektedir. Ayrıca, tüm katkılarda ikincil faz mevcuttur. Bu durum Şekil 43'te süperiletkenliğe geçişin bittiği sıcaklık civarında eğimdeki ani değişim göstermektedir. $X=0.6$ ve daha büyük katkılara sahip örneklerde T_c 'nin altında direnç belirli bir değerde olması ise yapıda süperiletkenlik ve yarıiletken fazın da varlığının göstergesidir. Fakat süperiletkenli ise yarıiletken davranışı bastıramayacak kadar zayıftır. Bu durumu en açık bir şekilde Şekil 43'te $x=1.0$ örneğinde görülmektedir.

Tüm örneklerin her farklı manyetik alanlar altında ölçüm sonuçlarından $\ln(R(T)/R(T_c))$ 'nin $1/(kBT)$ 'ye göre değişimleri Şekil 45'te görülmektedir. Aynı grafik incelendiğinde ise katkı miktarı arttıkça $x=0.6$ örneğine kadar eğimin doğruların başladığı noktanın yatay ekseni sola doğru artmakta yani geçişin sabit eğimde olduğu aralık başlangıç sıcaklığı artmakta olup, daha yüksek katkı değerlerinde ise ani azalma gözlenmektedir. Bu durum ise, $x=0.6$ 'ya kadar Sm123 yapısı ile Nd123 yapısı oluşumu gerçekleşmiş, $x=0.0$ de Sm123, $x=0.2$ 'de her ikisi baskın olup, $x=0.4$ ve 0.6 'da ise Sm123 yapısının oluşumu azlamakta ve Nd123 yapısının oluşumu artış göstermektedir. Daha yüksek katkıya sahip örneklerde ise Nd123 yapıda hayli fazla olduğundan dolayı ve ilgili sinterleme sıcaklığı da Nd123 için uygun termal işlem sıcaklığı olmadığından Nd123 yapısındaki sıvı fazın yapıdan kısmi olarak ayrılması sonucunda geri kalan yapı da yarıiletken fazca zengin yapı olduğundan süperiletkenlik özelliğinde ani düşme gözlenmektedir. Bu durum Şekil 45'te eğimlerinden de açıkça görülmektedir. Şekil 45'

doğruların eğimlerinden aktivasyon enerjileri hesaplandı. Sonuçlar ise tüm örneklerin sabit alanlardaki aktivasyon enerjilerinin katkıya göre ve sabit katkının aktivasyon enerjilerinin manyetik alana göre değişimleri sırasıyla Şekil 46 ve Şekil 47’de açıkça görülmektedir. Gerek katkıya göre ve gerekse manyetik alana göre aktivasyon enerjilerinin değişimlerinden $x=0.2$ katkısına sahip S02 örneğin aktivasyon enerjisi diğerlerine göre hayli yüksektir. Bu durum, gerek yapısal ve gerekse elektriksel özellikleri açısından S02 örneğin katkısı $x=0.2$ optimum katkı oranı olduğu açıkça görülmektedir.

4.3. Manyetik Levitasyon Kuvvet Yoğunluğu Sonuçları

Tüm örneklerin alansız soğutma rejiminde farklı mıknatıs hareket hızlarındaki manyetik levitasyon kuvvetinin mesafeye göre değişimleri Şekil 55’te gösterilmektedir. Grafikten de açıkça görüldüğü gibi hıza bağlılığı yok denecek kadar azdır. Katkı arttıkça genel olarak azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ise katkının artması yapıda Sm123’ün azalıp Nd123’ün artması sonucunda Sm123 katılaştırken Nd123’ten başlaması ve katkının artmasıyla Nd123 yapısının artışı sonucu Sm123’ün tane bütüklüğündeki azalma ve taneler arası etkileşimin zayıflaması olarak düşünülmektedir. Her ne kadar XRD ölçümlerinde optimum katkı S02 örneğinin olduğu düşünülse de manyetik özelliklere tane büyüklüğü yanısıra taneler arası etkileşimler gibi diğer parametrelerin daha fazla etkilidir. S00 örneği tamamen Sm123’ten oluşmaktadır. Dolayısıyla tanelerarası etkileşim aynı tür taneler arasındakine göre Sm123 ve Nd123 taneleri arasındaki etkileşim daha düşük olacaktır. Bu da kritik akım yoğunluğunu düşürecektir. Manyetik levitasyon kuvveti de doğrudan kritik akım yoğunluğuyla orantılı olacağından dolayı katkı arttıkça manyetik levitasyon kuvveti de azalacaktır. Katkı miktarı x , 0.6 ve daha büyük değerlerinde ise yapıda Nd123 hakim olması ve Nd123 yapısının bu sıcaklıklarda sıvı fazı yapıda tutacak yeterli Sm123 olamayacağından dolayı manyetik levitasyon kuvveti hayli düşmüştü ve paramanyetik özellik göstermeye başlamıştır. $x=1.0$ örneğinin de tamamen Nd123 yapısında olması ve serinin sinterlenme sıcaklığı ise Nd123 sinterleme sıcaklığına göre düşük olması, az da olsa yapıda kısmi erimenin sonucunda süperiletkenliğe öncülük eden bu fazın yapıdan çıkması sonucunda yapının süperiletkenlik özelliğini yok denecek kadar azaltmıştır. Katkılarının manyetik levitasyon kuvvet yoğunluklarının mesafeye göre değişiminin tüm örnekler arasında karşılaştırılması Şekil 57’de gösterilmektedir. Yapıda paramanyetik özellikler $x=0.6$ ve daha yüksek katkılarda görülmektedir. Ayrıca manyetik kaldırma kuvvet yoğunluğu en yüksek olan örnek Şekil 56’ten $x=0.0$ katkıya sahip S00 örneğidir.

4.4. SEM sonuçları

Tane büyüklüğü ve taneler arasındaki çökelmeyi tanımlamak için kullanılan SEM yüzey morfoloji görüntüleri tüm örnekler için Şekil 58'de görülmektedir. SEM analizlerine genel olarak bakıldığında ortalama olarak büyük ve küçük tanelerin olduğu görülmektedir. Küçük tanelerin büyük taneler arasında yer alması ve tane sınırlarında genişlemenin olmaktadır. Bunun yanısıra, tanelerin hangi yapıya ait oldukları yüzey EDS analiziyle belirlenir. Bu çalışma EDS analizi olmadığı için net bir yorum yapılmamıştır.

4.5. SONUÇ

Sonuç olarak bu çalışmada, $x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ ve 1.0 katkı oranlarında ($Sm_{1-x}Nd_x$) $Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ yapısında katıhal tepkime yöntemiyle süperiletken örnekler hazırlandı. Üretilen örneklerin yapısal, elektriksel ve manyetik bazı özellikleri incelendi. Bu incelemeler ışığında elde edilen sonuçlar aşağıdadır:

- XRD ölçümlerinden $Sm123$ ve $Nd123$ yapılarının da baskın olduğu örnek $x=0.2$ katkısına sahip S02 örneğidir. İki yapı da baskın olması örgü parametrelerinin hesaplamasında hata genişlemesine neden olmaktadır.
- Genel itibarıyla c örgü parametresi, ($x=0.0$) $Sm123$ 'nin ve ($x=1.0$) $Nd123$ 'nin değerleri literatürdeki değerlerle uyum halindedir.
- Direnç-sıcaklık değişimlerinden katkı arttıkça $x=0.6$ ve yüksek değerleri için süperiletkenlikte azalma yanında yarıiletken davranış artmaktadır.
- Genel itibarıyla tüm örneklerde artık faz az da olsa mevcuttur.
- Manyetik kaldırma kuvveti katkı azaldıkça azalmakta ve S10 örneğinde ise manyetik kaldırma kuvveti çok az olup, paramanyetik özellik baskın olmaktadır. Bu davranış, $x=0.6$ 'ten başlayıp katkı arttıkça artmaktadır.

5. ÖNERİLER

Bu çalışma çerçevesinde elde edilen sonuçlar bir önceki bölümde ayrıntılarıyla verilmektedir. Bu çalışmanın devamı olarak,

- Sinterleme sıcaklığı değiştirilerek aynı özellikler incelenebilir.
- Katkı miktarı $x=0-0.5$ arasında daha küçük adımlarla artırılarak aynı etki daha da net incelenebilir.
- Örneklerin üretim aşamasında tablet oluşturulurken uygulanan basınç değiştirilerek optimum basınç elde edilebilir.
- Tüm örneklerin yatay kuvvet yoğunlukları incelenebilir.
- Örneklerin manyetik levitasyon kuvvet yoğunluğu yatay hareketle incelenebilir.
- Örneklerin alanlı soğutma ile direnç ölçümleri yapılarak tersinmez manyetik alanları ölçülebilir.
- Alanlı soğutma yapılarak manyetik levitasyon kuvvet ölçümü yapılabilir.
- Soğutma mesafesi değiştirilerek hemen hemen alansız soğutma için minimum mesafe elde edilebilir.

Yukarıda maddeler halinde bahsedilen öneriler doğrultusunda ilgili konu devam ettirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abrikosov AA. 1957. On the Magnetic Properties of Superconductors of the Second Group. Sov. Phys. JETP, 32, 1442-1452.
- Abrikosov AA. 1957. Zh. Eksp. Teor. Fiz. 35:1442.
- Aksan MA, Yakıncı ME, Balcı Y. 2000. Supercond. Sci. Technol. 13:955–963.
- Anderson PW. 1962. Theory of flux creep in hard superconductors, Phys. Rev. Lett., 9, 7: 309.
- Ashcroft NW and Mermin NG. 1976. Solid state Physics, Holt, Rinehart and Winston, USA.
- Ateş H. 1998. Yüksek Sıcaklık YBCO Süperiletken Sisteminde Yitrium Yerine Yaklaşık Yarıçaplı Farklı Oksitlerin Katılması ve Yeni Sistemin Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Malatya.
- Balachandran U, Zhong W, Youngdahl CA, Poeppel RB.1993. Microstructure and associated properties of YBCO superconductors prepared by melt-processing techniques. Journal of Electronic Materials, 22, 10:1285-1288.
- Bardeen J, Cooper LN, Schrieffer JR. 1957. Theory of Superconductivity. Physical Review B, 108, 5:1175-1204.
- Bean CP. 1962. Magnetization of Hard Superconductors. Phys. Rev. Lett., 8, 6:250-253.
- Bean CP. 1964. Magnetization of high-field superconductors. Rev. Mod. Phys., 31:4.
- Bednorz JG and Müller KA. 1986. Possible High Tc Superconductivity in the La-Ba-Cu-O System. Z. Phys. B-Condensed Matter. 64:189-193.
- Boğaz H. 2006. $\text{Bi}_{1,6}\text{Pb}_{0,4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ ($x= 0,0$ ve $1,0$) Süperiletkenlerin Elektriksel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Conder K. 2001. Oxygen Diffusion in the Superconductors of the YBaCuO Family: Isotope Exchange Measurement and Model. Material Science and Engineering. 32,:41-102.
- Çelik Ş. 2006. $(\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_{x/2}\text{Gd}_{x/2})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-}$ ve $(\text{Yb}_{1-x}\text{Gd}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-}$ Süperiletkenlerinin Yapısal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon.
- Çelik Ş, Öztürk K. 2009. Semiempirical equation of the levitation-force density for $(\text{Sm}123)_{1-x}(\text{Yb}123)_x$ superconducting samples. Phys. Status Solidi A, 4:724-730.

- Çimen G. 2006. Bizmut Tabanlı Süperiletken Seramiklerde Katkı Atomları ile Yapı Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.
- Donglu S, Qu D, Tent BA. 1997. Effect of oxygenation on levitation force in seeded melt grown single-domain YBa₂Cu₃O_x. Physica C, 291:181-187.
- Dzhafarov TD, Altunbas M, Varilci A ve Küçükömeroglu T. 1996. The Effect of Au Diffusion on Structural and Superconducting Properties of YBaCuO. Materials Lett., 25:81-86.
- Ginsberg DM. 1994. Physical Properties of High Temperature Superconductors. IV. World Scientific. Singapore.
- Ginzburg VL and Kirzhnits DA. 1982. High Temperature Superconductivity. New York and London.
- Hughes T, Yang Y, Bednuz C and Power A. 1997. Self-field AC loss of assemblies of Ag-sheathed PbBi₂2223 tapes. IEEE Trans. Appl. Supercon., 9:774.
- Iwasa Y and Adzovie V. 1995. Index number (n) below critical current in Nb-Ti superconductors. IEEE Trans. Appl. Supercon., 5:343.
- Kaiser AW, Hennig W, Bornemann HJ. 1998. Properties of melt textured Sm/Nd-Ba-Cu composites. Physica C, 299:185-190.
- Kartal M. 2009. Yttrium(1) Baryum(2-x) M(x) Bakır(3) Oksijen (7-y) (M = Lityum, Sezyum ve Bor) Süperiletken Bileşiğinin Bazı Fiziksel ve Yapısal Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Kırıkkale.
- Kılıç S. 2008. Yüksek Geçiş Sıcaklıklı Süperiletkenlerde Kritik Durum Modellerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Kim CJ, Hong GW, Oh HJ. 2001. Multi-seeded melt growth processed YBCO superconductors. Physica C, 357-360:635-641.
- Kim YB, Hempstead CF and Strnad AR. 1963. Flux creep in hard superconductors. Phys. Rev., 131:2486.
- Kittel C. 1976. Introduction to solid state physics. John Wiley and Sons. United States.
- Lin CT, Liang B, Chen HC. 2002. Top-seeded solution growth of Ca-doped YBCO single crystals. Journal of Crystal Growth, 237-239:778-782.
- Meissner W and Ochsenfeld R. 1933. Superconductivity. Nature, 132:931-935.
- Müller P, Ustinov AV, Schmidt VV. 1997. The Physics of Superconductors-Introduction to Fundamentals and Applications. Springer. Germany, p. 1:115.

- Nagamatsu J, Nakagawa N, Muranaka T, Zenitani Y, Akimitsu J. 2001. Superconductivity at 39 K in Magnesium Diboride. *Nature*, 410-6824: 63-64.
- Onnes HK. 1911. Superconductivity and Magnetism. *Comm. Phys. Lab. Univ., Leiden*.
- Poole CP. 2000. *Handbook of Superconductivity*. Academic Press. San Diego.
- Poole CP, Datta T and Fraoch H. 1989. *Cooper Oxide Superconductors*. Wiley. New York.
- Qin MJ, Kaiser AW, Bornemann HJ. 1999. Study of magnetic properties of melt textured $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\text{SIGMA}}$ with Pt, Ce and Ag dopants. *Physica C*, 311:280-286.
- Rose-Innes AC and Rhoderick EH. 1978. *Introduction To Superconductivity Second Edition*. p19, Chapter: 2.21. Pergamon Press.
- Sarıhan M. 2011. $(\text{Sm}_{123})_{1-x}(\text{Nd}_{123})_x$ süperiletkenlerinin manyetik kaldırma kuvvetinin sıvı azot sıcaklığında incelenmesi. Rize Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Rize.
- Schmidt VV, Müller P and Ustinov AV. 1997. *The Physics of Superconductors- Introduction to Fundamentals and Applications*. Springer. Germany. 206s.
- Sheahan TP. 1994. *Introduction to High-Temperature Superconductivity*. New York. Plenum Press.
- Speech ED, Sparks CJ, Dhere AG, Brynestad J, Cavin OB, Kroeger DM ve Oye HA. 1988. Effect of Oxygen Pressure on the Orthorhombic-Tetragonal Transition in the HTS $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. *Physical Review B*, 37:7426-7434.
- Stavrev S. 2002. *Modelling of High Temperature Superconductors for AC Power Applications*. Ph. D. Thesis. Ingénieur électricien, diplômé de l'Université Technique de Varna. Bulgarie.
- Suematsu H, Kawano M, Onda T, Akao T, Hayakawa M, Ogiwara H, Karppinen M, Yamauchi H. 1999. Peak effect in critical current density induced by oxygen non-stoichiometry in cation-stoichiometric $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ superconductor. *Physica C*, 324:161-171.
- Tallon JL, Pooke DM, Buckley RG, Presland MR and Blunt FJ. 1990. $\text{R}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-d}$ A 92 K Bulk Superconductor. *Physical Review B*, 41:7220- 7223.
- Tinkham M. 1975. *Introduction to Superconductivity*. McGraw-Hill. USA.
- Tinkham M. 1982. *Introduction to Superconductivity*. Pergoman Press. Oxford. New York.
- Tixador P. 1995. *Les Supraconducteurs*. Paris. Hermes.
- Todt VR, Sengupta S, Shi D, Sahm PR, McGinn PJ, Poeppel RB, Hull JR. 1994. Processing of large $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ domains for levitation applications by a $\text{Nd}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ seeded melt-growth technique. *Journal of Electronic Materials*, 23,11:1127-1130.

- Vennila RS, Jaya NV, Natarajan S. 2005. High-pressure and high-temperature electrical resistivity studies on Nd-123. *Materials Letters*, 59, 14,15:1764-1766.
- Wang JS, Wang SY, Ren ZY, Jiang H, Zhu M, Wang XR, Shen XM and Song HH. 2003. Experiment results of high temperature superconducting Meglev vehicle. *Physica C*, 386:431-437.
- Wu MK, Ashburn JR, Torng CJ. 1987. Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O Compound System at Ambient Pressure. *Phys. Rev. Lett.*, 58:908-910.
- Yakıncı ME. 1992. "Thick film Glass-Ceramic Superconductors, Fabrication". PhD Thesis. University of Warwick.
- Yamachi N, Nishikawa T, Sakai N, Sawa K and Murakami M. 2003. Levitation forces of bulk superconductors in varying field. *Physica C*, 392-396:579-584.
- Yan MF, Barns RL, O'Bryan HM, Gallagher PK, Sherwood RC, Jin S. 1987. Water Interaction with the Superconducting YBa₂Cu₃O₇ Phase. *App. Phys. Lett.*, 51: 532-534.
- Yang WM, Zhou L, Feng Y, Zhang PX, Chen S, Wu MZ, Zhang CP, Wang FY, Du ZH, Wang JR, Yu ZM, Wu XZ, Gawalek W and Gornert P. 1998. The grain-alignment and its effect on the levitation force of melt processed YBCO single-domain bulk superconductors. *Physica C*, 307:271-276.
- Yang WM, Zhou L, Feng Y, Zhang PX, Nicolsky R and de Andrade JrR. 2003. The characterization of levitation force and attractive force of single-domain YBCO bulk under different field cooling process. *Physica C*, 398:141-146.
- Yang WM, Zhou L, Feng Y, Zhang PX, Wang JR, Zhang CP, Yu ZM, Tang XD and Wei W. 2001. The effect of magnet configurations on the levitation force of melt processed YBCO bulk superconductors. *Physica C*, 354:5-12.
- Yang WM, Zhou L, Feng Y, Zhang PX, Zhang CP, Yu ZM and Tang XD. 2002. The relationship of levitation force between single and multiple YBCO bulk superconductors. *Physica C*, 371:219-223.
- Yvon K and François M. 1989. Crystal Structures of High-Tc Oxides. *Z. Physics*, 76:413-444.

ÖZGEÇMİŞ

04.04.1987 yılında Yozgat'ın Sorgun ilçesinde doğdu. İlkokulu Sorgun Ertuğrul Gazi İlköğretim Okulu'nda, Ortaokulu'nu Sorgun Fatih İlköğretim Okulu'nda okudu. Lise eğitimini Sorgun Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Rize Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü'nü kazanan Elvan COŞKUN, 2009 yılında 4 yıllık lisans eğitimini başarı ile tamamladı. Eylül 2009'da Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı.