

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**(Y<sub>1-x</sub>Yb<sub>x/2</sub>Gd<sub>x/2</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> VE (Yb<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> SÜPERİLETKENLERİNİN  
YAPISAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Şükrü ÇELİK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Doktor”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Enstitüye Verildiği Tarih : 16/05/2006  
Tezin Savunma Tarihi : 13/06/2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ekrem YANMAZ  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Mustafa ALTUNBAŞ  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. İbrahim Halil MUTLU  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Uğur ÇEVİK**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

$(Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  ve  $(Yb_{1-x}Gd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  Süperiletkenlerinin Yapısal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi konulu çalışmada örneklerin hazırlanması ve tüm ölçümlerinin yapılması K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde, Katıhal Fiziği Araştırma laboratuvarı imkânlarıyla yapıldı.

Doktora tez çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını ve gerek maddi gerek manevi desteğini esirgemeyen danışmanım sayın Prof. Dr. Ekrem YANMAZ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca doktora çalışmamı sürdürebilmem için K.T.Ü. Fizik Bölümüne görevlendirilmemde kolaylık sağlayan Dekanımız Sayın Prof. Dr. Nazmi Turan OKUMUŞOĞLU'na ve Fizik bölümündeki araştırma laboratuvarında çalışmalarımın her türlü olanakları kullanmama izin veren Bölüm Başkanı sayın Prof. Dr. Ali İhsan KOBYA'ya teşekkür ederim. Deney sistemlerini programlamada yardımlarından dolayı Fermi National laboratuvarından sayın Doç. Dr. Selçuk Cihangir'e ve Öğretmen Volkan Aktürk'e de teşekkürlerimi sunarım.

Bu zamana kadar her türlü desteğini esirgemeyen ANNEME, BABAMA ve sevgili EŞİME en içten teşekkürlerimi sunarım.

Şükrü ÇELİK

Trabzon 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	VI
SUMMARY .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XVII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XVIII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. II. Tip Süperiletkenlerin Özellikleri .....	6
1.2.1. II. Tip Süperiletkenlerin Manyetizasyonu .....	6
1.2.2. Karışık Hal Durumu .....	8
1.2.3. Akı Çivilenmesi (Flux Pinning), Akı Sürüklenmesi (Flux Creep) ve Akı Akışı (Flux Flow) .....	8
1.2.4. Üst ve Alt Kritik Manyetik Alanlar .....	10
1.2.5. Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerinde Kritik Akımlar.....	12
1.3. Yüksek Sıcaklık Süperiletken Malzemeleri.....	14
1.3.1. YBCO .....	15
1.4. Süperiletkenlikte AC kayıp mekanizmaları.....	18
1.4.1. Histeresiz Kaybı.....	18
1.4.2. Akı Çivilenmesi (Flux Pinning), Akı Sürüklenmesi (Flux Creep) Kayıpları .....	19
1.4.3. Metal Yapıda Eddy Akım Kaybı .....	21
1.5. Tersinir ve Tersinmez Süperiletkenler.....	23
1.6. Y-Ba-Cu-O Sistemi .....	24
1.7. Malzeme Üretim Teknikleri .....	26
1.8. $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Süperiletken Sisteminde Katkı Mekanizması.....	26
1.9. YBCO'da Y yerine Yb ve Gd'nin Yer Değiştirme Etkileri .....	27
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	31
2.1. Örneklerin Hazırlanması.....	31

2.1.1.	Toz Örneklerin Hazırlanması .....	31
2.1.2.	Kalsinasyon İşlemi.....	32
2.1.3.	Sinterlenme İşlemi .....	33
2.1.4.	Oksijen Verme İşlemi .....	34
2.2.	DTA Ölçümleri .....	35
2.3.	Optik Fotoğrafları .....	36
2.4.	X-Işını Kırınım Ölçümleri .....	37
2.5.	Yoğunluk Ölçümleri .....	38
2.6.	Dilatometre Ölçümleri .....	40
2.7.	Direnç ve Manyetizasyon Ölçümleri .....	42
2.7.1.	Direnç ve Manyetizasyon Ölçüm Sistemleri .....	43
2.7.1.1.	Direnç Modülü.....	43
2.7.1.2.	Titreşim Örneklemeli Manyetometre (VSM) Modülü .....	44
2.7.2.	VSM Sisteminde Manyetizasyon Ölçümü .....	45
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
3.1.	Giriş .....	47
3.2.	DTA Analizleri .....	47
3.3.	XRD Analizleri.....	49
3.4.	Optik Fotoğraf Analizleri .....	55
3.5.	Yoğunluk Ölçümleri .....	62
3.6.	Dilatometre Ölçümleri .....	63
3.7.	Direnç Ölçümleri .....	66
3.7.1.	I. ve II. Grup Örneklerin Direnç Ölçümleri.....	66
3.7.2.	Aktivasyon Enerjisi Hesabı .....	73
3.7.2.1.	I. ve II. Grup Örneklerin Aktivasyon Hesaplamaları .....	73
3.7.3.	Üst Kritik Manyetik Alan ve Tane İçi Kritik Manyetik Alan Hesaplamaları .....	85
3.7.3.1.	I. ve II. Grup Örneklerin Üst Kritik Manyetik Alan ve Tane İçi Kritik Manyetik Alan Hesaplamaları .....	85
3.8.	Manyetizasyon Ölçümleri.....	93
3.8.1.	I. ve II. Grup Örneklerin Manyetizasyon Ölçümleri .....	93
3.8.2.	Kritik Akım Yoğunluğu Hesabı .....	114
3.8.2.1.	I. ve II. Grup Örneklerin Kritik Akım Yoğunlukları Hesabı.....	114



	<b><u>Sayfa No:</u></b>
4. SONUÇLAR.....	135
5. ÖNERİLER.....	138
6. KAYNAKLAR.....	139
ÖZGEÇMİŞ.....	147

## ÖZET

Bu çalışmada, katıhal tepkime yöntemi kullanılarak iki farklı seride örnekler üretildi. I.seri ( $Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2}$ )Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> ve II.seri (Yb<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> olup, her seri için altı farklı katkı oranı seçildi ve bu katkı oranları x=0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1,0'dir. Bu örneklerin süperiletkenlik yapısal özellikleri, diferansiyel termal analiz (DTA), dilatometrik ölçüm, yoğunluk ölçümü, x-ışını kırınımı (XRD), polarize ışık optik mikroskop kullanılarak, fiziksel özellikleri ise, düşük sıcaklık (5 – 300 K) direnç (R-T) ve manyetizasyon (m-H) ölçümleriyle incelendi. Bu ölçümlere dayanarak, I.seri örneklerde her iki (Yb ve Gd) katkının örgü içine girdiği ve süperiletkenlik özellikler üzerinde etkili olduğu görüldü. Birbirine göre zıt ve farklı değerde olan etkiler sonucunda süperiletken örneklerin örgü parametrelerinin katkı oranına göre bir orantısallık göstermediği bulundu. Bu farklılık, I.seri süperiletken ailesinin fiziksel özelliklerinden olan üst kritik manyetik alan, aktivasyon enerjisi, manyetizasyon ve dolayısıyla kritik akım yoğunlukları üzerine aynı oranlarda etki ettiği görüldü. II.seri örneklerin x-ışını kırınım desenlerinden hesaplanan c - örgü parametresinde, katkı oranına (x) göre artan yönde bir değişim görüldü. II.seri örneklerde katkı oranının x=0,6'dan küçük değerlerinde c - örgü parametresi arttığı halde, fiziksel özelliklerden üst kritik manyetik alan değerleri azalmakta ve x=0,6'dan büyük değerler için arttığı ölçüm sonuçlarından görüldü. Bu sonuçlardan, süperiletkenlerin üst kritik manyetik alan H<sub>c2</sub>(T) değerlerinin x katkı miktarına göre ayarlanabileceği sonucuna varıldı. I. ve II.seri örneklerin mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik alan H<sub>c2</sub>(0) değerlerinin sırasıyla 83 T -112,5 T ve 73 T – 184,5 T aralıklarında olduğu hesaplandı. Ayrıca manyetizasyon ölçümlerinden II.seri örneklerde katkı artışı, yapıya daha hızlı paramanyetik özellik kazandırırken, bu değişim I.seride ise daha yavaştır. Kritik akım yoğunlukları, her iki seri için, katkı miktarının değişimine göre büyük farklılık göstermemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Süperiletkenlik, Üst Kritik Manyetik Alan, Aktivasyon Enerjisi, Y123, (Y,YbGd)123, (Yb,Gd)123, Tane İçi Kritik Manyetik Alan, Kritik Akım Yoğunluğu

## SUMMARY

### **Investigation of Structural and Physical Properties of $(Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ and $(Yb_{1-x}Gd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ Superconductors**

In this work, the samples were fabricated by using Solid State Reaction (SSR) in two groups. The first group is  $(Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  and the second is  $(Yb_{1-x}Gd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  and six ratios of  $x = 0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  and  $1,0$  were chosen for each group. The superconducting structural properties were examined by using Differential Thermal Analysis (DTA), Dilatometer, Densitometer, X-Ray Diffractometer (XRD) and Polarized-light Optical Microscopy and the physical properties of all the samples were examined using low temperature (5-300K) resistance and magnetization measurements. Using the results of the measurements, it was shown that the both substitutions Yb and Gd in the first group entered into the unit cell and affected the superconducting properties. Because of opposite and different influence of quantity of Yb and Gd on superconductivity, the lattice parameters have not shown a direct proportionality with increasing  $x$ . It was found that this difference has similar effect on physical properties such as upper critical magnetic field ( $H_{c2}$ ), activation energy, magnetization and critical current density ( $J_c$ ) for the first group. It was seen that  $c$  lattice parameters calculated from XRD patterns of the second group samples has direct proportionality with increasing  $x$  value. From experiments, it was resulted that the  $H_{c2}$  values have shown decreasing effect for the ratio below 0.6, and these values indicate increasing effect above 0.6 while  $c$  lattice parameter increasing. From these results, it was thought that the  $H_{c2}$  value could be adjusted by ratio of  $x$ . The upper critical magnetic fields at 0 K for the first and second groups are found to be 83 T – 112,5 T, and 73 T – 184,5 T respectively. In addition, from magnetization measurements, the increasing  $x$  ratio in the first group has shown slow changing the diamagnetic structure to the paramagnetic property although this transformation becomes faster in the second group samples. The critical current densities have not shown big differences with variation of doping concentration for each group.

**Key Words:** Superconductivity, Upper Critical Magnetic Field, Activation Energy, Y123, (Y,YbGd)123, (Yb,Gd)123, Intragrain Critical Magnetic Field, Critical Current Density

## ŞEKİLLER DİZİNİ

**Sayfa No:**

- Şekil 1. a) I. ve b) II. tip süperiletkenlerin manyetik alandaki davranışları..... 3
- Şekil 2. (a) İdeal II. tip süperiletkenin magnetizasyonu. Manyetik alan  $H_{c1}$ 'den küçük manyetik alanlarda mükemmel diamagnetizma ve  $H_{c2}$ 'den yüksek alanlarda ise yalnızca normal iletken halde olur. (b) II. tip gerçek süperiletkenin magnetizasyonu. Eğri yalnızca  $H_{irr}$  yukarısında her iki yön için magnetizasyon aynıdır.  $H=0$ 'da ise malzemede çivilenmiş veya tuzaklanmış akı bulunmaktadır (Sheahan, 1994)..... 7
- Şekil 3. Normal merkezleri ve etrafında dolanan süperakım girdaplarını gösteren karışık hal. Dikey çizgiler merkezlerin içinden geçen akıyı gösterir. Yüzey akımı bulk diamagnetizmayı gösterir. .... 9
- Şekil 4. Akı akışı mekanizması. Manyetik alandaki akımın varlığı Lorentz kuvveti üretir. Lorentz kuvveti çivileme potansiyelini geçebilen bir kuvvete ulaştığında bir diğer kuyuya geçer (Sheahan 1994). .... 10
- Şekil 5. Aynı termodinamik kritik alana  $H_c$  sahip I. ve II. tip süperiletkenlerin akı girginliği davranışının karşılaştırılması (Tinkham, 1975 ). .... 12
- Şekil 6. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin faz diyagramı (Larbalestier 2000)..... 12
- Şekil 7. 77 K'de DC akım uygulayarak elde edilen ölçümlerden elde edilmiş iki adet Bi-2223 şeritlerinin I-V karakteristikleri (Stavrev, 2002). .... 14
- Şekil 8. Farklı tabakaları gösteren,  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  birim hücre şeması. (a) Tetragonal; üst ve alt Cu-O düzlemlerindeki Cu atomları arasındaki oksijenin rastgele işgal etmesi. (b) ortorombik; alt ve üst Cu-O tabakalarında oksijenlerin yalnızca  $b$  yönünde yerleşmesidir..... 16
- Şekil 9. II. tip süperiletkenlerin kesitine manyetik akı ve akımın girme bölgeleri.  $B_a$  uygulanan dış manyetik alandır. Orta bölge serbest akı ve akım içerdiği halde girginliğin süperiletken malzemenin kenarlarından başladığını göstermektedir. İndüklenen akımların zıt yönleri  $\otimes$  ve  $\bullet$  ile gösterilmiştir..... 18
- Şekil 10. Mutlak sıfırda akımın bir fonksiyonu olarak elektrik alanın çizimi.  $J_c$  altında tüm akı girdapları çivilenir, yukarısında ise  $E=\rho_f(J-J_c)$  değişimine uygun enerji kaybıyla akı akar. Burada  $\rho_f=\rho_n(H/H_{c2}(T))$  ile verilir (Sheahan 1994)... 20
- Şekil 11. 77 K'de termal olarak aktif hale gelmiş akı hareketinin etkisini gösteren E-J çizimidir. Akı çivilenmesi  $J_c$  altında akımlardaki enerji kaybına (dirence eşdeğer) neden olur (Sheanan 1994). .... 21

Şekil 12.	Dış alan olmadan yalnızca numune üzerinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alan tarafından silindirik süperiletkendeki Eddy akımlarının oluşması.....	22
Şekil 13.	2b kalınlığa fakat farklı iletkenliğe sahip iki tabaka için Eddy akım kayıplarının frekansa bağlılığı. $\omega^2$ ve $\omega^{1/2}$ arasındaki farkın sıfıra ulaştığı durum $b=\delta$ 'daki frekansta meydana gelir (Hughes, 1997).....	22
Şekil 14.	YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-x</sub> yapısına ait bazı parametrelerin oksijen miktarına göre değişimi. (a) Kritik sıcaklık, (b) birim hücre hacmi, (c) Ortorombiklik, (d) <i>a</i> örgü parametresi, (e) <i>b</i> örgüparametresi ve (f) <i>c</i> örgü parametresi .....	25
Şekil 15.	I. ve II. seri örneklerin kalsinasyon işlemi için sıcaklık – zaman grafiği .....	33
Şekil 16.	I. ve II. seri örneklerin sinterlenme işlemi için sıcaklık – zaman grafiği .....	34
Şekil 17.	I. ve II. seri örneklere oksijen verme işlemi için sıcaklık – zaman grafiği.....	34
Şekil 18.	Diferansiyel termal analiz (DTA) sistemi .....	35
Şekil 19.	Diferansiyel termal analiz (DTA) sistem geometrisi.....	36
Şekil 20.	Nikon ECLIPSE ME600 Polarize Optik Mikroskop.....	37
Şekil 21.	Rigaku D/Max-IIIC polikristal difraktometresi.....	38
Şekil 22.	Yoğunluk ölçüm deney geometrisi.....	39
Şekil 23.	Dilatometre ölçümü sistemi.....	41
Şekil 24.	Dilatometre ölçüm sistemi deney geometrisi .....	41
Şekil 25.	Quantum Design PPMS sistemi .....	42
Şekil 26.	Quantum Design direnç ölçümü için örnek tutucu üstten ve alttan görünümü .	44
Şekil 27.	VSM modülünün sıvı azot ceketli sıvı helyum tankındaki konumları. Üst taraf gradiyometre ve alt taraf ise algılama bobininin büyütülmüş halini göstermektedir. ....	46
Şekil 28.	A0, A2, A4, A6, A8 ve A10 örnekleri için diferansiyel ısıl analizleri .....	48
Şekil 29.	B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örnekleri için diferansiyel ısıl analizleri .....	49
Şekil 30.	I. seri örneklerin polikristal difraktometresiyle elde edilmiş x-ışını kırınım desenleri.....	52
Şekil 31.	II. seri örneklerin polikristal difraktometresiyle elde edilmiş x-ışını kırınım desenleri.....	53

Şekil 32.	I. seri örneklerin x-ışını kırınımları kullanılarak hesaplanan örgü parametrelerinin ( $a$ , $b$ ve $c$ ) ve hacimlerinin katkı miktarına göre değişimleri .	54
Şekil 33.	II. seri örneklerin x-ışını kırınımları kullanılarak hesaplanan örgü parametreleri ( $a$ , $b$ ve $c$ ) ve hacimlerinin katkı miktarına göre değişimleri .....	54
Şekil 34.	A0 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı .....	56
Şekil 35.	A2 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı .....	56
Şekil 36.	A4 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı .....	57
Şekil 37.	A6 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı .....	57
Şekil 38.	A8 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı .....	58
Şekil 39.	A10 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı .....	58
Şekil 40.	B0 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı.....	59
Şekil 41.	B2 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı.....	59
Şekil 42.	B4 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı.....	60
Şekil 43.	B6 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı.....	60
Şekil 44.	B8 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı.....	61
Şekil 45.	B10 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı.....	61
Şekil 46.	I. seri örneklerin yoğunluklarının katkı miktarına göre değişimi .....	62
Şekil 47.	II. seri örneklerin yoğunluklarının katkı miktarına göre değişimi.....	63
Şekil 48.	I. seri örneklerin dilatometrik ölçüm sonuçları .....	64
Şekil 49.	II. seri örneklerin dilatometrik ölçüm sonuçları .....	65
Şekil 50.	A0 örneğinin $H=0,0 - 5$ T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	67
Şekil 51.	A2 örneğinin $H=0,0 - 5$ T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	67
Şekil 52.	A4 örneğinin $H=0,0 - 5$ T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	68
Şekil 53.	A6 örneğinin $H=0,0 - 5$ T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	68

Şekil 54.	A8 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	69
Şekil 55.	A10 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	69
Şekil 56.	B0 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	70
Şekil 57.	B2 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	70
Şekil 58.	B4 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	71
Şekil 59.	B6 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	71
Şekil 60.	B8 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	72
Şekil 61.	B10 örneğinin $H=0,0 - 5 T$ (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.....	72
Şekil 62.	A0 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular .....	76
Şekil 63.	A2 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular .....	76
Şekil 64.	A4 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular .....	77
Şekil 65.	A6 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular .....	77
Şekil 66.	A8 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular .....	78
Şekil 67.	A10 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular .....	78
Şekil 68.	I. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin (eV) manyetik alana göre değişimi .	79
Şekil 69.	I. seri örneklerde manyetik alanla değişim parametresi $n$ 'nin tayini.....	79
Şekil 70.	I. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin manyetik alandan bağımsız kısmının ve $n$ alan kuvvetinin katkı miktarına göre değişimleri .....	80
Şekil 71.	B0 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular.....	80
Şekil 72.	B2 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular.....	81
Şekil 73.	B4 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular.....	81

Şekil 74.	B6 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular.....	82
Şekil 75.	B8 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular.....	82
Şekil 76.	B10 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular.....	83
Şekil 77.	II. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin (eV) manyetik alana göre değişimi	83
Şekil 78.	II. seri örneklerde manyetik alanla değişim parametresi $n$ 'nin tayini .....	84
Şekil 79.	II. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin manyetik alandan bağımsız kısmının ve $n$ alan kuvvetinin katkı miktarına göre değişimleri .....	84
Şekil 80.	I. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi .....	88
Şekil 81.	I. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının $1-T/T_c$ ile değişimi. Değişimin eğimi mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik değeridir .....	88
Şekil 82.	I. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi .....	89
Şekil 83.	I. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının $1-T/T_c$ ile değişimi .....	89
Şekil 84.	I. seri örneklerin $c$ örgü parametresi, üst kritik manyetik alan ve aktivasyon enerjilerinin katkıya göre değişimleri.....	90
Şekil 85.	II. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi .....	90
Şekil 86.	II. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının $1-T/T_c$ ile değişimi.....	91
Şekil 87.	II. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi .....	91
Şekil 88.	II. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının $1-T/T_c$ ile değişimi .....	92
Şekil 89.	II. seri örneklerin hesaplanan üst ve tane içine girmeye başladığı manyetik alanın katkı ile değişimi.....	92
Şekil 90.	A0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri .....	96
Şekil 91.	A2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri .....	96
Şekil 92.	A6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri .....	97
Şekil 93.	A0 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri .....	97
Şekil 94.	A2 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri .....	98



Şekil 95.	A6 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1$ ve 3 T alana kadar M-H ilmekleri .....	98
Şekil 96.	A0 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	99
Şekil 97.	A2 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	99
Şekil 98.	A6 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	100
Şekil 99.	5 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri .....	100
Şekil 100.	25 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri ...	101
Şekil 101.	50 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri ...	101
Şekil 102.	77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri ...	102
Şekil 103.	77 K'de $H_{maks}=0,6$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri	102
Şekil 104.	B0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri.....	103
Şekil 105.	B2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri.....	103
Şekil 106.	B4 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri.....	104
Şekil 107.	B6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri.....	104
Şekil 108.	B8 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri.....	105
Şekil 109.	B10 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar M-H ilmekleri.....	105
Şekil 110.	B0 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	106
Şekil 111.	B2 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	106
Şekil 112.	B4 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	107
Şekil 113.	B6 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	107
Şekil 114.	B8 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	108
Şekil 115.	B10 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	108
Şekil 116.	B0 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri.....	109
Şekil 117.	B2 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	109

Şekil 118. B4 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	110
Şekil 119. B6 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	110
Şekil 120. B8 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	111
Şekil 121. B10 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri.....	111
Şekil 122. 5 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri.....	112
Şekil 123. 25 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri.....	112
Şekil 124. 50 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri.....	113
Şekil 125. 77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri.....	113
Şekil 126. 77 K'de $H_{maks}=0,6$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri.....	114
Şekil 127. A0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	116
Şekil 128. A2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	117
Şekil 129. A6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	117
Şekil 130. A0 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri.....	118
Şekil 131. A2 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri.....	118
Şekil 132. A6 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1$ ve 3 T alana kadar J-H grafikleri.....	119
Şekil 133. A0 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	119
Şekil 134. A2 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	120
Şekil 135. A6 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	120
Şekil 136. 5 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri .....	121

Şekil 137. 25 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri .....	121
Şekil 138. 50 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri .....	122
Şekil 139. 77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri .....	122
Şekil 140. 77 K'de $H_{maks}=0,6$ T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri ..	123
Şekil 141. B0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	123
Şekil 142. B2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	124
Şekil 143. B4 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	124
Şekil 144. B6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	125
Şekil 145. B8 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	125
Şekil 146. B10 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K $H_{maks}=3$ T alana kadar J-H grafikleri .....	126
Şekil 147. B0 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	126
Şekil 148. B2 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	127
Şekil 149. B4 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	127
Şekil 150. B6 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	128
Şekil 151. B8 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	128
Şekil 152. B10 örneğinin 5 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	129
Şekil 153. B0 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=1, 2, 3, 4$ ve 5 T alana kadar J-H grafikleri .....	129
Şekil 154. B2 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	130
Şekil 155. B4 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	130
Şekil 156. B6 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	131
Şekil 157. B8 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	131
Şekil 158. B10 örneğinin 77 K'de $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$ ve 1 T alana kadar J-H grafikleri .....	132

Şekil 159. 5 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri .....	132
Şekil 160. 25 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri .....	133
Şekil 161. 50 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri .....	133
Şekil 162. 77 K'de $H_{maks}=3$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri .....	134
Şekil 163. 77 K'de $H_{maks}=0,6$ T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri .....	134

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No:

Tablo 1.	II. tip metal alaşım süperiletkenlerinde $T_c$ , $H_{c2}$ ve $B_{c2}$ değerleri .....	11
Tablo 2.	Güç uygulamaları için HTS süperiletkenlerinin kritik parametreleri .....	15
Tablo 3.	$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 'nin (YBCO) <i>ab</i> -düzlemi yönünde ve <i>c</i> -ekseni yönünde sıfır mutlak sıcaklıkta süperiletkenlik ana parametreleri. $\xi$ koherens uzunluğu, $\lambda$ manyetik alan girme derinliği, $H_c$ termodinamik kritik manyetik alan, $J_c$ kritik akım yoğunluğu, ve $H_{c1}$ ve $H_{c2}$ ise sırasıyla alt ve üst kritik manyetik alan değerleri (Ginsberg, 1994; Poole, 2000).....	17
Tablo 4.	Başlangıç kompozisyonları oluşturmak için kullanılan bileşiklerin sembolü, molekül ağırlıkları ve saflık dereceleri .....	31
Tablo 5.	I. seri serinin oksit bileşenlerinin miktarları .....	32
Tablo 6.	II. seri serinin oksit bileşenlerinin miktarları.....	32
Tablo 7.	DBWS-9006PC programı (Caneiro vd., 1981) kullanılarak hesaplanan teorik örgü parametreleriyle deneysel verilerin karşılaştırılması.....	51
Tablo 8.	I. seri örneklerin $U(0 T)$ , $n$ ve $c$ değerlerinin katkı miktarına göre listesi .....	75
Tablo 9.	II. seri örneklerin $U(0 T)$ , $n$ ve $c$ değerlerinin katkı miktarına göre listesi.....	75

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a, b, c$	: Örgü parametreleri
AC	: Alternatif akım
B	: Manyetik alan
BCS	: Barden-Cooper-Schrieffer
DC	: Doğru akım
f	: Frekans
F	: Kuvvet
FC	: Manyetik alan altında soğutma
$F_L$	: Lorentz kuvveti
$F_0$	: Akı çivileme kuvveti
H	: Dış manyetik alan
$H_a$	: Uygulanan manyetik alan
$H_{ac}$	: Uygulanan dış AC 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
$H_{dc}$	: Uygulanan dış manyetik alan
$H_{irr}$	: Tersinmez (irrevesibility) manyetik alan
$H_{irr}(0)$	: Mutlak sıfır sıcaklıktaki tersinmez (irrevesibility) manyetik alan
HTS	: Yüksek sıcaklık süperiletkenleri
I	: Akım
$I_t$	: Alternatif akım
J	: Akım yoğunluğu
$J_c$	: Kritik akım yoğunluğu
K	: Kelvin
$k_B$	: Boltzman sabiti
LTS	: Düşük sıcaklık süperiletkenleri
M	: Manyetizasyon
m	: Manyetik Moment

PPMS	: Fiziksel özellik ölçüm sistemi
R	: Direnç
SSR	: Katı-hal tepkime
T	: Sıcaklık
TAFF	: Termal-uyarılmış-akı akışı
$T_c$	: Kritik sıcaklık
U	: Aktivasyon enerjisi
V	: Potansiyel
$v_\phi$	: Akı akış hızı
VSM	: Titreşim örnekleme manyetometre
ZFC	: Manyetik alan yokken soğutma
$\phi_0$	: Akı kuantumu
$\gamma$	: Sürüklenme katsayısı
$\kappa$	: Ginzburg-Landau parametresi
$\lambda$	: Girme derinliği
$\delta$	: Oksijen eksikliği
$\mu$	: Mikro ( $10^{-6}$ )
$\mu_r$	: Manyetik geçirgenlik
$\Omega$	: Direnç birimi
$\rho$	: Öz direnç
$\rho_n$	: Normal hal öz direnci
$\xi$	: Koherens uzunluğu
$\omega_c$	: Kritik frekans

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Belirli bir sıcaklık altında direncinin sıfıra düşmesiyle diğer metallere ve iletkenlere farklı özellik taşıyan süperiletkenler, helyumun sıvı hale getirilmesinden sonra, 1911'de, Leiden Üniversitesinden Kamerlingh Onnes tarafından ilk defa gözlemlendi (Onnes, 1911). O zamana kadar metallere elektriksel direncinin mutlak sıfır sıcaklığında sıfıra gideceği biliniyordu. Fakat, sonlu sıcaklıkta direncin sıfıra gideceği bilinmiyordu. Cıvanın direnç ölçümü esnasında Kamerling Onnes, 4,2 K'de direncin  $120 \mu\Omega$ 'dan  $3 \mu\Omega$ 'a aniden düşmesini gözlemledikten sonra, süperiletkenliğin ilk tanımı, belli bir sıcaklığın altında malzemenin direnç göstermemesi olarak yapıldı. Direncin yok olduğu sıcaklık, kritik sıcaklık ( $T_c$ ) olarak adlandırıldı.

Süperiletkenliğin keşfinden sonra bu alanda çalışmalar yoğunluk kazandı. 1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld manyetik alan altında bir süperiletken numunenin dışarıdan uygulanan alanı dışarıladığını (Meissner ve Ochsenfeld, 1933) göstermesi ise ikinci büyük bir gelişmedir. Bu olay, Meissner olayı olarak adlandırılır. 1935 yılında ise London kardeşler, Meissner olayını açıkladılar (Seeber, 1998). Meissner olayı ortaya atıldıktan sonra, süperiletken örneğin içine manyetik alanın ne kadar girilebilirliği düşüncesi ortaya atıldı. 1950 yılında Ginzburg ve Landau, normal hal ile süperiletken hal arasında bir düzen parametresi olduğunu düşündüler (Ginzburg ve Kirzhnits, 1982). Bir malzemenin süperiletken özellik taşıması için hem sonlu sıcaklıkta direncinin aniden sıfıra düşmesi hem de diamanyetik özellik göstermesi gerekmektedir (Buchel, 1991). Bu fikir 1962 yılında C.P. Bean tarafından daha da geliştirildi ve bir süperiletkenin, süperiletkenliğini kaybetmeden önceki kritik akım yoğunluğunun ( $J_c$ ), manyetizasyon eğrilerinden nasıl elde edileceği bulundu (Cyrot, 1992). Aynı yıllarda hem teorik hem de deneysel alanda çalışmalar yapıldı. Teorik olarak H. Frölich ve deneysel olarak E. Maxwell çalışmalar yaptılar (Rose-Innes, 1978). Çalışmalarıyla süperiletkenlik geçiş sıcaklığının, ortalama izotropik kütle artmasıyla düştüğünü gösterdiler. Bu olay süperiletkenlerde elektron-fonon etkileşme mekanizmasının varlığını gösterdi.

Süperiletkenlerin makroskopik teorisi olan BCS teorisi 1957'de Bardeen, Cooper ve Schrieffer tarafından açıklandı (Bardeen vd., 1957). Süper akımı taşıyan elektron



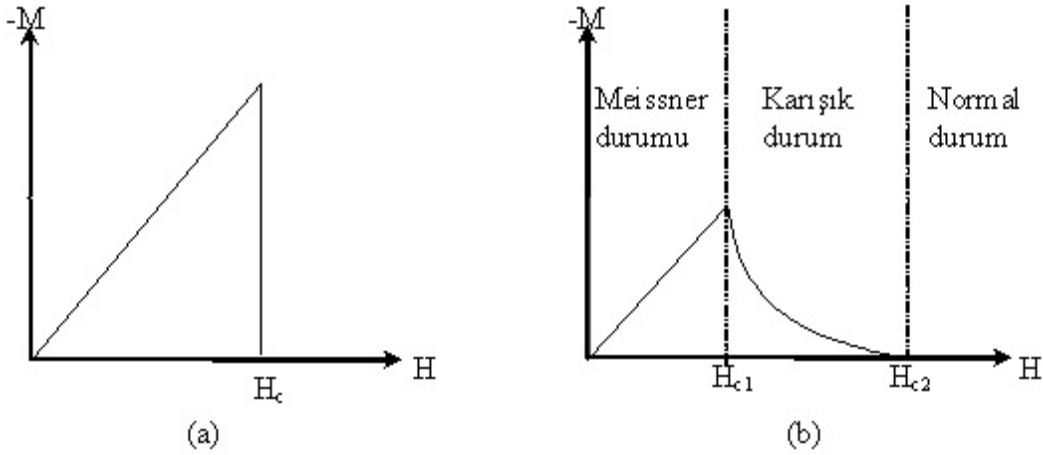
çiftlerinin fononlar aracılığıyla çiftlendiğini ortaya koyan BCS teorisi mutlak sıfır sıcaklığına yakın sıcaklıklarda süperiletkenliği açıklamasına rağmen, yüksek sıcaklıklarda farklı süperiletken sistemlerin nasıl süperiletken olduklarında yetersizdi. Bundan iki yıl sonra (1959) Gorkov-Ginzburg-Landau, kritik sıcaklığa yakın sıcaklıklarda BCS teorisinin özel bir durumu olabileceğini buldu. Zıt spin ve dalga vektörlerine sahip iki elektronun bozon aracılığıyla oluşan elektron çiftlenmesiyle Cooper çifti oluşur. BCS teorisi ise çiftlenmenin fononlar vasıtasıyla oluştuğu, bu nedenle kritik geçiş sıcaklığının 30 K civarında olması gerektiğini savunur. 1986 yılında yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin keşfinden sonra 30 K'den çok daha yüksek sıcaklıkta süperiletkenlerin bulunmasıyla (Seeber, 1998), BCS teorisinin öngördüğü çiftlenme mekanizması çürüdü. Bu konu üzerine makroskopik teori henüz olmadığından, Ginzburg Landau teorisi süperiletkenlerin makroskopik özelliklerini açıklamada kullanılmaktadır.

Bir başka önemli ilerleme ise 1962 yılında Brian D. Josephson tarafından oldu. Aralarında çok ince yalıtkan tabaka olmasına rağmen iki süperiletken malzeme arasında elektron tünellemesi olabileceğini düşündü. Bu düşünce 1973'te doğrulandı ve Nobel ödülüne layık görüldü.

1980'li yıllar süperiletkenlik alanında eşsiz on yıl oldu. 1964'te Standford Üniversitesinde Bill Little, karbon bazlı organik süperiletkenlerin mümkün olabileceğini tahmin etmesine rağmen, bu teorik süperiletkenlerin ilki 1980'de Kopenhag Üniversitesinde Danimarkalı fizikçi Klaus Bechgaard ve 3 kişiden oluşan Fransız grup tarafından başarıyla sentezlendi. 1986'daki önemli gelişme ise, İsviçre Röschlikon'da IBM araştırma laboratuvarında araştırmacı Alex Müler ve Georg Bednorz'un, 30 K'den yüksek kritik sıcaklığa sahip kırılğan seramik süperiletken bileşikler üretmesiydi. Seramikler normalde yalıtkan olduklarından yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde bir adım olarak düşünülmediler. Müler ve Bednorz daha sonra lantanyum, baryum, bakır ve oksijen bileşiklerini sinterlediler. 1986 yılında yaptıkları bu çalışma bakır-oksit süperiletkenlerindeki ilk çalışmadır (Bednorz ve Müller, 1986). Bir yıl sonra Ocak 1987'de Alabama-Huntsville üniversitesinde araştırmacı Paul Chu ve grubu ise Müler ve Bednorz'un kullandığı molekülde lantanyum yerine itriyum katarak (bugün YBCO olarak nitelendirilmektedir) kritik sıcaklığı 92 K'e yükseltmeyi başardılar (Maeda vd., 1988.; Chu, 1988). Sıvı azot sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda süperiletken hale geçebilecek malzemeler üretilmeye başlanması çok önemli bir gelişmedir.

Ginzburg Landau teorisi, süperiletkenlerin iki sınıfta incelenmesi gerektiğini öngörür. Bunlar manyetik alan içindeki davranışlarına göre, I. tip ve II. tip süperiletkenler olarak sınıflandırılırlar. Abrikosov, 1957 yılında Ginzburg Landau denkleminin Meissner etkisini açıklayan çözümünden daha farklı alternatif bir çözüm önerdi. Abrikosov, manyetik alanın II. tip süperiletkenlerde  $H_{c1} < H < H_{c2}$  aralığında manyetik akının kuantize olmuş akı çizgileri (girdapları) şeklinde bulk örnek içine girmesi gerektiğini ifade etti (Seeber, 1998).

I. tip süperiletkenler  $H_c$  kritik manyetik alan değerine kadar uygulanan manyetik alanı dışlar (Şekil 1a), II. tip süperiletkenler ise  $H_{c1}$ 'den küçük manyetik alanlarda dışlayıp,  $H_{c1} - H_{c2}$  manyetik alan değerleri arasında kısmi olarak dışarlar.  $H_{c2}$ 'den daha büyük alanlarda ise yapı tamamen normal (Şekil 1b) hale geri döner ve manyetik alan yapı içine tamamen girer.



Şekil 1. a) I. ve b) II. tip süperiletkenlerin manyetik alandaki davranışları

Keşfedilmesinden kısa süre sonra süperiletkenlik, sadece neden süperiletkenlik olduğunun teorik uğraşısı için değil, pratik uygulamalara imkân verebilmesi yönünden de büyük ilgi odağı oldu.

Düşük sıcaklık süperiletkenleri (çoğunluğu metaller ve bileşikleri olup  $T_c < 25$  K'dir.) en geniş uygulamalarından biri özelliklerine bağlı olarak, parçacık hızlandırıcılarında ve tıpla ilgili cihazlarda yaygın olarak kullanılır. Bununla birlikte düşük sıcaklık süperiletkenlerin en büyük dezavantajı, kritik sıcaklığın altında tutulması için sıvı helyuma ihtiyaç duymasıdır. Sıvı helyum kaynama sıcaklığı çok düşük ve doğada çok az bulunması nedeniyle elde etmesi zor ve pahalıdır. Bu nedenle düşük sıcaklık süperiletkenler kullanılarak yapılan cihazlar pahalı ve dolayısıyla oldukça lüktür.

Bunun yanında, azot havada en bol bulunan gazdır. Kaynama noktası 77,3 K olduğundan dolayı elde edilmesi kolaydır. Bu nedenlerden dolayı, 77,3 K üzerinde süperiletkenlik kritik geçiş sıcaklığına ( $T_c$ ) sahip yüksek sıcaklık süperiletkenlerin keşfi, süperiletkenleri daha yaygın kullanan başka cihazların geliştirilmesi için çok büyük gelişmedir (Murakami, 1992a; Murakami, 1994).

Yüksek geçiş sıcaklığına sahip süperiletkenlerin bazı dezavantajları vardır. Uygulamalarda kullanılan süperiletkenler, yüksek manyetik alanda dahi en az  $10^4$ - $10^6$  A/cm<sup>2</sup> değerinde mümkün olabildiğince yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip külçe süperiletkenlerdir (Murakami, 1992; Murakami, 1994). Tek kristal YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> için kritik akım yoğunluğu 77 K'de  $J_c \sim 10^8$  A/cm<sup>2</sup>'dir (Ginsberg, 1994; Poole, 2000). Yine de pratikte kritik akım yoğunluğu  $J_c$ , makroskopik örneklerde bu değer hayli altındadır. Çünkü  $J_c$ , sadece malzemenin gerçek süperiletken özellikleri tarafından tanımlanmayıp, onun yapısına ve akı çivileme merkezlerinin varlığına da kuvvetlice bağlıdır. Tüm bakır bazlı bileşikler seramik olup, süperiletken kristalleri sert ve kırılmandır. Bu nedenle iyi süperiletken özelliği taşıyan büyük homojen örnekleri elde etmek zordur.

En geniş tek kristaller milimetre boyutlarında ve daha yaygın tozlar, yaklaşık 10 µm ortalama çapa sahip parçacıklardan ibarettir (González, 2003). Bunlar bulk örnek oluşturması için sinterlenebilir, fakat kristal (grain) taneler arası bölgeler amorf olup, süperiletken değillerdir. Sinterlenmiş örnekler, süperiletken taneler arasında bağlantı noktaları boyunca tünelleme etkileriyle süperiletkenlik hala devam etmesine rağmen, zayıf etkileşimli (weak link) tanelerden dolayı daha düşük kritik akım yoğunluklarına sahiptir. Üstelik bakır bazlı bileşikler anizotropik olup, sinterlenmiş örnekler rastgele yönelmiş küçük kristaller tarafından şekillenmiştir. Belli bir değer üzerinde, akım bu taneler arasında geçer. Bu akım tüm örnek üzerinden en düşük akım yoğunluğuna öncülük eder ve değeri en iyi durumda  $10^2 - 10^3$  A/cm<sup>2</sup>'dir (Prester, 1998).

Mümkün olduğu kadar büyük  $J_c$  değerine sahip örnek hazırlamak için, yeni farklı sentezleme teknikleri uygulanmaktadır. Bunların arasında, benzer  $a$  ve  $b$  örgü sabitlerine sahip kristal altlık üzerine bileşiğin atomlarının yavaşça tortulaşmasıyla makroskopik kristal yetiştirmeye dayanan tortu oluşturma tekniği,  $ab$  düzleminde en az santimetre boyutunda mükemmel olmamasına rağmen tek kristale sahip örneklerin üretilmesine öncülük eder. Bu teknikte üretilen kabaca 1 cm uzunluğa sahip örnek için  $J_c$  değeri  $10^6$  A/cm<sup>2</sup>'nin üzerinde gözlemlendi (Skokov ve Koverda, 1993)

Diğer taraftan, birkaç santimetre boyutlarında örnek üretmek için eritme teknikleri ortaya çıktı. Bu yöntem, pratik uygulamalarda kullanışlı örnekler üretmek için en uygun olanıdır. Eritme-dökme tekniği ve diğer yönlü katılaştırma teknikleri kullanılarak,  $10^3$ - $10^4$  A/cm<sup>2</sup> arası  $J_c$ 'ye sahip süperiletken yapısında homojen yönlendirilmiş tanelere sahip sinterlenmiş örnekler üretildi (Bock vd., 1995; Verhaege vd., 2000; Díez vd., 1998). Bu sistem için, taneler arası bölgelerin varlığı RE-Ba-Cu-O (RE: Y, Sm, Nd ve diğer nadir toprak elementleri) grubundaki bölgeler kadar akımı engellemez (Jin ve Chu, 1993; Cardwell, 1998). Yine de, manyetik alan uygulandığında  $J_c$  aniden düşer.

Eritme işlemi teknikleriyle RE-Ba-Cu-O grubunda birkaç santimetreye kadar büyük tek kristal üretmek mümkündür. Manyetik alanda dahi  $J_c$ 'leri  $10^4$  A/cm<sup>2</sup> olup, bunların dört nokta yardımıyla ölçülen gerçek akım yoğunlukları 100 Amper/cm<sup>2</sup> mertebesindedir (Yanmaz, 1992).

Çoğu YBCO olmak üzere bu teknikler diğer süperiletkenlerde çalışıldı. YBCO'nun tek kristalleri (Teresa, 2003; Pomar, 1995), sinterlenmiş numuneler (González, 1998.) ve ince filmler üretildi ve bu örneklerin farklı yönleri araştırıldı.

YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>'da Cu ile metal iyonları yer değiştirmesi külçe, sinterlenmiş (Tarascon vd., 1988; Asokan vd., 1999), ince film (Fiebert vd., 1996; Vedawyas ve Bhagvat, 1998) ve tek kristaller (Neiman vd., 1995; Tomimodo vd., 1999; Yao vd., 2000; Segawa ve Ando, 2001) çalışıldı. YBa<sub>2</sub>(Cu<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>)<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>'da (M=Zn, Ni, Fe, Co ...) yer değiştirmesi genelde katkısız YBCO'ya göre  $T_c$ 'yi düşürmektedir.

İkinci tip süperiletken ailelerinden birisi olan YBCO ailesinde, Y atomu yerine nadir toprak elementleri yer değiştirerek kritik geçiş sıcaklığı ( $T_c$ ) ve kritik akım yoğunluğunun ( $J_c$ ) nasıl etkilendiği birçok araştırma grupları tarafından incelendi.

Bu çalışmada, katıhal tepkime yöntemi kullanılarak iki farklı seride örnekler üretildi. I.seri (Y<sub>1-x</sub>Yb<sub>x/2</sub>Gd<sub>x/2</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> ve II.seri (Yb<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> olup, her seri için altı farklı katkı oranı seçildi ve bu katkı oranları x=0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1,0'dir. Böylece Gd'nin iyonik yarıçapı Y'nin iyonik yarıçapından büyük ve Yb'ninki ise küçük olduğundan, I. seride her iki elementin aynı örnekte yapacakları ve II. seride ise Yb ile Gd'un kendi aralarında yapıya kazandıracakları etkiler araştırılacaktır.

## 1.2. II. Tip Süperiletkenlerin Özellikleri<sup>1</sup>

Süperiletkenlik teorisine önemli katkı 1957'de Abrikosov tarafından yapıldı. Ginzburg-Landau teorisiyle ilgili bazı olaylar tanımlandı. Bu tanım I. tip süperiletkenlerin davranışından biraz farklıydı ve bazı yeni malzemelerin varlığını öne sürdü (Abrikosov, 1957). Bu maddeler birinci kritik manyetik alanda ( $H_{c1}$ ) başlayan ve termodinamik kritik manyetik alanda ( $H_c$ ) süperiletkenliğin süreksizliğini göstermesi yerine, ikinci kritik alanda ( $H_{c2}$ ),  $B=\mu_0H$  değerine ulaşır. Daha sonraları bu maddelerin davranışının kimyasal bileşenlerindeki safsızlıktan dolayı olup olmadığı araştırılarak, bu davranışın doğrudan yeni özelliğe sahip olduğu bulundu ve bu tip süperiletkenler II. tip süperiletken olarak adlandırıldı.

I. tip süperiletkenler sınıfı doğrudan metalik kimyasal elementler olurken, II. Tip süperiletkenler metal alaşımlar, Niyobyum (Nb) ve Vanadyum (V) gibi saf metaller ve de farklı oksit bileşenlerdir. Tüm metaller ve metal alaşımların 30 K'den aşağı sıcaklıkta  $T_c$  kritik sıcaklığı vardır ve düşük sıcaklık süperiletkenler (LTS) sınıfına girerler. Oksit süperiletkenlerin  $T_c$ 'leri 30 K'den yüksek olduğu için yüksek sıcaklık (HTS) süperiletkenler sınıfına girerler.

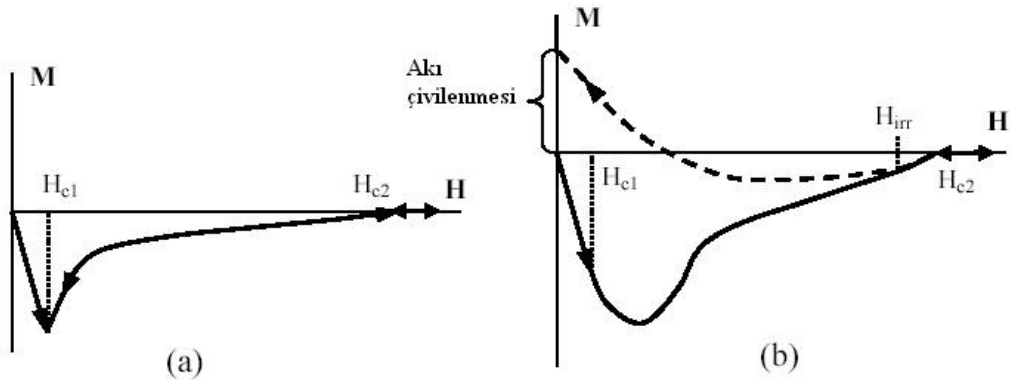
### 1.2.1. II. Tip Süperiletkenlerin Manyetizasyonu

İdeal II. tip süperiletkende, Şekil 2a'da gösterildiği gibi,  $B$ ,  $H$  ve  $M$ 'in herbiri birbirine bağlı vektörel büyüklük olup, manyetizasyon eğrisi tersinirdir. Mükemmel diamagnetizma durumu,  $\mathbf{B}=\mu_0(\mathbf{M}+\mathbf{H})=0$ , yalnızca  $H_{c1}$ 'den daha düşük manyetik alanlarda meydana gelir ve  $H_{c1}$  manyetik alanında akı süperiletken yapıya girmeye başlar.  $H_{c2}$ 'den büyük manyetik

---

<sup>1</sup> Alt başlıklarıyla birlikte bu başlık altındaki bilgiler (Stavrev, 2002) kaynağından faydalanılarak hazırlanmıştır.

alanlarda magnetizasyon olmaz ve malzeme normal hale döner. Manyetik alan yapının içine tamamen girmiş durumdadır. Manyetik alan  $H_{c2}$ 'den aşağı düşüldükçe dönüş magnetizasyon yolu tamamen aynı şekilde tekrarlanır. Yine de hiçbir gerçek madde, eğrideki dönüş yolu olarak manyetik alanın artarken magnetizasyonun izlediği yolu izlemez. Yapısal farklılıklar veya kimyasal safsızlıklar kristal içinde akı hareketleri için bir bariyer (engel) gibi davranır. Bu durum akı çivilenmesi (flux-pinning) olarak adlandırılır. Yüksek manyetik alan altında yüksek akım elde etmek için mümkün olduğu kadar çok çivileme merkezlerini açıklamak malzeme mühendislerinin pratikteki amacıdır. Gerçek II. tip süperiletkenlerin, Şekil 2b'de gösterilen, daha karmaşık magnetizasyon yolu vardır. Dikkate değer fark,  $H_{c1}$ 'den büyük  $H$ 'ye göre magnetizasyonda  $M$  ani değişiminin olmamasıdır. Yalnızca lineerlikten ani değişim, diamanyetik durumun artık mükemmel olmadığını ve akının malzemenin içine girmeye başladığını ifade eder.  $H$ 'nın artışı akının daha geniş girmesine neden olup,  $H_{c2}$ 'de akının tam girdiği duruma  $B=\mu_0 H$  ulaşır ki, malzeme bu durumda normal halde olur. Süperiletken durumda akının bir kısmı malzeme tarafından tuzaklanır.  $H_{c2}$ 'ye ulaşıldıktan sonra,  $H$  azalır, akı çizgileri ilk başta hareket için serbest kalırlar ve dolayısıyla  $M$ - $H$  eğrisi  $H_{tersinmez}$  ( $H_{irr}$ ) noktasına kadar yolunu tekrarlar. Akı çivilenmesi daha kuvvetli olduğunda  $B$ ,  $H$ 'dan daha yavaş azalır ve  $M$  gidiş eğiminden sapar.  $H$  düştüğü için  $B$  yüksek değerde kalır. Çünkü  $B=\mu_0(H+M)$  olduğu için  $M$  değeri pozitif değere yükselir. Geri dönüşün sonunda  $H=0$  olduğunda  $B$ 'nin değeri, süperiletken tarafından akı tuzaklanmasından dolayı sonlu olur.



Şekil 2. (a) İdeal II. tip süperiletkenin magnetizasyonu. Manyetik alan  $H_{c1}$ 'den küçük manyetik alanlarda mükemmel diamagnetizma ve  $H_{c2}$ 'den yüksek alanlarda ise yalnızca normal iletken halde olur. (b) II. tip gerçek süperiletkenin magnetizasyonu. Eğri yalnızca  $H_{irr}$  yukarısında her iki yön için magnetizasyon aynıdır.  $H=0$ 'da ise malzemede çivilenmiş veya tuzaklanmış akı bulunmaktadır (Sheahan, 1994).

### 1.2.2. 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 1978). Bu durum, malzemenin hacminin yüzeye oranının maksimum olduğu, konfigürasyonun, dış manyetik alana paralel olan silindirik normal alan olduğunu (Şekil 3) söyler. Silindirik normal bölgeler düzgün bir şekilde yer alır. Bu bölgelere akı merkezi (fluxon lattice) denir. Herbir özde manyetik akı, uygulanan manyetik alana paralel olup, etrafındaki akımlar tarafından komşu süperiletken bölgelerden perdelenir. Örneğin yüzeyinde oluşan yüzey akımlarıyla birlikte süperakımlar (Şekil 3) külçe diamagnetizmayı korur.

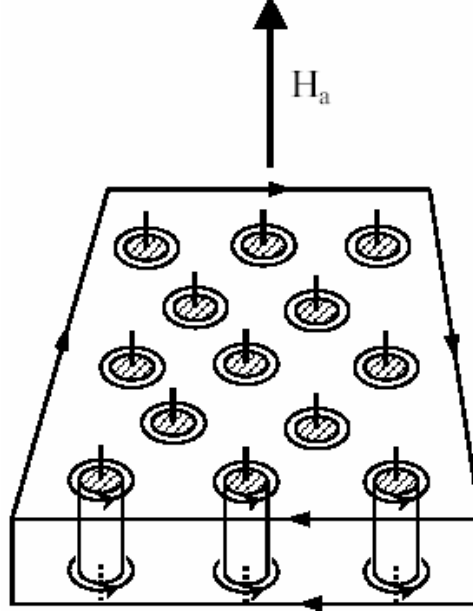
Karışık hal, II. tip süperiletkenlerin asıl özelliğidir ve manyetik alan  $H_{c1} < H < H_{c2}$  durumunda oluşur. Manyetik akının, herbir akı kuantumuna sahip,  $\Phi_0 = h/2e = 2,6678 \times 10^{-15} \text{ T.m}^2$ , fluxon olarak adlandırılan, akı tüplerine girdiği, Abrikosov tarafından ilk defa söylendi.

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 gerginliğinin düzgün olmadığını örneğin merkezinde serbest akı bölgesinin ve akı yoğunluğu gradiyentinin olduğunu gösterdi. Bean'in modeli kritik hal modeli olarak da adlandırılır ve II. tip süperiletkenlerin modellenmesinde yaygın olarak kullanılır.

### 1.2.3. Akı Çivilenmesi (Flux Pinning), Akı Sürüklenmesi (Flux Creep) ve Akı Akışı (Flux Flow)

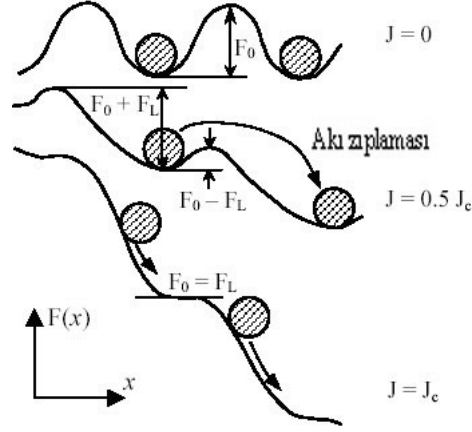
İdeal saf materyalde, akı çizgileri kolayca hareket edebilir ve uygulanan alana göre yoğunluğu ayarlanabilir. Yine de II. tip süperiletkenlerdeki safsızlıklar ve homojen olmamalarından dolayı, fluxonlar çivilenir ve hareket etmeleri için geçmesi gereken enerji bariyerleri oluşur. Akı çivilenmesi, fluxonların  $F_0$  derinliğinde çivileme kuvvetine sahip bir

kuyuya yerleşmiş ve bir kuyudan başka bir kuyuya geçmesi için zıplamaya ihtiyaç duyduğu mesafedeymiş gibi düşünülebilir. Bu durum Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Normal merkezleri ve etrafında dolanan süperakım girdaplarını gösteren karışık hal. Dikey çizgiler merkezlerin içinden geçen akıyı gösterir. Yüzey akımı bulk diamagnetizmayı gösterir.





Şekil 4. 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  $F_L = J \times \Phi_0$  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 inerse dahi geçerlidir. Belirli  $J_c$  değerinde, Lorentz kuvveti  $F_L$ , “pinning” gerilmesinden  $F_0$  büyük olacak ve tüm fluxonlar harekete başlayacaktır (Şekil 4). 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.

#### 1.2.4. Üst ve Alt Kritik Manyetik Alanlar

II. tip süperiletkenler için alt  $H_{c1}$  ve üst  $H_{c2}$  kritik manyetik alanın termodinamik kritik alanla  $H_c$  bağıntısını Abrikosov aşağıdaki gibi tanımladı:

$$H_{c1} \cong \frac{H_c}{\kappa} \quad (1)$$

$$H_{c2} \cong \sqrt{2} \kappa H_c \quad (2)$$

Bu bağıntıda  $\kappa$ , malzemenin Ginzburg-Landau sabitidir.  $\kappa$ 'nın değeri  $\lambda/\xi$  olup,  $\lambda$  süperiletken numuneye manyetik akının girme derinliği ve  $\xi$  ise Ginzburg-Landau teorisine göre süperelektronlar arasındaki mesafeye karşılık gelen eşuyum “koherens” uzunluğudur (Ginzburg, 1950).

II. tip süperiletkenler için  $\kappa$  değeri magnetizasyon eğrisinden deneysel olarak elde edilebilir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde  $\kappa$  değeri 4-34 arasında olup, dolayısıyla  $H_{c2}$  değeri  $H_{c1}$ 'den çok daha büyüktür (Rose-Innes 1978). Örneğin  $Nb_3Sn$  için  $\kappa=34$  iken  $H_{c2}$  yaklaşık  $1600H_{c1}$ 'dir.

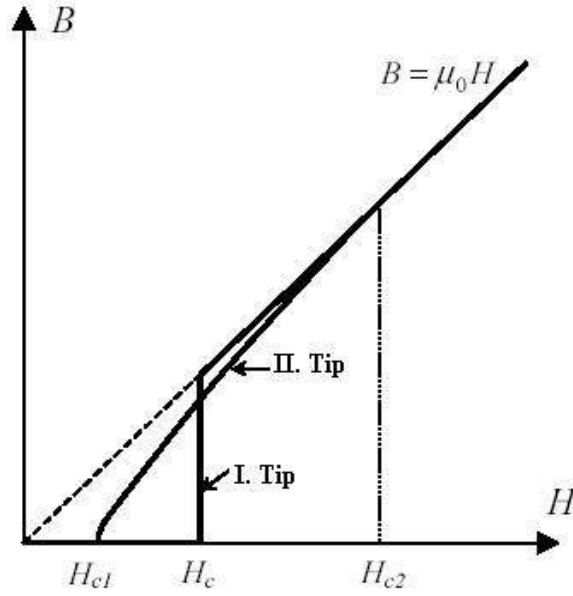
I. ve II. Tip süperiletkenlerdeki (B-H) akı girginliği eğrisi Şekil 5'te gösterilmektedir.  $H_{c1}$ 'in değeri çok düşük olduğundan, II. tip süperiletkenlerde modelleme amaçlı yaklaşık olarak  $B=\mu_0H$  kullanılır.

Çesitli II. Tip süperiletkenler için  $H_{c1}$  ve  $H_{c2}$  değerleri Tablo 1'de verilmektedir. II. tip süperiletkenlerin büyük avantajı,  $H_c$  değeri çok düşük olduğundan I. tip süperiletkenlerle karşılaştırıldığında süperiletkenlik özelliklerini kaybetmeden daha büyük manyetik alanlarda kalabilmesidir.

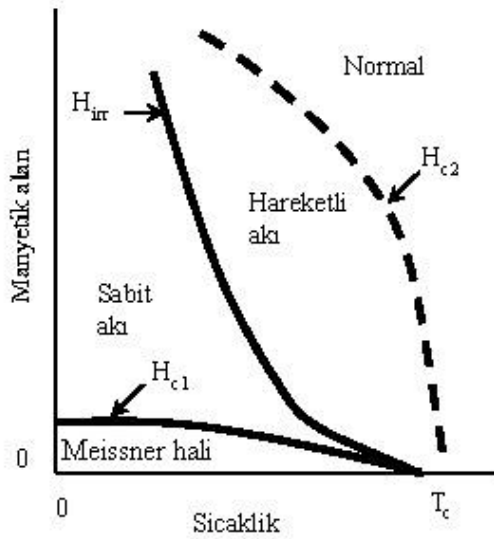
Tablo 1. II. tip metal alaşım süperiletkenlerinde  $T_c$ ,  $H_{c2}$  ve  $B_{c2}$  değerleri

Bileşen	$T_c$ (K)	$H_{c2}$ (A/cm)	$B_{c2}$ (T)
Nb-Ti alaşımı	10,2	$\sim 0,9 \times 10^8$	$\sim 12$
$Nb_3Sn$	18,3	$\sim 1,6 \times 10^8$	$\sim 22$
$Nb_3Ge$	23,0	$\sim 2,2 \times 10^8$	$\sim 30$
$Nb_3Al$	18,9	$\sim 2,3 \times 10^8$	$\sim 32$
$PbMo_6S_8$	14,0	$\sim 3,3 \times 10^8$	$\sim 45$

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerin H-T faz geçiş diyagramı Şekil 6'da gösterilmektedir. Düşük sıcaklık süperiletkenlerine benzemeyip,  $H_{c2}$  gerçek faz sınırı değildir. Çünkü termal değişimler tersinmez  $H_{tersinmez}$  alanda  $H_{c2}$ 'den daha aşağıda çizgilerin net olarak görünmesine imkan vermez (Larbalestier, 2000).



Şekil 5. Aynı termodinamik kritik alana  $H_c$  sahip I. ve II. tip süperiletkenlerin akı girginliği davranışının karşılaştırılması (Tinkham, 1975 ).



Şekil 6. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin faz diyagramı (Larbalestier 2000).

### 1.2.5. 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 aşağıdaki ifade gösterilmektedir (Anderson, 1962; Kim, 1963):

$$J_c(T) = J_c(0) \left[ 1 - \left( \frac{k_B T}{F_0} \right) \ln \left( \frac{B d \Omega}{E_c} \right) \right] \quad (3)$$

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

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.

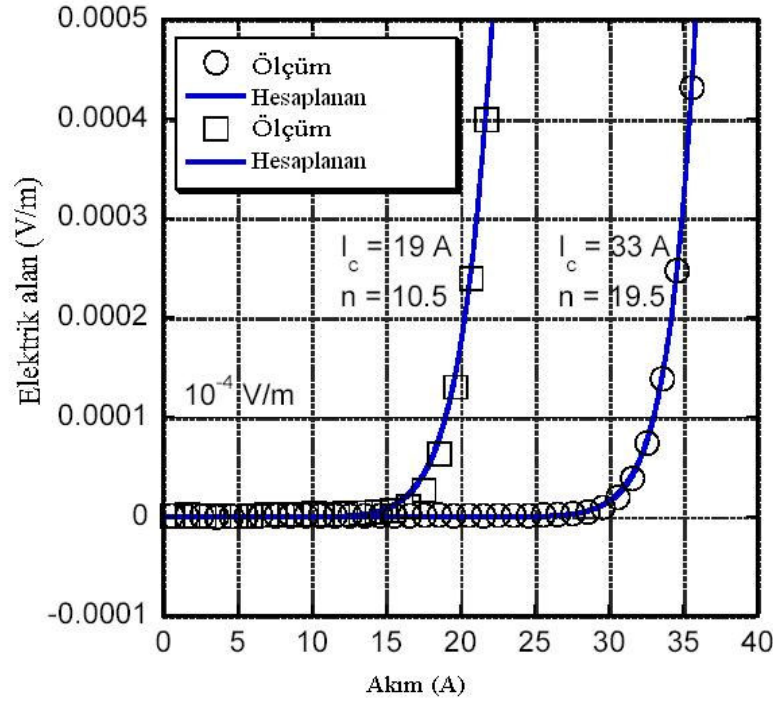
DC akımı ve  $1 \mu\text{V/cm}$  kriteri ile elde edilmiş iki tane yüksek sıcaklık süperiletken şeritlerinin ölçülmüş voltaj-akım karakteristiklerine örnek olarak Şekil 7 verilmektedir. Yüksek- $T_c$  süperiletken malzemelerden bir tanesi Bi-2223'tür. Gümüş kaplanmış Bi-2223'ün DC karakteristiğindeki akı hareketinin etkisi Hughes tarafından çalışılmıştır (Hughes, 1997).

HTS ve LTS malzemelerinin rutin karakterizasyonu için, kuvvet serisi voltaj akım bağıntısı deneysel verilerle mükemmel uyduğundan ve basitliğinden dolayı kullanılır. Kuvvet serisi modelinde elektrik alan  $E$ , aşağıdaki gibi akımın  $n$  kuvvetiyle orantılıdır:

$$E = E_c \left( I/I_c \right)^n \quad (4)$$

$E_c$  voltaj karakterine,  $I_c$  kritik akıma ve  $n$  değeri de geçiş eğrisindeki dikliği tanımlar. Ölçülmüş iki adet örnekler için yukarıdaki denklem kullanılarak fit edilmiş farklı  $I_c$  ve  $n$  kuvvet serilerini, Şekil 7 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 (Iwasa, 1995).



Şekil 7. 77 K'de DC akım uygulayarak elde edilen ölçümlerden elde edilmiş iki adet Bi-2223 şeritlerinin I-V karakteristikleri (Stavrev, 2002).

Kritik akım yoğunluğu  $J_c$ , ölçülmüş  $I_c$  değerinden hesaplanır:

$$J_c = I_c / S \quad (5)$$

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

### 1.3. Yüksek Sıcaklık Süperiletken Malzemeleri

Yüksek sıcaklık süperiletkenler, birim hücre olarak adlandırılan farklı elementlerin atomlarının tekrarlı dizilişini 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  $(\text{La,Ba})_2\text{CuO}_4$  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  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  İtiryum-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 2. 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 ( $\text{A}/\text{mm}^2$ )	>100000	5000	3000
$J_c$ 77 K’de ( $\text{A}/\text{mm}^2$ )	>10000	100	500

### 1.3.1. YBCO

BSCCO ve YBCO arasındaki temel yapısal farklılıklardan birisi YBCO’nun yük depo eden tabakalar olmayıp her tabakanın metalik olmasıdır. Bu nedenle YBCO daha az anizotropiktir.

YBCO’nun bir başka önemli avantajı 77 K’de  $10000 \text{ A}/\text{mm}^2$ ’den daha yüksek değerde çok büyük akım yoğunluğuna sahiptir. Bu iletkenler yine de en fazla 1 m kadar uzunlukta laboratuvarlarda numune olarak üretilmektedir.

Uzun YBCO iletkenlerinin elde edilmesindeki zorluk, BSCCO’dan tamamen farklı olan üretim tekniğine bağlıdır. YBCO, esnek altlığın üzerine tortulaştırılmış HTS malzemesinin birkaç mikron kalınlıktaki ince filmini içeren kaplanmış iletkenidir. Bu işlemin bir değişikliği iyon demeti yardımıyla tortulaştırma “Ion Beam Assisted Deposition” (IBAD) tekniğidir. Bu işlemde, HTS filmleri esnek altlığın üzerine yerleştirilen tampon yüzeye tortulaşır. Böylece HTS filmlerinin düzeni daha iyi sağlanır ve sonuç olarak elektriksel performansları da daha iyi olur. Ayrıca başka iki üretim tekniği daha vardır.

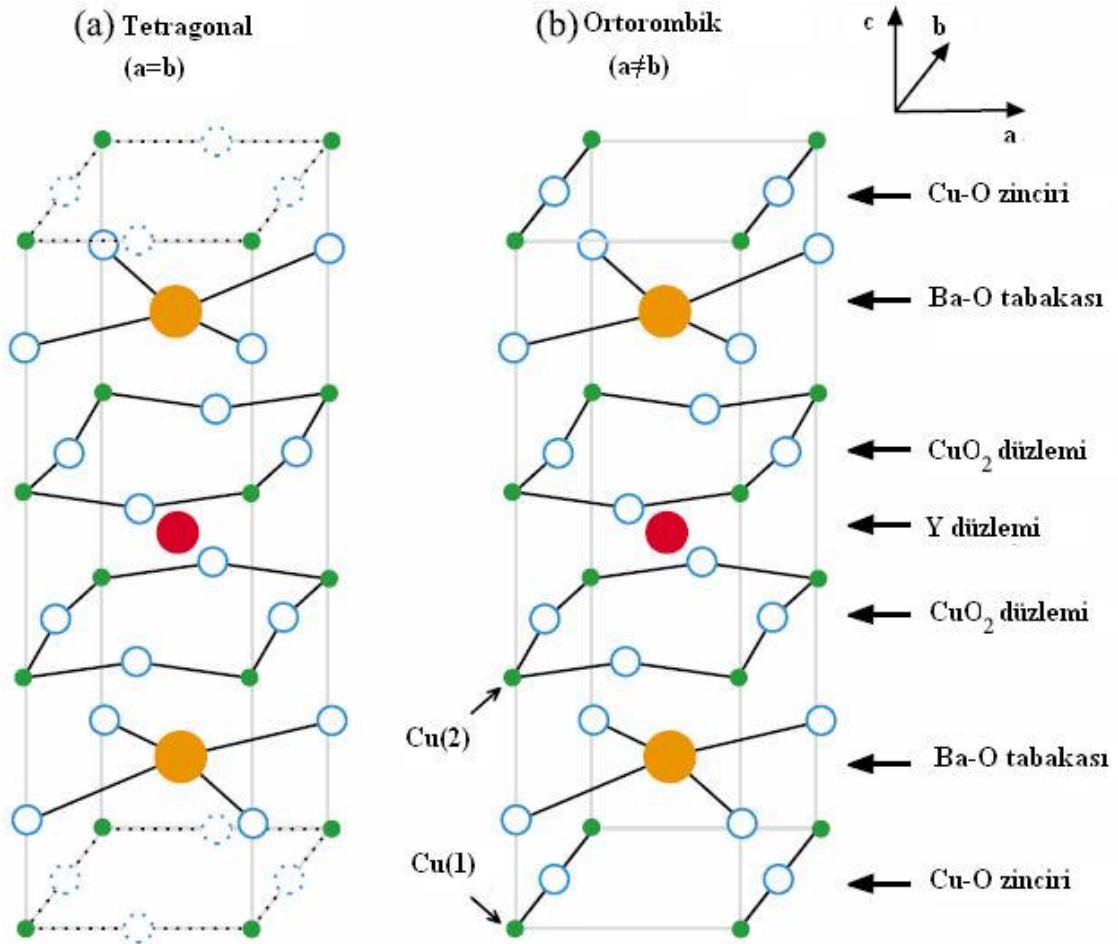
YBCO ikinci nesil süperiletkenlerini çok büyük uzunluklarda elde etmek başarısız olmuş olup, araştırmaların çoğu bu konu üzerinedir.

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri arasında,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (YBCO) ilk sentezlenenlerden biri olup hayli ayrıntılı bir şekilde çalışılmaktadır.

Tüm yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin, süperiletiminde baskın rol oynayan  $\text{CuO}_2$  düzlemlerinin oluşturduğu tabakalanmış yapısı vardır. Diğer bileşenler  $\text{CuO}_2$  düzlemlerinde yük yoğunluğunu düzenleyen yük deposu olarak davranırken taşıyıcılar,

yalnızca bu düzlemler boyunca hareket ederler. YBCO'nun özel durumunda, her birim hücre, Şekil 8'de görüldüğü gibi iki adet BaO tabakasıyla araya alınmış ve Y atomuyla ayrılmış iki adet  $\text{CuO}_2$  düzlem içerir.

Bileşik iki mümkün yapıda bulunabilir. Bu yapılar, tetragonal ( $a=b \neq c$ ) ve ortorombik ( $a \neq b \neq c$ )'dir. 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 düzlemlerindeki Cu atomlar arasında oksijen atomları rasgele dağılırlar. Bu durum da tetragonal yapı oluşumuna (Şekil 8) öncülük eder. Yine de,  $\delta$ 'nın değeri sıfıra yakınsa, oksijen atomları bu tabakalardaki Cu atomlarının b eksen yönünde aralarına düzenli bir şekilde yerleşerek ortorombik yapıyı oluştururlar. Bu durumda, CuO atomları düzlemden ziyade zincir oluştururlar ve CuO zinciri olarak isimlendirilirler.



Şekil 8. Farklı tabakaları gösteren,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  birim hücre şeması. (a) Tetragonal; üst ve alt Cu-O düzlemlerindeki Cu atomları arasındaki oksijenin rastgele işgal etmesi. (b) ortorombik; alt ve üst Cu-O tabakalarında oksijenlerin yalnızca  $b$  yönünde yerleşmesidir

YBCO örnekleri elde etme işlemlerinin çoğu oksijence fakir bir ortamda yapılır ve bu yapı tetragonaldir. Bu durumda, ortorombik süperiletken fazı elde etmek için örnekler oksijen verilmelidir. Optimum oksijen içeriğine sahip materyali elde etmek için, örneğin ölçütlerine bağlı süre boyunca yaklaşık 400 - 550°C sıcaklıkta oksijen akışında ısıtılması gerekir.

Diğer taraftan, YBCO örnekleriyle çalışmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli şeylerden biri ise onları nemli havadan ve sudan korumaktır. Bunun nedeni ise su, YBCO ile reaksiyon gerçekleştirip,  $Y_2BaCuO_5$  süperiletken olmayan faza dönüşür (Yan1 vd., 1987 ; Barns vd., 1987). Çözünmeyi önlemek için örnekler mümkün olduğu kadar kuru ortamda tutulmalıdırlar.

Diğer yüksek sıcaklık süperiletkenleri gibi YBCO da II. tip süperiletkendir.  $CuO_2$  düzlemleri boyunca taşıyıcıların oluşturduğu manyetik akı, *ab*-düzleminde ve *c*-ekseninde farklı özelliklere sahip, malzemede yüksek anizotropi oluşturur. Süperiletken YBCO'nun ana karakteristik özellikleri Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3.  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 'nin (YBCO) *ab*-düzlemi yönünde ve *c*-ekseni yönünde sıfır mutlak sıcaklıkta süperiletkenlik ana parametreleri.  $\xi$  koherens uzunluğu,  $\lambda$  manyetik alan girme derinliği,  $H_c$  termodinamik kritik manyetik alan,  $J_c$  kritik akım yoğunluğu, ve  $H_{c1}$  ve  $H_{c2}$  ise sırasıyla alt ve üst kritik manyetik alan değerleri (Ginsberg, 1994; Poole, 2000).

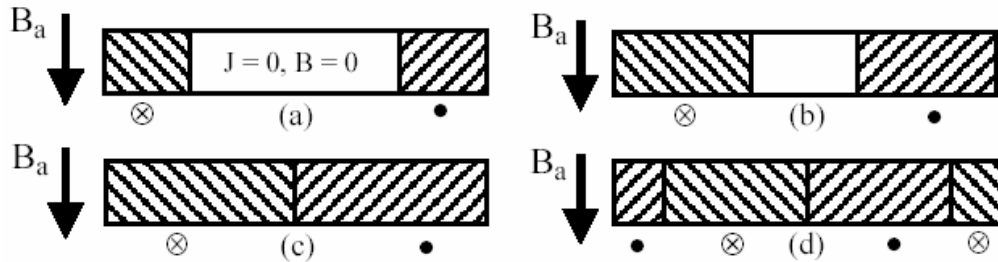
Parametreler		<i>ab</i> -düzlemi	<i>c</i> -ekseni
$\xi(0)$	(nm)	1,5-4,3	0,3-0,7
$\lambda(0)$	(nm)	100-140	500-800
$H_c(0)$	( $10^4$ Oe)		1-3
$J_c(0)$	( $A/cm^2$ )	$3-12 \times 10^8$	$5-25 \times 10^7$
$H_{c1}(0)$	(Oe)	20-230	80-90
$H_{c2}(0)$	( $10^4$ Oe)	230-624	70-122



## 1.4. Süperiletkenlikte AC kayıp mekanizmaları

### 1.4.1. Histeresiz Kaybı

II. tip süperiletkenlerdeki alternatif akım (AC) kaybının ana kaynağı histeresiz kayıptır. Dış manyetik alan uygulandığı için akı süperiletkenin bulk yapısının içine kısmen girmeye başlar ve akımlar bakır iletkenindeki yüzey etkisine çok benzer şekilde yüzeyde oluşur. Yine de bu benzerlikte iki fark vardır. Birincisi, sonsuz iletimin başlangıç durumundan dolayı sıfır frekansta dahi yüzey etkisi sergiler. İkinci fark ise, oluşan akım yoğunluğunun kritik  $J_c$  değeri vardır. Bu değer normal yüzey etkisine zıt olarak verilen sıcaklıkta manyetik alanın fonksiyonuyla azalır. Oluşan akım yoğunluğu sabit frekansta alanın genliğiyle orantılıdır (Carr 1983).  $a$ - $b$ ' döngü doğrultusunda süperiletken numune içine akı girme derinliğini,  $c$ 'de ise tamamen girdiğini (Şekil 9) gösterir. Eğer bu durumda alan ters çevrilirse, akı aynı şekilde geri çekilmeyecektir. Malzemedeki kusurlardan dolayı çıkması gereken akıların bazıları çivilenecektir (bkz. başlık 1.2.3.). Son olarak uygulanan alan azaldığında (Şekil 9d'de), yüzeydeki elektrik alan yönü değiştirildiğinde terslenmiş akım yoğunluğuna sahip yeni bölge yüzeyde oluşur ve uygulanan alan çok daha azaldığı için içeridekileri yaymaya başlar. Yani tersinmezlik olur ve bu durum histeresiz kaybına neden olan akı çivilenmesidir.



Şekil 9. II. tip süperiletkenlerin kesitine manyetik akı ve akımın girme bölgeleri.  $B_a$  uygulanan dış manyetik alandır. Orta bölge serbest akı ve akım içerdiği halde girginliğin süperiletken malzemenin kenarlarından başladığını göstermektedir. İndüklenen akımların zıt yönleri  $\otimes$  ve  $\bullet$  ile gösterilmiştir

Sabitlenmiş akı merkezleri süperiletkenlik için zararlı değildir. Prensipte, enerji kaybı iki farklı ana mekanizmadan meydana gelir. Bunlar elektriksel direnç veya değişen manyetik akıdır. Süperiletken numunelerde yerel elektrik direnci yoktur. Fakat Faraday kanunu  $\nabla \times E = -dB/dt$ 'nin sürekliliği korunur.

II. tip süperiletkenlerde histeresizin varlığı enerji kaybına neden olur ve voltaj akımı devam ettirmesi için gereklidir. DC uygulamaları için  $dB/dt=0$  olduğu için akı çivilenir ve sonuç olarak kayıp olmaz. AC uygulamalar için M-H değişimindeki histerisiz ilmekleri süperiletkendeki enerji kaybını tanımlar. HTS histeresiz eğrileriyle ilgili detaylı bilgi için Sjöström'ün 2001'de yapmış olduğu çalışmada mevcuttur (Sjöström, 2001).

Dış manyetik alan uygulamadan akım uygulandığındaki histeresiz kaybı (şerit ve eliptik geometriye sahip süperiletken malzemeler için) Norris (Norris, 1970) tarafından teorik olarak hesaplanmıştır.

Uygulanan dış manyetik alandaki histeresiz kaybı çoğu zaman magnetizasyon kaybıyla aynı olarak telaffuz edilir. II. tip süperiletkenlerdeki magnetizasyon kaybı için analitik çözümler paralel alanda (slab) veya dik alanda (strip) ince dikdörtgensel şeritler (Campbell, 1982. ; Müller, 1995) ve silindirik teller (Wilson, 1983) gibi basit geometriler için bulunmuştur.

#### 1.4.2. Akı Çivilenmesi (Flux Pinning), Akı Sürüklenmesi (Flux Creep) Kayıpları

II. tip süperiletkenlerin karışık haldeki akı çizgilerinin hareketi malzemede enerji kaybının artmasına neden olduğu için akı akış (flux-flow) direnci terimi ortaya konmuştur. Enerji kaybının kaynağı, akım geçtiğinde bir akı kuantumuna sahip  $\Phi_0$  fluxonlara uygulanan  $F_L=J \times \Phi_0$  Lorentz kuvvetidir. Eğer akı çizgisi iyi çivilenmezse  $F_L$  kuvveti etkisinde akıma dik yönde hareket eder.  $v_\phi$  hıza sahip akı çizgisi  $E=B \times v_\phi$  elektrik alanını oluşturur. Bu alan  $J$ 'ye paralel olup güç kaybına neden olan direnç voltajı gibi davranır.

Eğer akı çivilenmiyorsa ve girdap çizgileri hareket için serbestse, akı çizgileri üzerinde etki eden kuyu sürüklenme kuvveti  $-\gamma v_\phi$  olarak verilir. Burada  $\gamma$  sürüklenme katsayısıdır. Kararlı hal için, bu kuvvet Lorentz kuvveti ile dengededir. Dolayısıyla büyüklüğü  $J\Phi_0=\gamma v_\phi$ 'ye eşittir. Bu eşlik eden elektrik alan formülüyle birleştirildiğinde akı akış direnci (flux-flow resistance) aşağıdaki gibi elde edilir (Sheahan 1994):

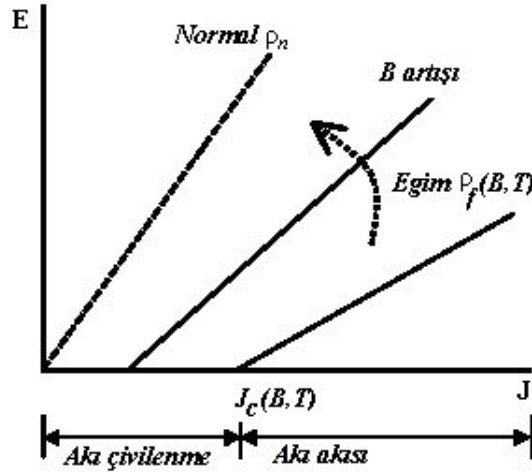
$$\rho_f = E/J = B(\Phi_0/\gamma) \quad (6)$$

Dolayısıyla elektriksel özdirenç elektrik alanın akım yoğunluğu oranına eşittir. E-J bağıntısı doğrusallıktan saptığında özdirenç artık sabit değildir.

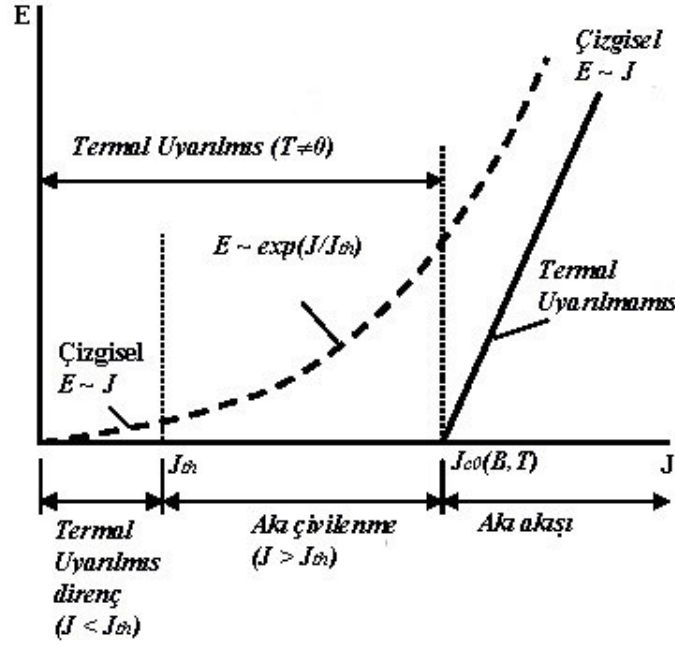
Mutlak sıcaklıkta II. tip süperiletkenler için E-J grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Aynı sıcaklıkta  $J$ 'ye göre  $E$ 'nin değişimi doğrusaldır. Düz çizgiler  $J_c(B,T)$ 'den daha aşağı

değerde ve  $E=0$ 'daki değişimi gösterir. Bu durumda akı merkezleri tamamen çivilenmiş ve mükemmel süperiletken olmuştur.  $J_c$ 'den büyük değerde, akı akışı flux-flow başlar ve  $E$  elektrik alanı  $|J-J_0|$  ile orantılı bir şekilde artar. Grafikteki eğim, akı-akışı öz direncini tanımlar. Uygulanan manyetik alanın artırılmasıyla  $J_c$  azalır ve flux-flow rejimindeki  $E$ - $J$  değişiminin sabit eğimi daha keskindir. Sonuçta çok yüksek alanda malzeme normal olur ve  $J_c$  sıfır değerine ulaşır. Bu durumda yapıda artık normal öz direnç  $\rho_n$  vardır.

4,2 K'den daha yüksek sıcaklıklarda, akı merkezlerinin termal olarak aktif hale getirilmiş hareketin etkisi flux-creep olarak bilinir ve 77 K'de hesaplamaya katılması gerekir (Sheahan 1994). 77 K'de  $E$ - $J$  değişimini Şekil 11 göstermektedir. Akım yoğunluğunun belli bir eşik  $J_{th}$  değerinin tanımlanmasıyla,  $E$ - $J$  değişimindeki flux-flow, flux-creep ve termal olarak aktif hale gelmiş dirence karşılık gelen bölgeleri tanımlamak için kullanılan flux-creep terimini doğrular. Neyse ki, gerçek HTS'nin anizotropisi, kimyasal ve işlemsel safsızlıkları malzemede birçok çivilenme merkezleri oluşturur. Bu yüzden 77 K'de akı hareketi, 0 K'deki  $E$ - $J$  sapmasından çok daha sınırlıdır. Yine de, 77 K'de termal uyarılmış (TAFF) flux-flow'dan ve hatta tane sınırlarından dolayı HTS malzemenin etkin öz direnci genelde sonlu olup asla sıfıra ulaşmaz. Çünkü mükemmel iletkenlik durumu asla elde edilemez.



Şekil 10. Mutlak sıfırda akımın bir fonksiyonu olarak elektrik alanının çizimi.  $J_c$  altında tüm akı girdapları çivilenir, yukarısında ise  $E=\rho_f(J-J_c)$  değişimine uygun enerji kaybıyla akı akar. Burada  $\rho_f=\rho_n(H/H_{c2}(T))$  ile verilir (Sheahan 1994).



Şekil 11. 77 K’de termal olarak aktif hale gelmiş akı hareketinin etkisini gösteren E-J çizimidir. Akı çivilenmesi  $J_c$  altında akımlardaki enerji kaybına (dirence eşdeğer) neden olur (Sheanan 1994).

### 1.4.3. Metal Yapıda Eddy Akım Kaybı

Mekanik sağlamlık ve AC kaybı azaltmayı sağlamak için HTS malzemeler, gümüş veya gümüş alaşımından yapılmış normal metal yapıya gömülmüş ince tellerden işlenir.

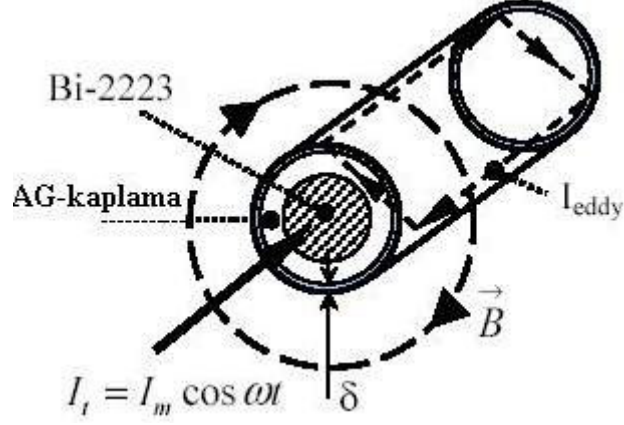
Eddy akım kaybı, dış manyetik alan veya dış alan yokken numuneden geçen akımın oluşturduğu alan tarafından (self-field), normal metal yapıda indüklenmiş akımların sonucu olarak meydana gelen kayıptır. Normal yapının özdirenci süperiletken malzemelerin özdirencinden çok yüksek derecede olduğundan bu kayıp HTS uygulamaları için özel dikkat gerektirir. Eddy akımlarının istenmeyen değişimi, metal yapının dışındaki elektronların hareketinden ve sürtünmeden dolayı ohmik ısı kaybına neden olur.

AC akım metal tele uygulandığında, akımdan dolayı oluşan manyetik alanın akım yönüne dik, iletim etrafında eşmerkezli (tel silindirse dairesel) oval formdaki manyetik akı çizgileri vardır.

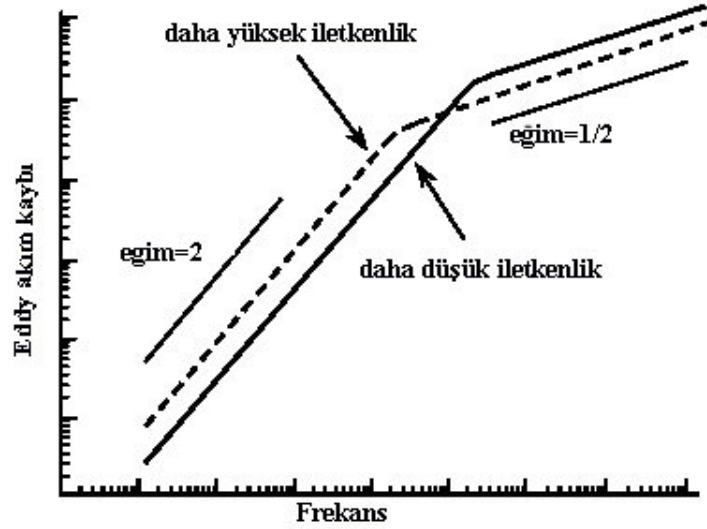
Silindirik geometriye sahip Bi-2223 telinin basit çizimi Şekil 12’de gösterilmektedir. Çizimde iletim akımı  $I_t$  ve akımın oluşturduğu alan  $B$ ’dir. Manyetik alan değiştiğinde Faraday kanunu voltajın boş alanda indüklendiğini veya oluşturduğunu ifade eder:

$$V_e = -d\Phi/dt \quad (7)$$

Bu ifadeye  $\Phi = \Phi_0 \cos \omega t$  tel etrafındaki manyetik akıdır.



Şekil 12. Dış alan olmadan yalnızca numune üzerinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alan tarafından silindirik süperiletkendeki Eddy akımlarının oluşması



Şekil 13.  $2b$  kalınlığa fakat farklı iletkenliğe sahip iki tabaka için Eddy akım kayıplarının frekansa bağlılığı.  $\omega^2$  ve  $\omega^{1/2}$  arasındaki farkın sifıra ulaştığı durum  $b = \delta$ 'daki frekansta meydana gelir (Hughes, 1997).

Oluşan voltaj da zamana göre değişir. Oluşan akım  $I_e = V_e / Z_{Ag}$ 'dir.  $Z_{Ag}$  gümüş kaplamanın empedansıdır. İndüklenen bu akımlara daireselliğinden dolayı Eddy akımları denir.

Eddy akımları manyetik akıya dik düzlemde dairesel kapalı halkalardır. AC akım veya alan oluştuğunda, yüzeye paralel hareket ederler ve gümüş yapıyı dik keserler. Bu durum Şekil 12’de görülmektedir. Eddy akımı yine de indüklenen manyetik alan bölgesine sınırlandırılmıştır. Girme derinliği yapıya uygulanan akımın frekansı  $\omega$  ile azalır ve malzemenin bağlı manyetik geçirgenliği  $\mu_r$  ve elektriksel iletkenliğin ( $\sigma$ ) bir fonksiyonudur. Bu bağıntıya yüzey etkisi denir ve  $\delta$  ile gösterilir. Girginlik ve yüzey derinliği aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\delta = (2 / (\omega \sigma \mu_0 \mu_r))^{1/2} \quad (8)$$

Eddy akım kaybının frekansa bağlılığı Şekil 13’te farklı iletkenliğe sahip iki metal için çizilmiştir. Farklı frekans bağımlılığına sahip farklı iki bölge vardır. Düşük frekanslarda kayıplar  $\omega^2$  ile orantılı ve yüksek frekanslarda ise  $\omega^{1/2}$  ile orantılıdır. İki bölgeler arası geçiş koruyucu yarı kalınlığı  $b$ ’nin  $\delta$ ’ya eşit olduğu durum olup bu frekansa kritik frekans  $\omega_c$  denir. Koruyucu kalınlığı 100  $\mu\text{m}$  için, Ag’nin iletkenliği  $3,3 \times 10^8$  S/m (S; kesit alanı) ve  $\mu_r=1$  olup, bu geçiş aşağıdaki frekansta meydana gelmelidir:

$$f_c = [2 / (2\pi b^2 \mu_0 \sigma)] \approx 75 \text{kHz} \quad (9)$$

Bu kritik frekans, Bi-2223 şeritlerinin güç uygulamalarıyla ilgili aralığın çok yukarısındadır. Dolayısıyla Eddy akım kaybının frekansın karesine bağlılığı geçerlidir.

### 1.5. Tersinir ve Tersinmez Süperiletkenler

Manyetik alana karşı hassaslığının, malzeme yapısına, sıcaklığına ve manyetik alanın uygulama sürecine bağlı olduğu ikinci tip süperiletkenlere manyetik alan iki farklı şekilde uygulanabilir: 1) Örnek herhangi bir manyetik alan altında normal halden soğutulularak süperiletken hale getirilebilir (alan altında soğutma “FC”) veya 2) Normal haldeyken herhangi bir manyetik alan yokken soğutulularak süperiletken hale getirildikten sonra manyetik alan (alan yokken soğutma “ZFC”) uygulanabilir.

Örnek süperiletken haldeyken dış manyetik alanın üç şekilde örneğin içine girmesi artar: 1) Örneğin sıcaklığı kritik sıcaklığı geçmeyecek şekilde manyetik alan altında ısıtılırsa, 2) Örnek sabit sıcaklıkta iken dış manyetik alanın artırılmasıyla veya 3) her ikisi uygulandığında örneğin içine manyetik alan girişi artar. Örneğin içine manyetik alan homojen şekilde girmeyip önce tane arasına akı kuantumunun katları şeklinde toplam akı

değerine sahip akı merkezleri oluşturacak şekilde girer. Bu işlemlerin tersi uygulandığında ise örneğin içinden manyetik alan dışarı atılmaya başlar. Fakat örneğin özelliğine göre belirli akı girişi olan yerlerde ise akı örnek dışına çıkamaz. Böylece akı çivilenme merkezleri oluşur. Dolayısıyla akı o merkezlerde tuzaklanır. Tuzaklanan akı merkezleri etrafında, akıdan dolayı oluşan akım halkası oluşur. Oluşan akımlar ise örneğin manyetizasyonunu dolayısıyla kritik akım yoğunluğunun yüksek olmasını sağlar.

Eğer örnekte tuzaklanma merkezleri çok ise, dış manyetik alan sıfırdan belirli bir değere kadar artırılıp sonra da sıfıra indirildiğinde, tuzaklanan akılardan dolayı belirli bir değere sahip manyetizasyon oluşacaktır. Yani manyetizasyonun uygulanan dış manyetik alana göre değişimi, manyetik alan artırıldığında ve azaltıldığında aynı yol izlemeyecektir. Bu tip süperiletkenlere tersinmez süperiletkenler denir. Örneğin yapısında akı merkezleri hiç yoksa örnek sabit sıcaklıkta manyetik alan artırılrsa da azaltılrsa da aynı manyetizasyon eğrisi üzerinden gider. Bu tip süperiletkenlere de tersinir süperiletkenler denir.

### 1.6. Y-Ba-Cu-O Sistemi<sup>2</sup>

Y-Ba-Cu-O sisteminin kristal yapısı, bakır ve oksijenin CuO zinciri ve CuO<sub>2</sub> düzlemleri içerir. Y-Ba-Cu-O sisteminde bütün yapılarda iki adet CuO<sub>2</sub> düzlemleri mevcut olup, YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> yapısında bir, YBa<sub>2</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>8</sub> yapısında iki ve Y<sub>2</sub>Ba<sub>4</sub>Cu<sub>7</sub>O<sub>15</sub> yapısında da c eksenini boyunca ardışık olarak bir ve iki adet CuO zincirleri bulunur (Dzhafarov, 1996; Yvon ve François, 1989).

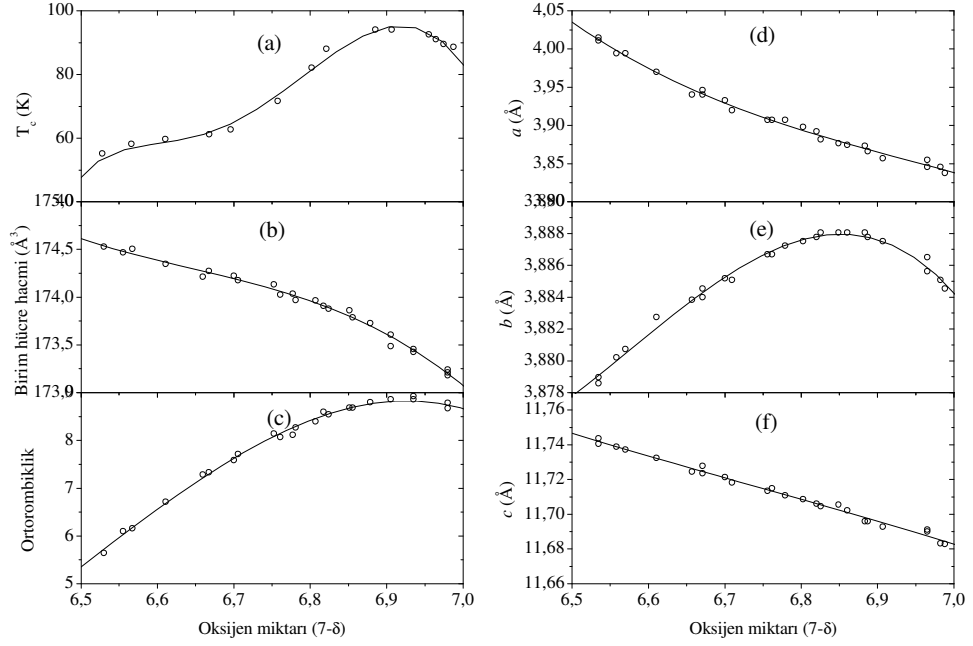
YBCO sisteminde normal ve süperiletken durumlar oksijen konsantrasyonu ve ortorombik fazdaki oksijen düzenlenmesine çok bağlıdır. Bu sistem ısı işlem ortamında bulunan gazların cinsine ve oksijen basıncına bağlı olarak 600°C'den 750°C'ye kadar

---

<sup>2</sup> Bu başlık (Bolat, 2003) kaynağından faydalanılarak hazırlandı.

ortorombik-tetragonal faz geçişi gösterir (Speech vd., 1988).  $YBa_4Cu_7O_{15}$  yapı da  $YBa_2Cu_3O_7$  gibi oksijene duyarlıdır. Ancak ift zincirli  $YBa_2Cu_4O_8$  yapısının kritik sıcaklığı ( $\sim 80K$ ) oksijen kaybına duyarlı değildir (Tallon vd., 1990).

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  yapısının oksijen miktarına bağlı olarak hem ortorombik veya tetragonal yapıda olabilir.  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  yapısının oksijen miktarına göre örgü parametreleri ve bunlara ait bilgiler Şekil 14'te verilmektedir (Conder, 2001).



Şekil 14.  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  yapısına ait bazı parametrelerin oksijen miktarına göre değişimini. (a) Kritik sıcaklık, (b) birim hücre hacmi, (c) Ortorombiklik, (d)  $a$  örgü parametresi, (e)  $b$  rgparametresi ve (f)  $c$  örgü parametresi



### 1.7. Malzeme Üretim Teknikleri <sup>3</sup>

Seramik süperiletkenlerin yapısal ve fiziksel özellikleri üretim şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Aynı cins malzemenin özellikleri farklı üretim teknikleriyle elde edildiğinde farklı özellik gösterebilir. Seramik süperiletken malzemelerin üretilmesinde birçok teknikler kullanılmaktadır. Bu çalışmada elde edilecek malzemelerin üretilmesinde katıhal tepkime metodu kullanılacaktır. Bu tekniklerin bazıları liste halinde gösterilmektedir:

Katıhal Tepkime Metodu (Solid State Reaction “SSR”)

Eritme Yöntemi (Melt Process “MP”)

Eritme Büyütme Yöntemi (Melt-Texture Growth “MTG”)

Hızlı Eritme-Büyütme Yöntemi (Quench-Melt Growth “QMG”)

Eritme-Toz-Eritme-Büyütme Yöntemi (Melt-Powder-Melt-Growth “MPMG”)

Hareketli-Bölge Yöntemi (Floating-Zone “FZ”)

Eritme-Döküm Yöntemi (Melt-Cast-Process “MCP”)

Flame-Quenched-Melt-Growth (FQMG)

### 1.8. $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ Süperiletken Sisteminde Katkı Mekanizması

HTS malzemelerin özelliklerinden biri olan Cu'nun 3d ile O'in 2p seviyeleri arasında mevcut olan hibritleşmede, Cu'nun valansının 2'den büyük bir değere yükseltilmesi oksijenin azaltılmasıyla veya 2'den daha düşük değere indirilmesi ise oksijenin takviyesiyle mümkündür. Ayrıca bu olaylar katyonik yer değiştirme ile de mümkündür.  $La_2CuO_4$  sistemi katyonik yer değiştirmeye örnek olarak verilebilir. Yapıda 3 değerlikli La

---

<sup>3</sup> Bu başlık (Küçükömeroğlu, 1999) kaynağından faydalanılarak hazırlandı.

iyonları yerine 2 değerlikli Sr iyonları yer değiştirilerek Cu'nun valansı artırılır. Böylece yapı süperiletkenlik kazanır (Kishio vd., 1987; Tarascon vd., 1987a). 3 değerlikli bazı Nd iyonları, 4 değerlikli Ce iyonlarıyla yer değiştirildiğinde, Cu'nun valans değeri 2'den aşağı indirgenerek  $\text{Nd}_2\text{CuO}_4$  sistemine bu sayede süperiletken özelliği kazandırılır (Takura vd., 1989). Dolayısıyla Cu'nun valans değeri 2 olması gerekliliği ortadan kalkmış olmaktadır. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin hepsinde mevcut olan  $\text{CuO}_2$  düzlemlerinde, yapı değişikçe düzlemlerdeki Cu'nun koordinasyonu değişir.  $\text{Nd}_2\text{CuO}_4$  sisteminde  $\text{CuO}_2$  düzleminin koordinasyonu 4 katlıyken YBaCuO sisteminde 5 katlı ve BiSrCaCuO sisteminde ise 6 katlıdır. Yapılan çalışmalarda Cu'nun koordinasyonu önemli bir rol oynadığı için Cu ile yer değiştirme yapacak şekilde yapılan katkıları daha bir anlam kazanmaktadır (Vanderah, 1992).

Süperiletken malzemenin bazı parametrelerinin iyileştirilmesini sağlamak için yapılan katkı çalışmaları, bazı parametrelerini de kötüleştirir. Kullanım amacına göre yapılan katkıları, hangi özellik iyileştirilmesi gerekiyorsa, o özelliğin iyileştirilmesi için ilgili katkı yapılır. Bu zamana kadar katkıları, Y, Ba ve Cu atomlarından birinin tamamen veya kısmi yer değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Çalışma gruplarının bazıları ise bir başka atoma ikincil katkı yaparak yer değiştirme atomunun olumsuz etkileri minimuma indirilmiştir (Wu vd., 1999).

### 1.9. YBCO'da Y yerine Yb ve Gd'nin Yer Değiştirme Etkileri

Yüksek manyetik alanda yüksek kritik akım yoğunluğuna sahip RE-123 (RE: Nd, Sm, Eu ve Gd) süperiletken örneklerin üretilmesinde oksijen kontrollü eritme büyütme işlemi etkilidir (Murakami, 1992. ).  $(\text{Nd}_{0,33}\text{Eu}_{0,33}\text{Gd}_{0,33})$ -123 örneği 10 T manyetik alanda ve 77 K sıcaklıkta  $10^4\text{A}/\text{cm}^2$  kritik akım yoğunluğuna sahiptir (Goto vd., 1997). Eu123 yapısı manyetik akı çivilenme kuvvetinde önemli rol oynamakta olup, optimum erime sıcaklığı ise Gd123, Nd123 ve Sm123 yapılarından daha yüksektir. Bu yüzden Eu123 yapısının kısmi erime sürecinde sıvı faz için sıcaklık aralığı daha geniştir (Goto vd., 2003). Gd123 yapısı yüksek kritik akım yoğunluğuna sahiptir ve yüksek manyetik alanları tuzaklayabilir (Nariki vd., 2001. ).

Bakır bazlı süperiletkenlerde genelde,  $\text{CuO}_2$  düzlemlerinin süperiletkenliği sağladığı ön görülmektedir. Nadir toprak elementleri ise yapıdaki oksijen eksikliğinde önemli rol oynamaktadır (Nishida vd., 2002. ).  $\text{Y}_x\text{Gd}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  yapısında Y yer değiştirmesinin oksijen eksikliğini azalttığı ve  $T_c$ 'nin yaklaşık 15 K arttırdığı görüldü (Taka vd., 2002. ).

Aynı oksijen eksikliğinde ( $\delta=0,06$ )  $x=0,0$  ve  $0,2$  karşılaştırıldığında,  $x=0,2$  örneğinin manyetizasyonu dolayısıyla kritik akım yoğunluğunun  $x=0,0$ 'dan 3 kat daha yüksek değere arttırdığı görüldü (Nishida vd., 2002). Bu durumda, nadir toprak elementleriyle Y yer değiştirmesi yapıdaki oksijen eksikliğini bastırmaktadır. Ayrıca yük taşıyıcıların perdeleme etkisi azaltıldığından dolayı, oksijen boşluğuyla antiferromanyetik ara etkileşiminde artış olmasına rağmen, Y yer değiştirmesiyle manyetik etkileşimin artışı kaynağı belirsizliğini korumaktadır (Nishida vd., 2002).

RE-Ba-Cu-O yapısının kritik akım yoğunluğu mikro yapılarına çok bağlıdır. RE123 yapısına, RE211 yapısında taneler dağılırsa RE211 fazları manyetik alanları tuzaklayan kuvvetli akı çivilenme merkezleri olarak davranarak kritik akım yoğunluğunun değerini yükseltir (Murakami vd., 1991. ). Ayrıca RE211 tanelerinin küçük olması da kritik akım yoğunluğunu artırır (Nariki vd., 2004. ).

$Y_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  yapısında  $x=0,2$  için kritik akım yoğunluğu Y123 yapısının kritik akım yoğunluğundan daha yüksektir (Nishida vd., 2003). Taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğraflarında her iki katkıdaki tanelerin aynı büyüklükte olmasından dolayı morfolojik bir etki olmayıp, sebebinin kristalin veya elektronik yapının iç etkilerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Nishida vd., 2003). Nishida ve arkadaşları bu çalışmalarında ayrıca manyetizasyonun sıcaklığa göre nasıl değiştiğini gözlemlediler. İkinci tip süperiletkenlerde manyetizasyon  $(1-(T/T_c)^2)^m$  ile değişirken, bu çalışmalarında  $\Delta M$ 'in eksponansiyel olarak değiştiğini  $Ae^{T/T_0}$  ( $T_0$  sıcaklığı 10-30 K arası sıcaklık değeri olup  $T_c$ 'den farklıdır) gördüler. Bu değişimin kaynağının üç farklı unsur olabileceğini düşündüler. Bu unsurlar: (1) taneler arası zayıf çiftlenim olabilir, (2) tane içine akı çivilenmesi zayıf olabilir (Hagen ve Griessen, 1989) ve (3) tane sınırlarında zayıf etkileşim mevcut (Manuel vd., 1991. ) olabilir.

İri taneye sahip büyük tek kristal üretmek için üstten tohumlamalı eritme büyütme tekniği yaygın olarak kullanılmaktadır (Sawano vd., 1991; Meng vd., 1994). Bu işlem, büyük hacme sahip tane sınırlarından kaynaklanan zayıf etkileşim probleminin üstesinden gelmesine olanak sağlamaktadır. Yine de metot, karışımın hassas belirlenmesine, sıcaklık gradientinin hassas kontrolüne ve uzun işlem zamanına gereksinim duyar. Bu nedenle, maglev trenlerindeki gibi bazı pratik uygulamalar için gerekli olan 100 mm'den daha büyük tek kristal tanesinin üretilmesi zordur (Fujimoto, 2000). Bu nedenle seri üretim için daha kolay işlem istenilmektedir. Örneğin, eritme işlemiyle elde edilmiş malzemenin birleştirilmesi, çözelti kullanılarak olabilir (Salama ve Selvamanickan, 1992; Delamare

vd., 2000. ; Mukhopadhyay vd., 2000). Çünkü birleştirme işlemi, birleşen tanelerin boyutlarıyla sınırlı değildir. Külçe şeklindeki süperiletkenler malzemeler gerektiren uygulamalar için, bu işlem malzemenin ilgili özelliklerini elverişli hale getirir.

Yb123'ün ayrışma sıcaklığı, RE123 ailesinin en düşük ayrışma sıcaklığına sahip olduğu için bu yapı, tane birleştirme malzemesi olarak kullanılabilir. Delamare ve arkadaşları iki Y123 tanesini Yb123 malzemesi kullanarak birleştirmeyi başardı (Delamare vd., 2000). Çalışmalarında Y123 taneleri arasında Yb123'ün, iki aynı tane arasındaki süperiletkenliği bozan farklı fazlara ( $\text{Yb}_2\text{BaCuO}_5$ ,  $\text{BaCuO}_2$  ve  $\text{CuO}$ ) ayrıştığını gözlemlediler. Bu durum Yb123 kullanılarak, üretimin en uygun şekilde yapılması, RE123'ün başarılı bir şekilde birleştirilmesi için kaçınılmaz olduğunu gösterdi. Diğer taraftan, Mukhopadhyay ve arkadaşları (Mukhopadhyay vd., 2000) Y213 tek kristallerini birleştirmede Yb123 yapısını birleştirme malzemesi olarak kullandılar ve manyetik kaldırma kuvvetini orijinal değerinin %92'i oranında elde ettiler. Tuzaklanmış manyetik alan uygulamaları, kaldırmadan ziyade eklemlerin daha kuvvetli birleştirilmesi gerektirdiği için, bu nedenle eritme işlemiyle üretilmiş Yb-Ba-Cu-O'nun ara yüzeylerdeki akım taşıyıcılarını engellememesi için, Y123 tanelerinin Yb123 ile birleştirilmesine daha hassastır. Bu nedenle, Yb-Ba-Cu-O ailesinin eritme işlemiyle üretilmesinde, diğer fazlar olmadan üretilip üretilmeyeceğini incelemek önemlidir. Ayrıca, Yb123'ün geçiş sıcaklığı RE123'ler içinde en düşük olduğu için (Tsurumi vd., 1987; Tarascon vd., 1987), Yb123'ün uygun kaynak malzemesi olup olamayacağını hesaplamada, eritme işlemiyle üretilmiş Yb-Ba-Cu-O'nun süperiletkenlik özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Yine de, Yb123 kristalinin kritik akım yoğunluğunun sıcaklığa ve manyetik alana göre değişimi hakkında birkaç çalışma literatürde mevcuttur (Werner vd., 1994. ; Werner vd., 2000 ; Mochida vd., 1997; Athur vd., 1998, ).

$\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  yapısında Y123 yapısı gibi iki farklı Cu sitesi mevcuttur. Bunlar, *b* yönündeki süperiletkenliği sağlayan CuO zincirinde Cu1 ve CuO<sub>2</sub> düzlemindeki Cu2'dir. Oksijen eksikliği  $\delta$  arttıkça CuO zincirindeki O1 atomu boşaltılır ve aralarındaki etkileşimin zayıflamasından dolayı O1, Ba ve Cu2 aralarındaki mesafe artar ve bu artış *c* örgü parametresinde artış meydana getirir. Bu değişim ise, CuO<sub>2</sub> düzlemindeki boşluk konsantrasyonunu (yoğunluğunu) azaltır ve süperiletken geçiş sıcaklığını düşürür (Taka vd., 2002).

Genelde, bilinen bir kristalde Gd yerine nadir toprak elementlerinden biriyle değiştirilebildiği bilinir. Yine de, farklı nadir toprak elementinin iyonik yarıçapındaki

farklar,  $\text{CuO}_2$  düzlemindeki elektronik düzeninde fark ortaya çıkararak geçiş sıcaklığını  $T_c$  etkilemesi mümkündür. Gerçekte, Veal ve arkadaşlarının araştırdığı gibi (Veal vd., 1989.) iyonik yarıçapın artması ile süperiletken halde oksijen doygunluğu azalır (Y, Gd ve Nd'nin iyonik yarıçapları sırasıyla 0,99 Å, 1,05 Å ve 1,10 Å). Özellikle Gd123 ve Nd123'deki  $T_c$  çok az oksijen eksikliğinde hızla düşerken, Y123 ise  $\delta \approx 0,2$  değerine kadar hemen hemen değişmemektedir.

Dolayısıyla Y yerine nadir toprak elementlerinden biri ile değiştirildiğinde iyonik yarıçapı değişeceğinden  $T_c$ 'yi etkileyecek,  $\Delta T_c$  de değiştirecektir. Ayrıca  $T_c$  ile  $\Delta T_c$  değişimleri birbirine göre zıt olacaktır. Geçiş sıcaklığı artarken geçiş sıcaklık aralığı azalacaktır. Bu durumun tersi de doğrudur.

Bu çalışmada ise iyonik yarıçapı Y'nin iyonik yarıçapına göre karşılaştırıldığında büyük (Gd) ve küçük (Yb) olan iki nadir toprak elementleri aynı oranda ( $\text{Y}_{1-x}\text{Yb}_{x/2}\text{Gd}_{x/2}$ ) $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  katkılılandırıldı. Literatürde çalışılmamış olan bu tip katkı sayesinde iki zıt etkinin beraber oluşturulmasıyla malzemenin yapısal ve fiziksel özelliklerinin değişimi incelendi. Ayrıca Y123 yapısında Y tamamen ( $\text{Yb}_{1-x}\text{Gd}_x$ ) $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  kaldırılıp Yb ve Gd ile yer değiştirilmesi (Yb azaltılıp Gd artırılarak) neticesinde üretilen seride her iki elementin, süperiletkenin yapısal ve fiziksel özelliklerine etkileri incelendi.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

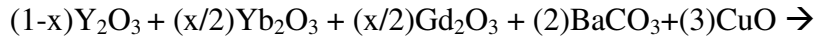
### 2.1. Örneklerin Hazırlanması

$Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  ve  $Yb_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  olmak üzere iki seri ( $x=0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve  $1,0$ ) süperiletken örnekler katıhal tepkime yöntemiyle hazırlandı.

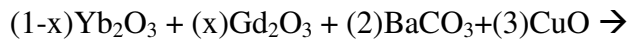
#### 2.1.1. Toz Örneklerin Hazırlanması

$Y_2O_3$ ,  $Gd_2O_3$ ,  $Yb_2O_3$ ,  $BaCO_3$  ve  $CuO$  tozları sitokiyometrik oranlarda hassas terazi ile tartılarak, her  $x$  katkısı için aşağıdaki formüller yardımıyla başlangıç pozisyonları hazırlandı.

I.seri için kimyasal reaksiyon formülü:



II.seri için kimyasal reaksiyon formülü:



Başlangıç kompozisyonu elde etmek için kullanılan oksit bileşenlerin molekül ağırlıkları ve saflık değerleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Başlangıç kompozisyonları oluşturmak için kullanılan bileşiklerin sembolü, molekül ağırlıkları ve saflık dereceleri

Bileşiğin adı	Kimyasal formülü	Molekül ağırlığı (gr/mol)	Saflık derecesi (%)
İtriyum Oksit	$Y_2O_3$	225,81	99,99
İterbiyum Oksit	$Yb_2O_3$	394,08	99,98
Gadalyonyum Oksit	$Gd_2O_3$	362,50	99,98
Baryum Karbonat	$BaCO_3$	197,35	99,7
Bakır Oksit	$CuO$	79,54	99,9

Kimyasal reaksiyonlarda x katkı oranı 0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1,0 olmak üzere altı farklı değer almaktadır. Her x katkılı örneğin sitokiyometrik oranlara göre hesaplanmış oksit miktarları aşağıdaki tablolarda verildi.

Tablo 5. I. seri serinin oksit bileşenlerinin miktarları

Katkı (x)	Formül $Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	$Y_2O_3$ (gr)	$Yb_2O_3$ (gr)	$Gd_2O_3$ (gr)	$BaCO_3$ (gr)	$CuO$ (gr)	Toplam (gr)
A0 (0,0)	$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	1,8156	0	0	6,3469	3,8376	12
A2 (0,2)	$Y_{0,8}Yb_{0,1}Gd_{0,1}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	1,4234	0,3105	0,2856	6,2198	3,7607	12
A4 (0,4)	$Y_{0,6}Yb_{0,2}Gd_{0,2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	1,0466	0,6088	0,5600	6,0978	3,6869	12
A6 (0,6)	$Y_{0,4}Yb_{0,3}Gd_{0,3}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0,6843	0,8956	0,8239	5,9803	3,6159	12
A8 (0,8)	$Y_{0,2}Yb_{0,4}Gd_{0,4}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0,3357	1,1716	1,0777	5,8673	3,5476	12
A10 (1,0)	$Yb_{0,5}Gd_{0,5}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	1,4374	1,3222	5,7586	3,4818	12

Tablo 6. II. seri serinin oksit bileşenlerinin miktarları

Katkı (x)	Formül $Yb_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	$Y_2O_3$ (gr)	$Yb_2O_3$ (gr)	$Gd_2O_3$ (gr)	$BaCO_3$ (gr)	$CuO$ (gr)	Toplam (gr)
B0 (0,0)	$YbBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	2,8474	0	5,7038	3,4487	12
B2 (0,2)	$Yb_{0,8}Gd_{0,2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	2,2866	0,5259	5,7256	3,4619	12
B4 (0,4)	$Yb_{0,6}Gd_{0,4}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	1,7216	1,0557	5,7475	3,4752	12
B6 (0,6)	$Yb_{0,4}Gd_{0,6}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	1,1521	1,5897	5,7697	3,4885	12
B8 (0,8)	$Yb_{0,2}Gd_{0,8}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	0,5783	2,1278	5,7919	3,5020	12
B10 (1,0)	$GdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	0	0	2,6700	5,8144	3,5156	12

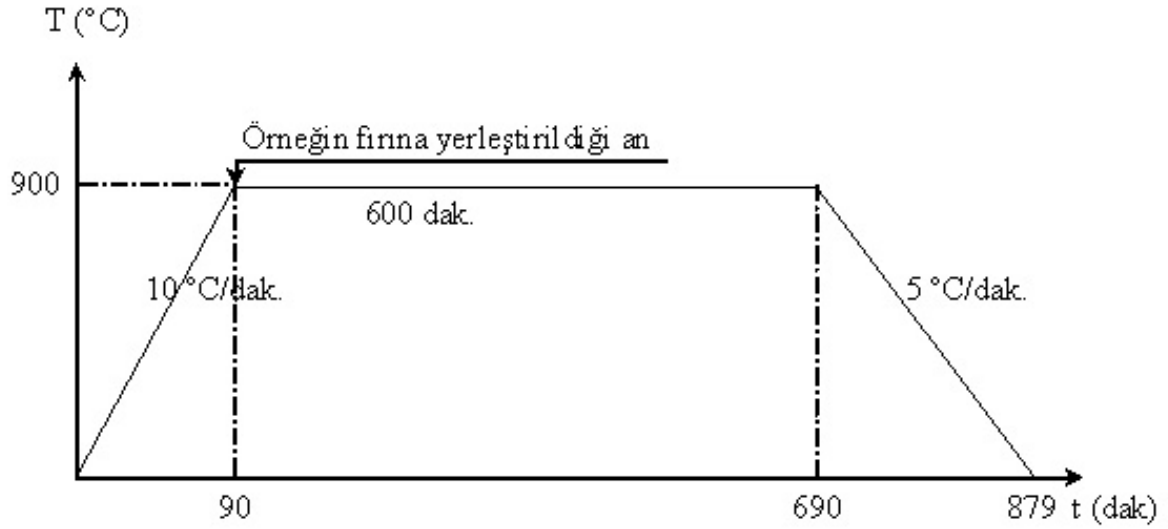
I.serideki tüm katkılar için Tablo 5'ten, II. serideki tüm katkılar için Tablo 6'dan yararlanarak belirtilen miktarlardaki oksitler, 0,1mgr hassasiyete sahip hassas terazi yardımıyla tartıldı. Her serideki tüm katkılar için ayrı ayrı karıştırılan tozlar, agad havanında 15 dakika elle karıştırıldı. Karışım, mekanik karıştırıcı kullanarak, 30 dakika öğütüldü. Öğütülen tozlar ise alümina ( $Al_2O_3$ ) potaya koyarak kalsinasyon işlemine hazır hale getirildi.

Ayrıca, kalsinasyon, sinterlenme, faz geçiş ve oksijen salma veya alma sıcaklıklarını belirlemede kullanılmak için 1'er gramlık toz örnekler ayrılarak DTA ölçümleri yapıldı. Bu ölçümler sonucunda örneklerin kalsinasyon ve sinterlenme sıcaklıkları belirlendi.

### 2.1.2. Kalsinasyon İşlemi

Öğütülen toz örnekler, 900 °C'ye 10 °C/dak hızla ısıtılmış, Lenton Marka Euroterm 818 kontrol ünitesiyle programlanabilir tüp fırına yerleştirildi. Bu sıcaklıkta 10 saat bekletilen

örnekler, 5 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Kalsinasyon işleminin şematik diyagramı Şekil 15'te gösterilmektedir. Fırında oda sıcaklığına soğutulan örnekler önce agad havanında elle öğütüldükten sonra, 30 dakika mekanik karıştırıcıda karıştırıldı. Karıştırılan tozlar, sinterlenme işlemi için hazır hale getirildi.



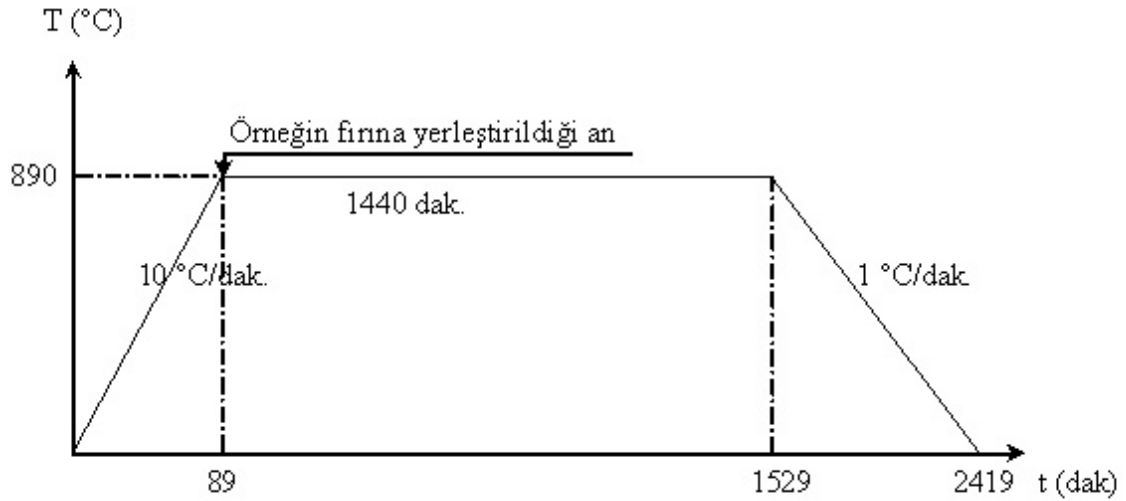
Şekil 15. I. ve II. seri örneklerin kalsinasyon işlemi için sıcaklık – zaman grafiği

### 2.1.3. Sinterlenme İşlemi

Sinterlenme işlemi için, kalsinasyona tabi tutulduktan sonra öğütülen örneklerin tozları yaklaşık 2'şer gramlık miktarlarda, 13 mm çapa sahip tablet kalıbında, 2,5 ton/cm<sup>2</sup> basınç altında preslenerek silindirik tabletler (pelet) haline getirildi.

Oluşturulan tabletler, önceden kalibre edilmiş, 10 °C/dakika hızla 890 °C'ye ısıtılmış tüp fırına yerleştirildi. 24 saat bu sıcaklıkta bekletilen tabletler (aynı serideki aynı katkıya sahip tüm tabletlere aynı anda üretim işlemleri uygulandı) 1 °C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. Bu ısıl işlemler şematik olarak Şekil 16'da gösterilmektedir. Oda sıcaklığına soğutulan tabletler, yapıda oksijen eksikliği olabileceğinden dolayı oksijen verme işlemine tabi tutuldu.

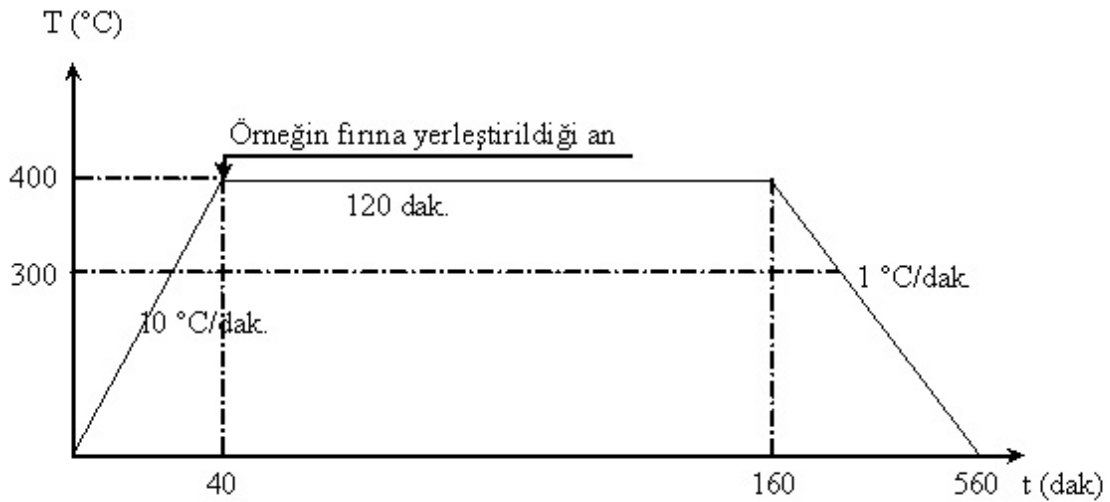




Şekil 16. I. ve II. seri örneklerin sinterlenme işlemi için sıcaklık – zaman grafiği

#### 2.1.4. Oksijen Verme İşlemi

Sinterlenen örneklere son aşama olarak, Şekil 17’de gösterilen oksijen verme işlemi uygulandı. Örnekler, 10°C/dak hızla 400°C’ye ısıtılan Lenton marka Eurotherm 818 programlanabilir bir tarafı kapatılmış tüp fırının içine yerleştirildi. Diğer ucundan içeriye oksijen verilerek aynı sıcaklıkta 2 saat bekletildi ve daha sonra yine oksijen ortamında dakikada 1 °C hızla 300°C’ye soğutuldu. Bu sıcaklıklar diferansiyel termal analiz (DTA) verilerinden elde edildi.



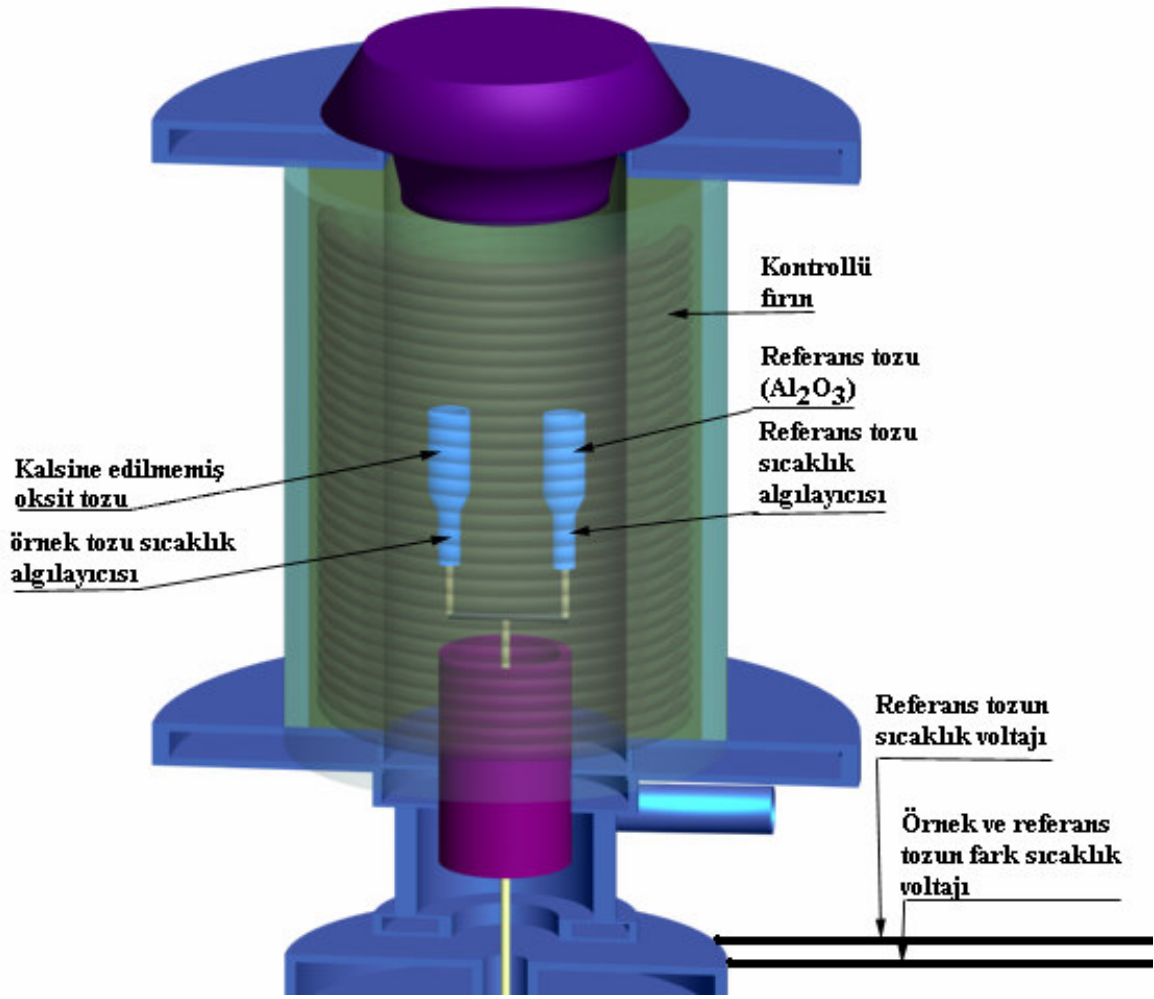
Şekil 17. I. ve II. seri örneklere oksijen verme işlemi için sıcaklık – zaman grafiği

## 2.2. DTA Ölçümleri

Örneklerin endotermik ve ekzotermik reaksiyonunun sıcaklığa göre değişimi DTA analiziyle belirlenebilmektedir. DTA analizinde kullanılan sistem Şekil 18’de gösterilmektedir. DTA analizinde referans olarak  $Al_2O_3$  tozu kullanıldı. Örnek toz ve  $Al_2O_3$  tozu alümina potalara yerleştirildi. Fırının sıcaklığı  $5\text{ }^\circ\text{C/dak}$  hızla  $1070\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklığa kadar ısıtıldı. Ölçüm süresince  $Al_2O_3$  tozunun sıcaklığı (T) ve örnek ile referans tozu sıcaklıkları farkı  $\Delta T$  (voltaj cinsinden) ölçüldü. DTA ölçümünde kullanılan örnek tozları, sitokiyometrik oranlarda karıştırılmış oksit tozlarıdır. DTA küçük potalarına konulan örnek tozları 0,2-0,4 gram arasındadır. Sıcaklık ölçümlerinde Pt-PtRh%13 termocuift kullanıldı. Ölçümler, geliştirilen bir program kullanılarak bilgisayar yardımıyla yapıldı. DTA sisteminin şematik çizimi ise Şekil 19’da gösterilmektedir.



Şekil 18. Diferansiyel termal analiz (DTA) sistemi



Şekil 19. Diferansiyel termal analiz (DTA) sistem geometrisi

### 2.3. Optik Fotoğrafları

Örneklerin yüzey mikroyapıları, polarize ışıklı bir optik mikroskop kullanılarak resmedildi. Bütün örnekler 10  $\mu\text{m}$  ve 0,25  $\mu\text{m}$ 'lik elmas pastalar kullanılarak parlatıldı. Nikon ECLIPSE ME600 polarize optik mikroskopta (Şekil 20) 20X büyütme, 5X göz büyütmesi ve fotoğraf makinesinin (5,1) dijital büyütme özelliğinden faydalanılarak optik mikroyapı çekimleri yapıldı.



Şekil 20. Nikon ECLIPSE ME600 Polarize Optik Mikroskop

#### 2.4. X-Işını Kırınım Ölçümleri

Rigaku D/Max-IIIC difraktometresinde  $\text{Cu-K}_\alpha$  X ışını kullanılarak ölçüm sistemi Şekil 21’de görülmektedir. Ölçümler için, çalışma voltajı ve akımı 30 kV ve 20 mA olarak seçildi. Ayrıca, ölçümler sırasında  $2\theta = 3^\circ - 60^\circ$  aralığı ve  $5^\circ/\text{dak.}$  tarama hızı değerleri kullanıldı.

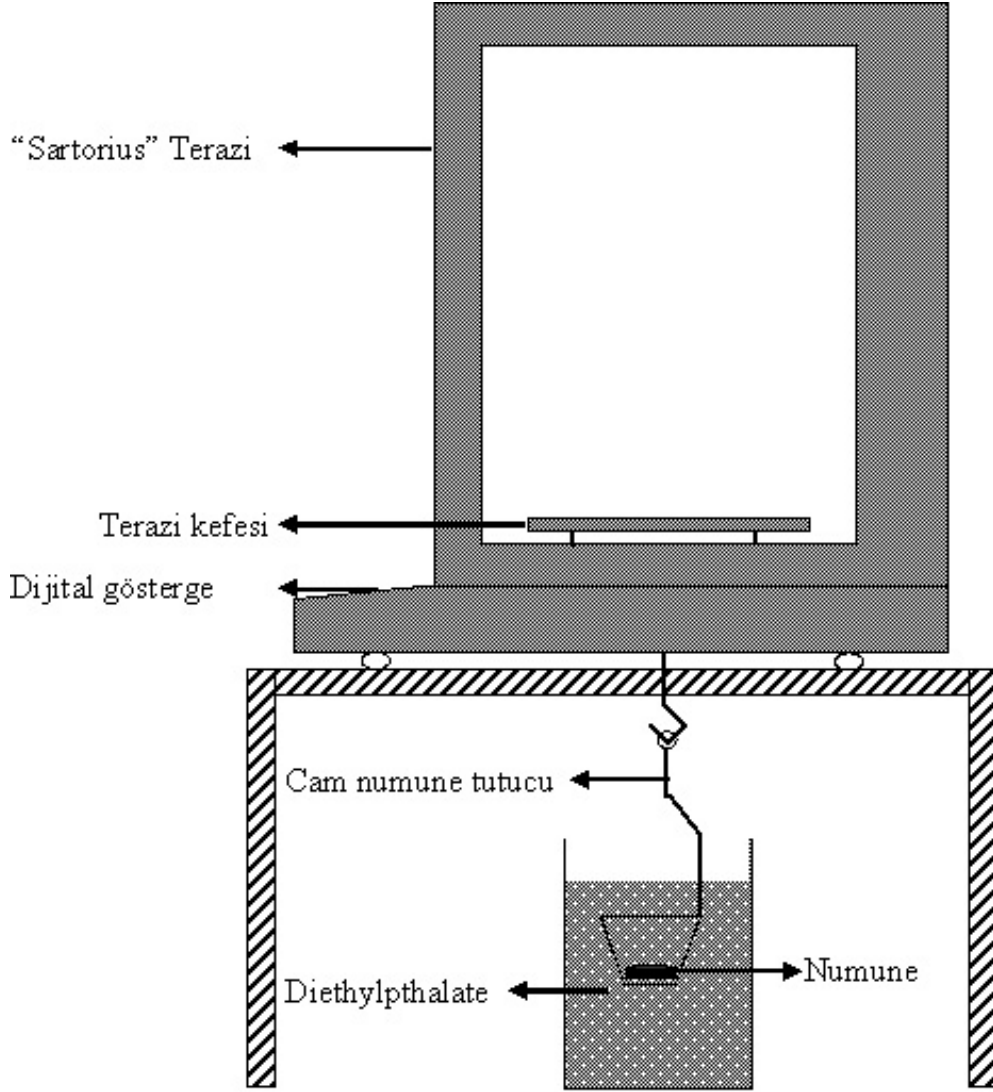




Şekil 21. Rigaku D/Max-III C polikristal difraktometresi

## 2.5. Yoğunluk Ölçümleri

Her iki serideki altışar örnek için yoğunluk ölçümü Şekil 22’de gösterilen Archimed yoğunluk ölçme sistemi (densitometre) ile yapıldı. Cihaz, diethylphthalate sıvısına kısmen batırılmış askı ile Sartorius BP 110 S marka dijital mikrobalansa bağlı bir sistemden ibarettir. Diethylphthalate sıvısının yoğunluğu, 15 °C’de  $1,122\text{g.cm}^{-3}$ ’tür



Şekil 22. Yoğunluk ölçüm deney geometrisi

Yoğunluk ölçümü için, örneklerin havadaki kütlesi ( $M_n$ ) ve sıvı içindeki kütlesi ( $M_s$ ) ölçüldü. Aşağıdaki formül kullanılarak yoğunluk değerleri hesaplandı.

$$\rho_n = \rho_s \frac{M_n}{M_n - M_s} \quad (12)$$

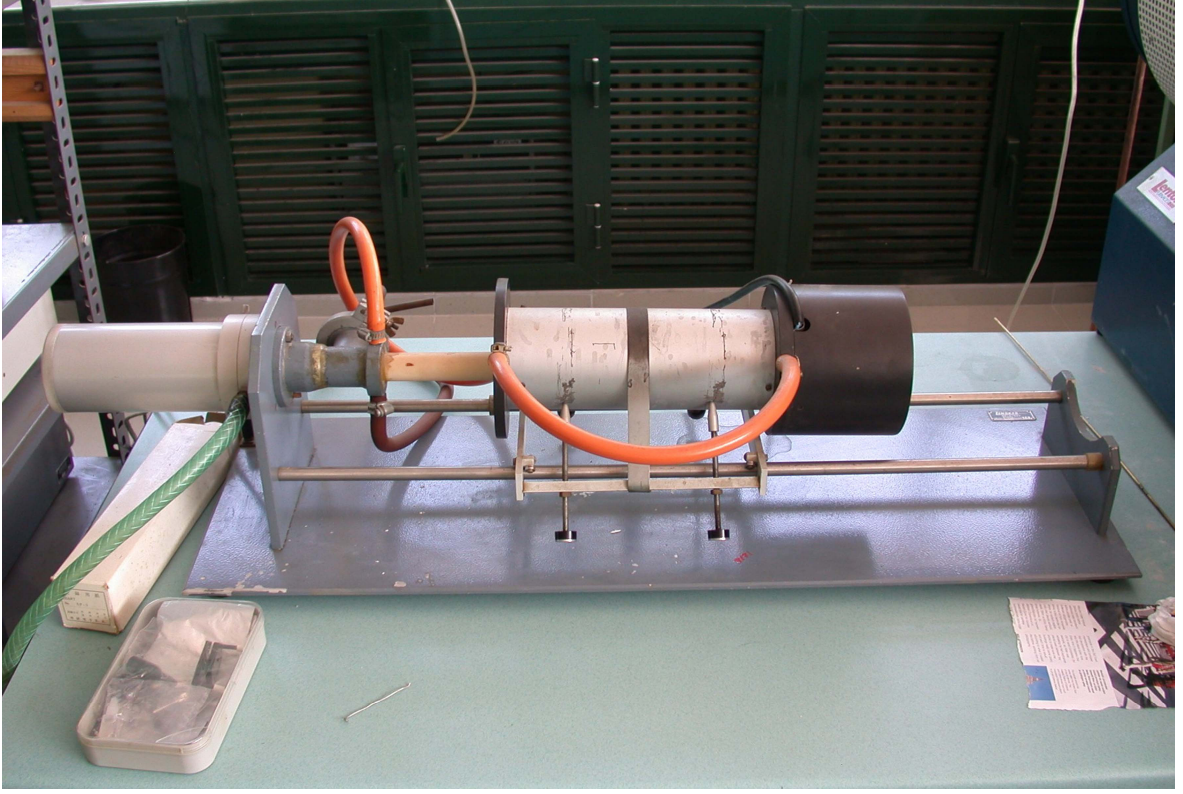
Formülde,  $\rho_n$  numunenin yoğunluğu ve  $\rho_s$  sıvının yoğunluğudur. Yoğunluk ölçümlerinde, yüksek yoğunluğa sahip bir sıvı olduğu için diethylphthalate kullanılmıştır. Bu yöntem atomlar arası fazla boşluk içeren bir malzemenin yoğunluğunu ölçmeye olanak verir (Yanmaz, 1992). Bilindiği gibi bir numunenin yoğunluğu, numunenin geometrisi ve kütlesi ölçülerek de hesaplanabilir. Çalışmada hataları azalmak için Arshimed metodu

kullanıldı. Sıvı içindeki ölçümler, örnek sıvı içine yerleştirilip 30 sn bekletildikten sonra yapıldı.

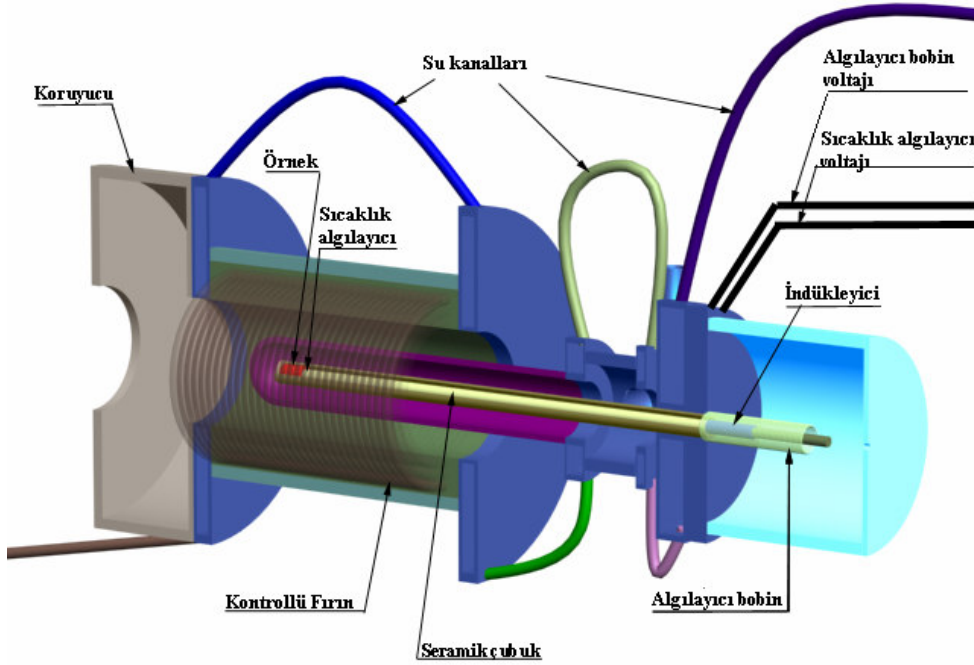
## 2.6. Dilatometre Ölçümleri

Bar şeklinde kesilen sinterlenmiş ve oksijenlenmiş örneklerin sıcaklığa göre genişmesi, Linseis L 1020 marka dilatometre sistemi kullanılarak yapıldı (Şekil 23). Her örnek 50 °C'den – 800 °C'ye dakikada 5 °C hızla ısıtıldı ve 800 °C'de hiç bekletilmeden tekrar 50 °C'ye aynı hızda soğutuldu. Oluşturulan bilgisayar programı tarafından ısıtma ve soğutma süresince her 1 sn aralıklarla ölçümler yapıldı.

Deney geometrisinden de (Şekil 24) anlaşılacağı gibi ısınan örnek genişmekte ve bu genişleme sonucunda Şekil 24'teki seramik çubuk hareket etmektedir. Seramik çubuğun bir ucu örneğe değmekte olup, diğer ucunda ise indükleyici bobine değmektedir. Bobinin başlangıçtaki konumu ise dışta homojen ve zıt sarılmış seri bağlı olan homojen ve özdeş algılayıcı bobinlerin orta noktasında durmaktadır. Dolayısıyla başlangıç noktasındaki indüktif voltaj sıfırdır. Örnek sıcaklıkla genişlediğinde uzamakta veya kısalmaktadır. Örnek, genişlemeyle uzadığında dış algılayıcı bobinler üzerindeki indüktif voltaj pozitif değeri göstermekte ve kısaldığında ise negatif voltajı göstermektedir. Böylece uzaması veya kısılması çok küçük de olsa algılama bobininde kolay bir şekilde ölçülmektedir. Örneğin üzerine değdirilmiş olan termoçift yardımıyla örneğin sıcaklığı ölçülmektedir. Genleşme voltajı ise 1000 kat yükseltildikten sonra voltmetre ile ölçülmektedir. Oluşturulan bilgisayar programı ile genişleme voltajı ve örneğin sıcaklığı 1 saniye zaman aralığıyla ölçülmekte ve sonuçlar program tarafından bir dosyaya kaydedilmektedir.



Şekil 23. Dilatometre ölçümü sistemi



Şekil 24. Dilatometre ölçüm sistemi deney geometrisi



## 2.7. Direnç ve Manyetizasyon Ölçümleri

Farklı manyetik alanlarda (0, 0,5, 1, ... 5 T) direnç ölçümü 70 – 100 K sıcaklık aralığında yapıldı. Ölçümlerde uygulanan akım 2 mA'dir. Sıcaklık hassasiyeti 0,05 K, okunan voltaj 20 nV ve uygulanan manyetik alan ise 0,01 mT hassasiyete sahiptir. Her ölçüm öncesinde örnekler alansız olarak soğutuldu. Ölçüm sistemi başlık 2.7.1 ve 2.7.1.1'de ayrıntılı bir şekilde anlatılmaktadır.

Manyetizasyon ölçümleri 5, 25, 50 ve 77 K sıcaklıklarda 5 mT/dak. hızla 1, 2, 3, 4 ve 5 T'ya kadar, manyetik alan değiştirilerek yapıldı. Manyetizasyon ölçümlerinde örnek boyutu yaklaşık  $2,5 \times 2,5 \times 3 \text{ mm}^3$ 'tür. Sistemin ayrıntıları başlık 2.7.1, başlık 2.7.1.2 ve başlık 2.7.2'te anlatılmaktadır. Deney sisteminin genel görüntüsü Şekil 25'de gösterilmektedir.



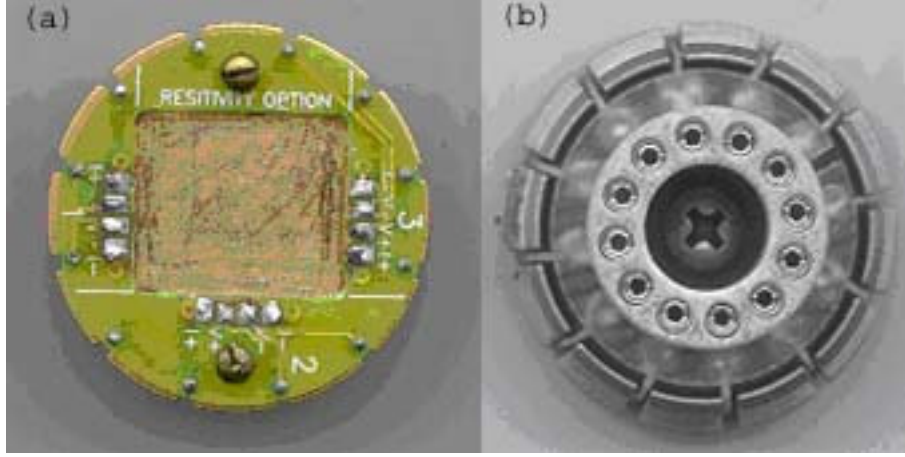
Şekil 25. Quantum Design PPMS sistemi

### 2.7.1. Direnç ve Manyetizasyon Ölçüm Sistemleri

Direnç ve manyetizasyon ölçümleri için kullanılan deney sisteminde ilgili modül değiştirilerek çeşitli ölçüm sistemlerine dönüştürülebilmektedir. Fiziksel ölçüm sistemi, manyetik alan akım kaynağı, sıvı azot ceketli helyum tankı ve tüm bu bileşenleri hassas bir şekilde kontrol edebilen Quantum Design Model 6000 ana kontrolcüsünden meydana gelmektedir. Ana kontrolcü ise sıcaklık kontrolcüsü (1,9 K – 400 K), manyetik alan kontrolcüsü (-7 T – 7 T) içermektedir. Ana kontrolcü bilgisayar tarafından CAN data iletişim kartı yardımıyla tamamen kontrol edilebilmektedir. Manyetik alan, sıvı helyum tankı içindeki Nd süperiletken telden oluşan bobine akım uygulanmasıyla elde edilmektedir. Manyetik alanın hassasiyeti ise 0,01 mT'dır. Laboratuvarında mevcut olan modüller ise, direnç ölçüm modülü ve titreşim örneklemeli manyetometre (VSM) modülüdür.

#### 2.7.1.1. Direnç Modülü

DC direnç modülü Model 6000 PPMS kontrolcüsüne direnç köprüsü eklenerek, direnç ölçüm sistemine dönüştürülmektedir. Bu köprü, dört nokta direnç ölçümü için kullanılacak birbirinden bağımsız dört kanal içermektedir. Program üç kanalı aynı anda kullanabilmektedir. Dolayısıyla direnç ölçümlerinde, Şekil 26'da görüldüğü gibi aynı anda 3 farklı örneğin (kanalın) direnci ölçülebilmektedir. Ayrıca sistemi tamamen kontrol eden program komutlar dizisininin sıralanması şeklinde oluşturulmaktadır. Çalıştırdıktan sonra sistem kontrol edilirken bir sonraki deney için yeni dosyaya aynı programda yeni sıralamalar yapılabilmekte ve kaydedilebilmektedir. Dolayısıyla sistem dosyadaki ilgili komutları ilk satırdan başlayarak yerine getirmektedir. Bu nedenle sistem haftalarca hiç durmadan çalışabilecek özelliğe sahiptir. Direnç ölçümünde gerekli olan akım kaynağı 5 nA – 5 mA aralığında istenilen değer uygulanabilmekte olup, voltaj okuma hassasiyeti ise 20 nV'tur.



Şekil 26. Quantum Design direnç ölçümü için örnek tutucu üstten ve alttan görünümü

### 2.7.1.2. Titreşim Örneklemeli Manyetometre (VSM) Modülü

PPMS sistemine monte edilen Model P525 VSM ölçüm sistemi, hızlı, hassas ve tamamen DC manyetometre kontrollüdür.

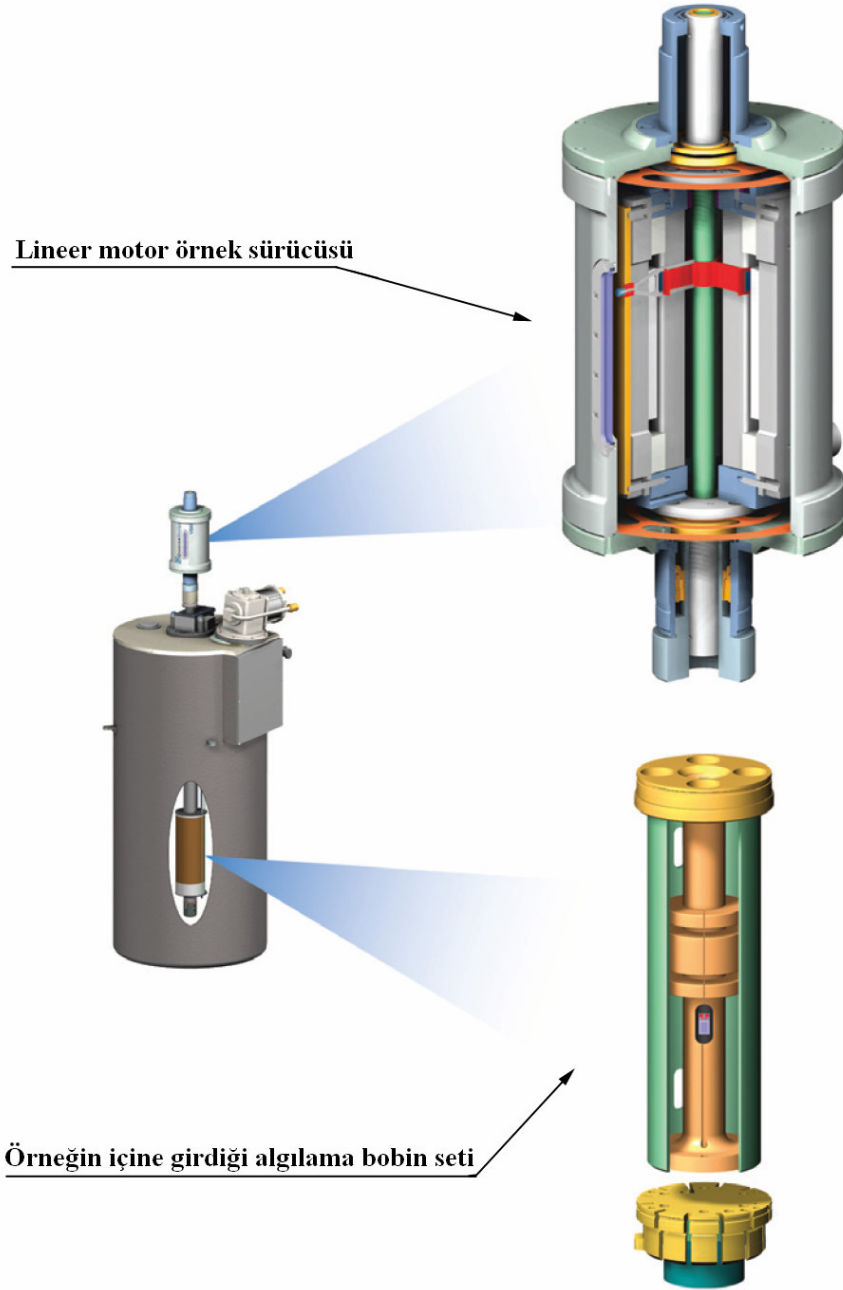
Örneğin lineer titreşimi, VSM lineer motor hareketi tarafından sağlanmaktadır. Titreşim frekansı 40 Hz olup, titreşim hareketi yapılmadan önce örneğin başlangıç konumu (touch centering) sistem tarafından otomatik olarak veya kullanıcı tarafından belirlenir. VSM algılama bobininin hassasiyeti manyetik alanın büyüklüğüyle etkilenmemektedir. PPMS VSM maksimum manyetik alana kadar hassas ölçüm yapabilmektedir. VSM algılama bobini, standart PPMS örnek yerleştirme çubuğu kullanılarak PPMS örnek odasına yerleştirilir. Bu işlem VSM ölçüm sistemine dönüştürmede kolaylık sağlar. PPMS sisteminde VSM sistemini oluşturduktan sonra programda da aktif hale getirilmesi çok kolaydır.

PPMS ve VSM sistemleri, Quantum Design'ın tak-çıkart özelliğe sahip gelecek nesil elektronik CAN (açık network protokolü) mimariyi kullanarak tasarladığı ilk ölçüm sistemidir. VSM, yeni mimarinin kalbi olan Model 1000 modüler kontrol sistemini içerir. Model CM-A VSM motor modülü ve Model CM-B VSM algılama modülü, isteğe bağlı özel ölçümlere olanak sağlar. Böylece gelecekte de yeni sistemlerin bu sisteme takılabilesine de olanak sağlar.

## 2.7.2. VSM Sisteminde Manyetizasyon Ölçümü

Titreşim örnekleme manyetometre sistemindeki manyetizasyon ölçümünde temel prensip, örneğin algılama bobini yakınında bobinin aksel yönünde titreştirilmesi sırasında eş zamanlı olarak algılama bobininde etki ile voltaj oluşturulması ve bu voltajın ölçümüdür. Algılama bobiniyle birleşik bağlı osilasyon genliği 1-3mm ve frekansı 40 Hz olan gradiyometre kullanılarak sistem, 1 Hz veri hızında  $10^{-6}$  emu'dan daha az değişimleri algılayabilmektedir.

Örnek, sinüsel titreşim yapan örnek çubuğunun ucuna takılır. Titreşim merkezi tayini, gradiyometre algılama bobinin dikey ortasında isteğe bağlı olarak otomatik veya elle oluşturulabilir. Doğru merkezleme ve titreşim genliği, VSM lineer motor hareketini sağlayıcı tarafından optik lineer kod çözücü kullanan VSM motor modülü ile kontrol edilir. Algılama bobininde indüktif voltaj yükseltildikten sonra frekans ve faz kilitlemeli yükselteç tarafından VSM algılama modülünde ölçülür. VSM algılama bobini, eş zamanlı algılama için referansa göre konum çözücü sinyali kullanır. Bu çözücü sinyal, VSM lineer motor hareketini sağlayan modülden gelen ham sinyali dönüştüren VSM motor modülünden elde edilir. VSM algılama modülü, çözücünden ve algılama bobininden gelen yükseltilmiş voltajdan faz içi veya belirli fazlardaki sinyali algılar. Bu sinyallerin ortalaması alınır ve CAN arayüzeyi aracılığıyla bilgisayardaki programa komut karşılığı olarak gönderilir. VSM sistemindeki algılama bobini ve gradiyometre birimleri Şekil 27'de gösterilmektedir.



Şekil 27. VSM modülünün sıvı azot ceketli sıvı helyum tankındaki konumları. Üst taraf gradiyometre ve alt taraf ise algılama bobininin büyütülmüş halini göstermektedir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

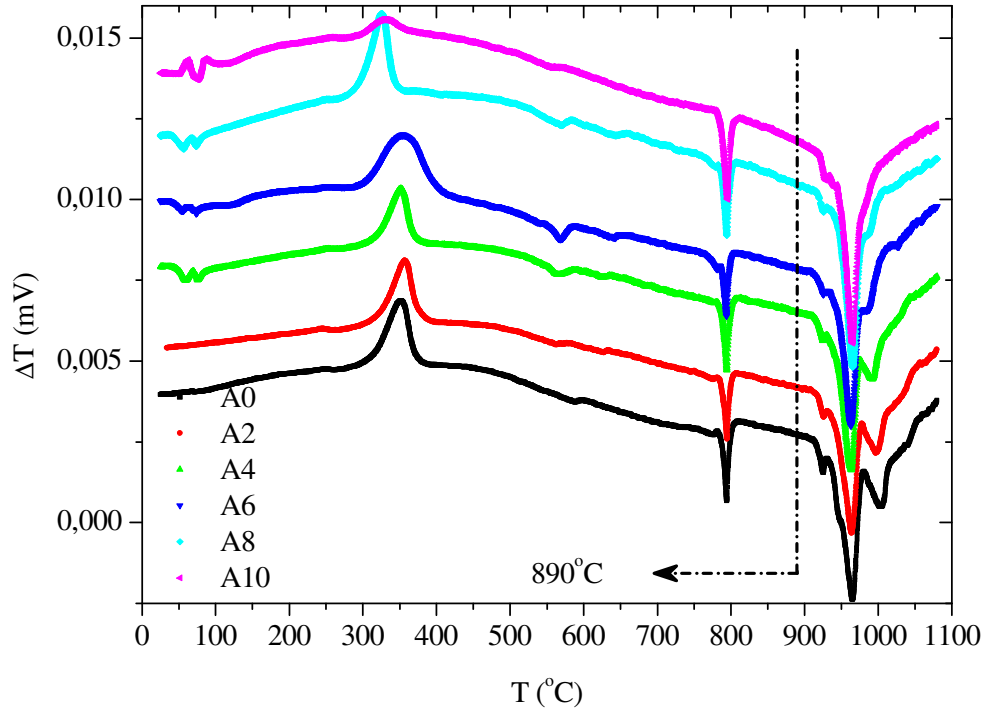
#### 3.1. Giriş

Başlangıç kompozisyonu I.seri  $Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  ve II.seri  $Yb_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  serileri olmak üzere  $x$  0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 ve 1,0 için malzemeler katıhal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi. Üretilen örneklerin bazı yapısal ve fiziksel özellikleri incelendi. X-ışını polikristal difraktometresiyle elde edilen kırınım desenlerinden, örneklerin içerdiği fazlar ve örgü parametreleri tespit edildi. Polarize ışık altında optik mikroskopta, örneklerin parlatılan yüzeyinden yüzey resimleri çekildi. Fotoğraflardaki renk farklılığı kullanılarak yapı içindeki tanelerin yönelmeleri, taneler arası mesafeleri ve tane sınırları incelendi. Yoğunluk ölçümleri yapılarak serideki diğer örneklerle her biri kıyaslandı ve katkıya ( $x$ ) göre değişimi incelendi. Dilatometre sistemiyle genişleme baz alınarak her örneğin tetragonal/ortorombik faz geçiş sıcaklıkları incelendi. Farklı manyetik alanlar altında sıcaklığa göre direnç değerleri ölçülerek kritik geçiş sıcaklığı ve katkının geçiş sıcaklığına, üst kritik manyetik alan değerine ve manyetik alanın tane içine girmeye başladığı tane içi kritik manyetik alana etkileri incelendi. Aktivasyon enerjisinin katkıya göre değişimi incelendi. Farklı sıcaklıklarda manyetizasyon ölçümleri yapılarak elde edilen manyetizasyon değerlerinden, kritik akım yoğunluğu hesaplandı ve kritik akım yoğunluğuna katkının etkisi incelendi. Elde edilen sonuçlar diğer çalışmalardaki sonuçlarla kıyaslandı.

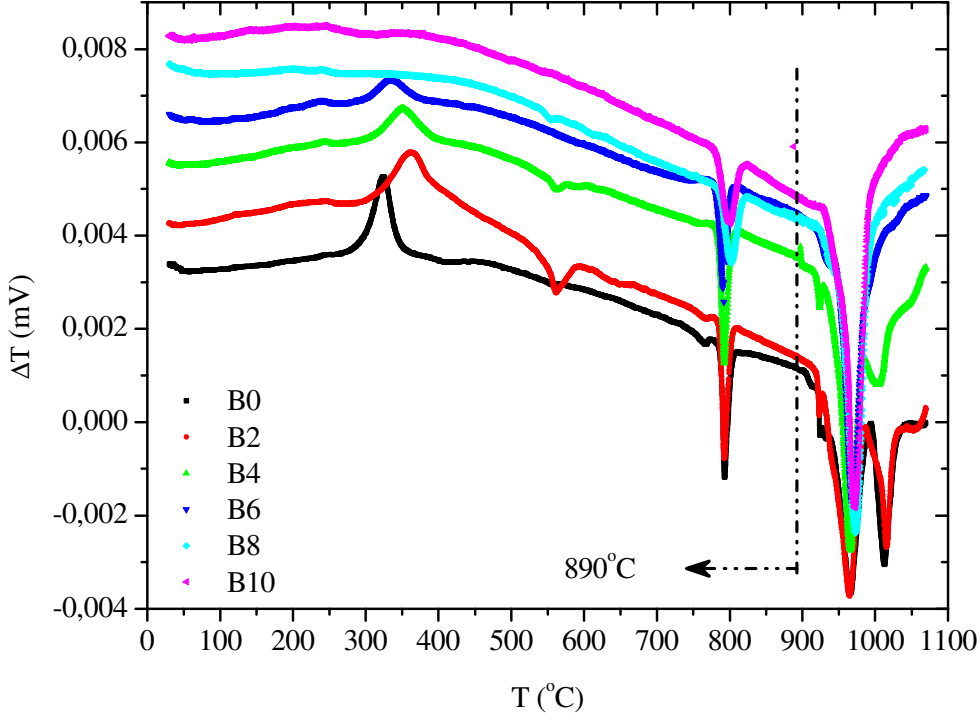
#### 3.2. DTA Analizleri

Birinci ve ikinci seri malzemelerin tümü için kalsinasyon, sinterlenme, oksijen salma ve faz geçiş sıcaklıklarının hepsi DTA ölçümlerinin sonucunda belirlendi. Seride örnekler arası kıyaslama yapabilmesi için, tüm örneklerle aynı sıcaklık değerleri uygulandı. Bunu sağlamak için sinterlenme sıcaklığı, örneklerin erime sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıkta olması gerekmektedir. Fakat katkı oranlarına göre erime sıcaklıkları değişmektedir. Dolayısıyla en düşük erime sıcaklığının yaklaşık 5 °C daha aşağısındaki bir sıcaklık, sinterlenme sıcaklığı (890 °C) olarak belirlendi. Oksijen salma sıcaklıkları ise 300 °C – 400 °C arasında olduğu için, örneklerin oksijende tavlınması 400°C’de iki saat bekletildikten sonra yine oksijen ortamında dakikada 1 °C hızla 300 °C’ye soğutularak her

örneğe eşit oranlarda oksijen verilmesi düşünüldü. DTA ölçümleri sonucunda elde edilen sinterleme ve oksijen verme sıcaklıkları I ve II. seri örnekler için aynı alındı. DTA ölçümleri I.seri örnekler için Şekil 28 ve II.seri örnekler için Şekil 29’da gösterilmektedir.



Şekil 28. A0, A2, A4, A6, A8 ve A10 örnekleri için diferansiyel ısı analizleri



Şekil 29. B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örnekleri için diferansiyel ısı analizleri

### 3.3. XRD Analizleri

Hazırlanan örneklerin polikristal difraktometresinde elde edilen x-ışını kırınım desenleri, A grubu (I. seri) örnekleri için Şekil 30, B gurubu (II. seri) örnekleri için ise Şekil 31’de gösterilmektedir. Her iki seri örneklerin spektrumlarında 123 yapısına ait olan (003), (013), (103), (005), (113), (006), (200), (116) ve (213) pikleri görüldü. 211 yarıiletken yapısına ait yalnızca 24,78°’deki (200) piki A0 ve 31,82°’deki (140) piki B0 örneklerinde çok düşük şiddetlerde görüldü. BaCuO<sub>2</sub> yapısına ait 30,76°’deki (620) piki B0 örneğinde çok düşük şiddette görüldü. Elde edilen kırınım desenlerindeki ilgili düzlemlerin (*hkl*) Miller indisleri belirlendi. İndisler ve düzlemler arası mesafe kullanılarak örgü parametreleri (*a, b, c* ve hacim) hesaplandı. Hesaplama en küçük kareler metodu kullanılarak geliştirilen bilgisayar programından faydalanıldı.

Program ile yapılan hesaplamada, ilgili piklerin indisleri girildikten sonra *a*, *b* ve *c* değerleri hesaplatıldı. Elde edilen örgü parametreleri ve ilgili düzlemler arası mesafe kullanılarak tekrar düzlemlerin (*hkl*) Miller indisleri hesaplandı. Dolayısıyla hesaplamının doğruluğu program içinde sağlandı. Hesaplanan *a*, *b*, *c* ve *V* (hacim) değerlerinin katkı



miktarına (x) göre değişimleri A grubu örnekler için Şekil 32’de ve B grubu örnekler için ise Şekil 33’te verilmektedir.

Yb123 ve Gd123 yapılarında, Y123’te olduğu gibi, iki farklı Cu dizilimi vardır. Bunların biri kristalin b eksenine boyunca Cu-O zincirindeki Cu1, diğeri ise süperiletkenliği sağlayan CuO<sub>2</sub> düzlemindeki Cu2’dir. Oksijen eksikliğinin ( $\delta$ ) artmasıyla, Cu-O zincirindeki O1 atomları eksilir ve böylece O1, Ba ve Cu2 aralarındaki etkileşimlerin azalması sonucunda aralarındaki mesafe büyüyerek c örgü sabitinin artmasına neden olur (Taka vd., 2002).

Yb123 yapısında ise, Yb’nin iyonik yarıçapının Y’ninkinden küçük olması da Gd123’ün süperiletkenliğe yaptığı etkinin tersi fakat farklı büyüklükte olabileceği düşünülmektedir ( $r_{Yb}=0,858 \text{ \AA}$ ,  $r_Y=0,900 \text{ \AA}$ ,  $r_{Gd}=0,938 \text{ \AA}$ ) (Veal vd., 1989). Ayrıca, Yb’nin yapıya girmesi Gd’nin oksijen gereksinimini azaltmaktadır. Her ikisi Y123’e katıldığında ise süperiletkenlikte üç farklı etki meydana gelmektedir. Bu nedenle, I.seri örneklerin katkı miktarı değiştikçe c örgü parametresi değeri katkı miktarına göre paralel değişmediği Şekil 32’de görülmektedir.

A grubu (Şekil 32) ve B grubu (Şekil 33) örneklerin süperiletken yapı olan 123 ortorombik yapısında olduğu hesaplanan örgü parametrelerinden görülmektedir. Y123 yapısına ait olan A0 örneğinin c örgü parametresi değeri  $c=11,686 \text{ \AA}$ , literatürde mevcut değeriyle  $c=11,680 \text{ \AA}$  (Taka vd., 2002) hemen hemen aynıdır. Aynı seride diğer katkıların örgü parametrelerindeki değişimler, yukarıda da belirtildiği gibi, katkı miktarına göre orantısız değişmemektedir.

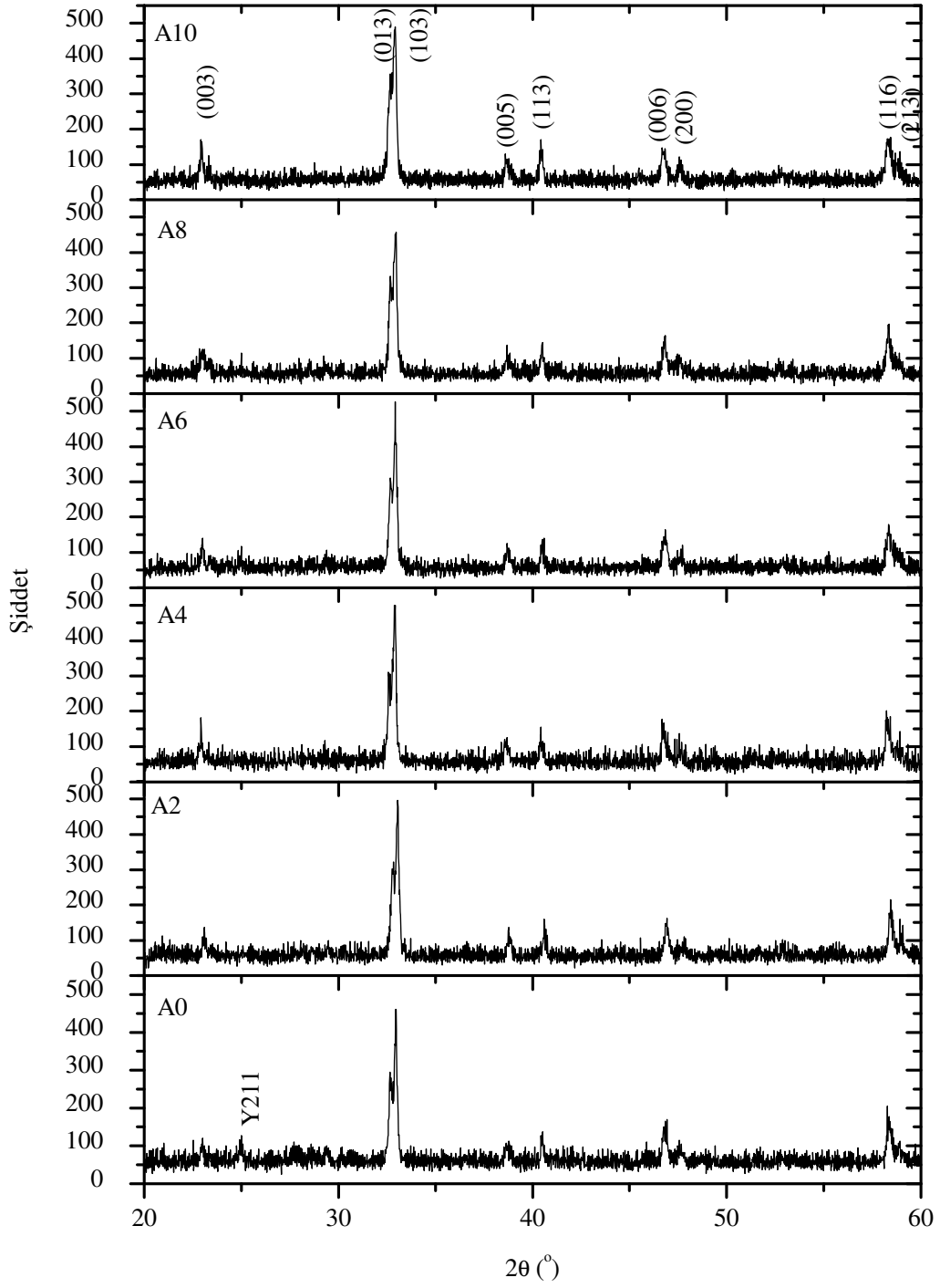
A10 örneğindeki a, b, c ve V değerleri, II.seride B4 ve B6 örnekleri için hesaplanan değerler arasındadır. İkinci seride x=0,5 katkısı olmadığı için B4 ve B6 örneklerine göre değerlendirildiğinde, A10 örneğinin örgü parametreleri B4’ten büyük ve B6’dan da küçüktür. Bu da her iki grubun birbirine göre uyum halinde olduğunu göstermektedir.

II.seri örneklerde ise c örgü parametresi lineer olarak artmaktadır. Dolayısıyla yapıda Yb atomu azalırken Gd atomunun artması c örgü parametresini arttırmaktadır. Bunun sebeplerinden biri de Gd atomunun iyonik yarıçapının Yb atomunun iyonik yarıçapına göre büyük olmasıdır.

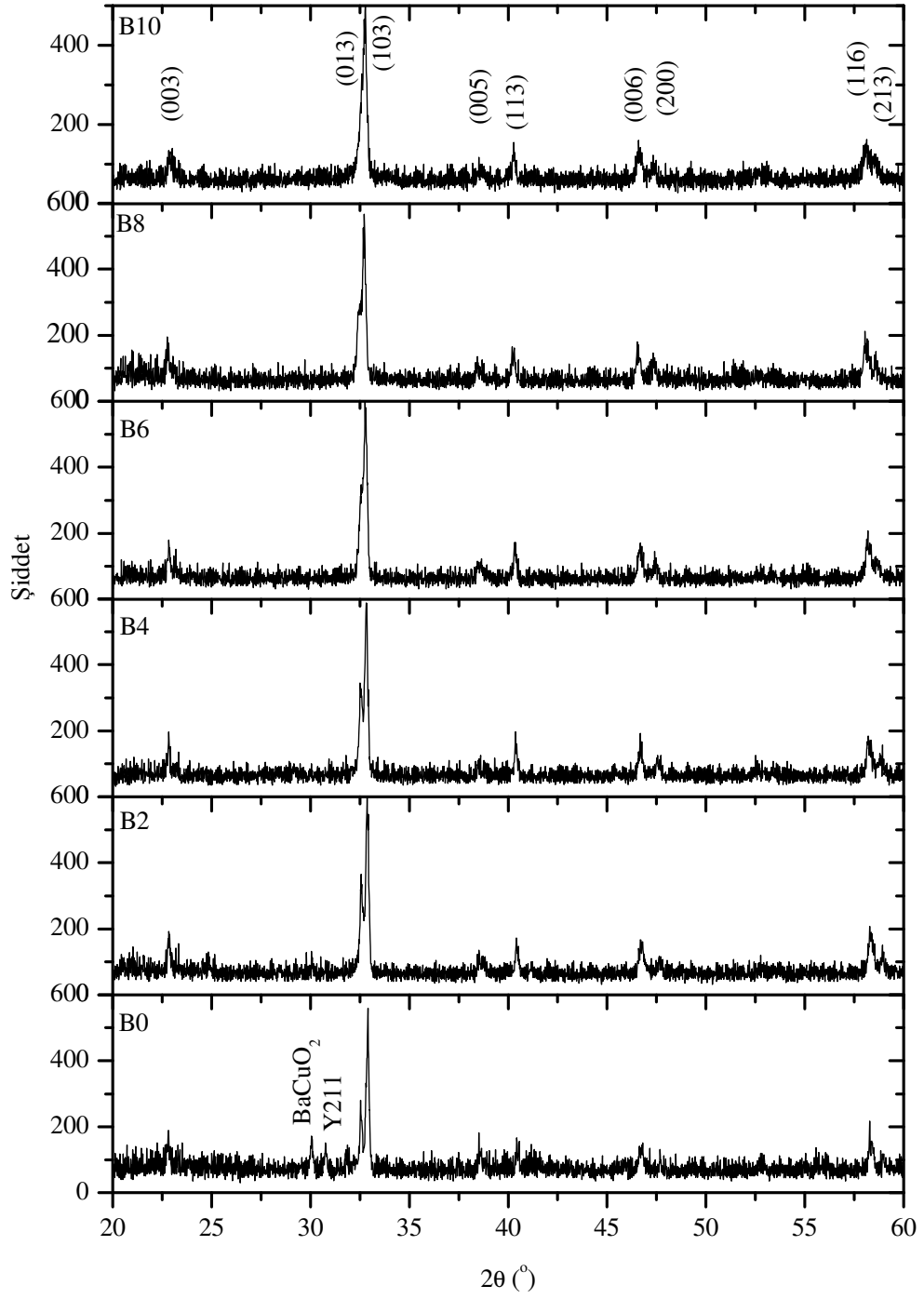
Serilerdeki örneklerden, literatürde mevcut olan örgü parametreleriyle karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmektedir. Örgü parametreleri teorik değerlerle karşılaştırıldığında yaklaşık olarak uyum halinde olduğu görülmektedir.

Tablo 7. DBWS-9006PC programı (Caneiro vd., 1981) kullanılarak hesaplanan teorik örgü parametreleriyle deneysel verilerin karşılaştırılması.

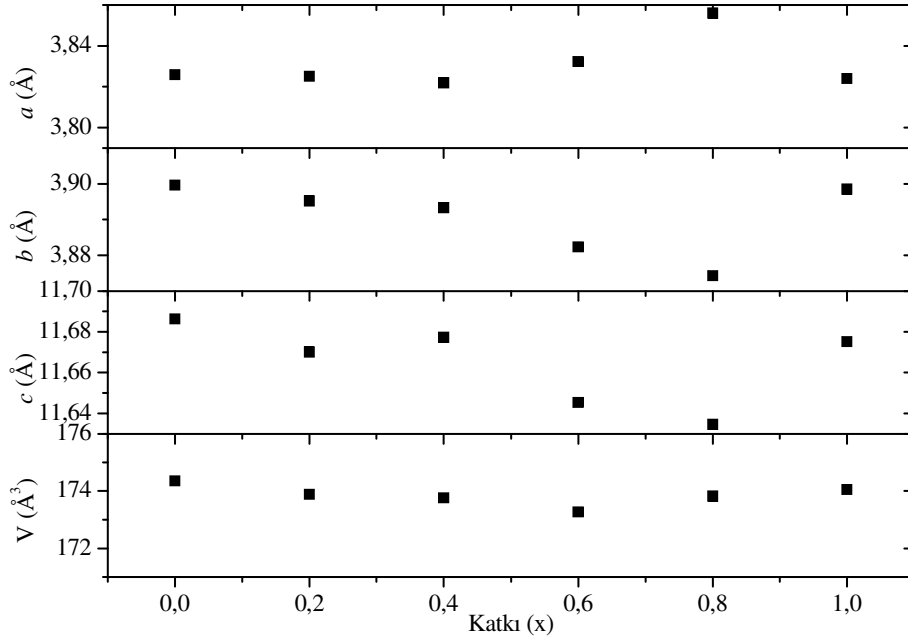
Parametre	Y123 (A0 örneği)		Gd123 (B10 örneği)	
	Teorik	Deneysel	Teorik	Deneysel
$a$ (Å)	3,8230	3,8259	3,8416	3,8488
$b$ (Å)	3,8857	3,8996	3,8984	3,8823
$c$ (Å)	11,680	11,686	11,707	11,694
$V$ (Å <sup>3</sup> )	173,5	174,4	175,32	174,74



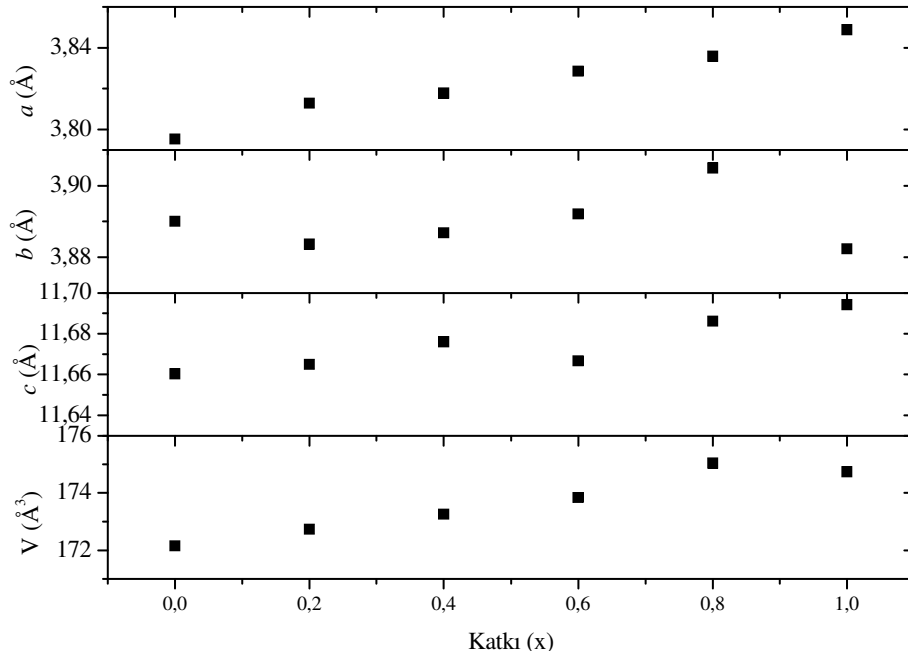
Şekil 30. I. seri örneklerin polikristal difraktometresiyle elde edilmiş x-ışını kırınım desenleri



Şekil 31. II. seri örneklerin polikristal difraktometresiyle elde edilmiş x-ışını kırınım desenleri



Şekil 32. I. seri örneklerin x-ışını kırınımları kullanılarak hesaplanan örgü parametrelerinin ( $a$ ,  $b$  ve  $c$ ) ve hacimlerinin katkı miktarına göre değişimleri



Şekil 33. II. seri örneklerin x-ışını kırınımları kullanılarak hesaplanan örgü parametreleri ( $a$ ,  $b$  ve  $c$ ) ve hacimlerinin katkı miktarına göre değişimleri

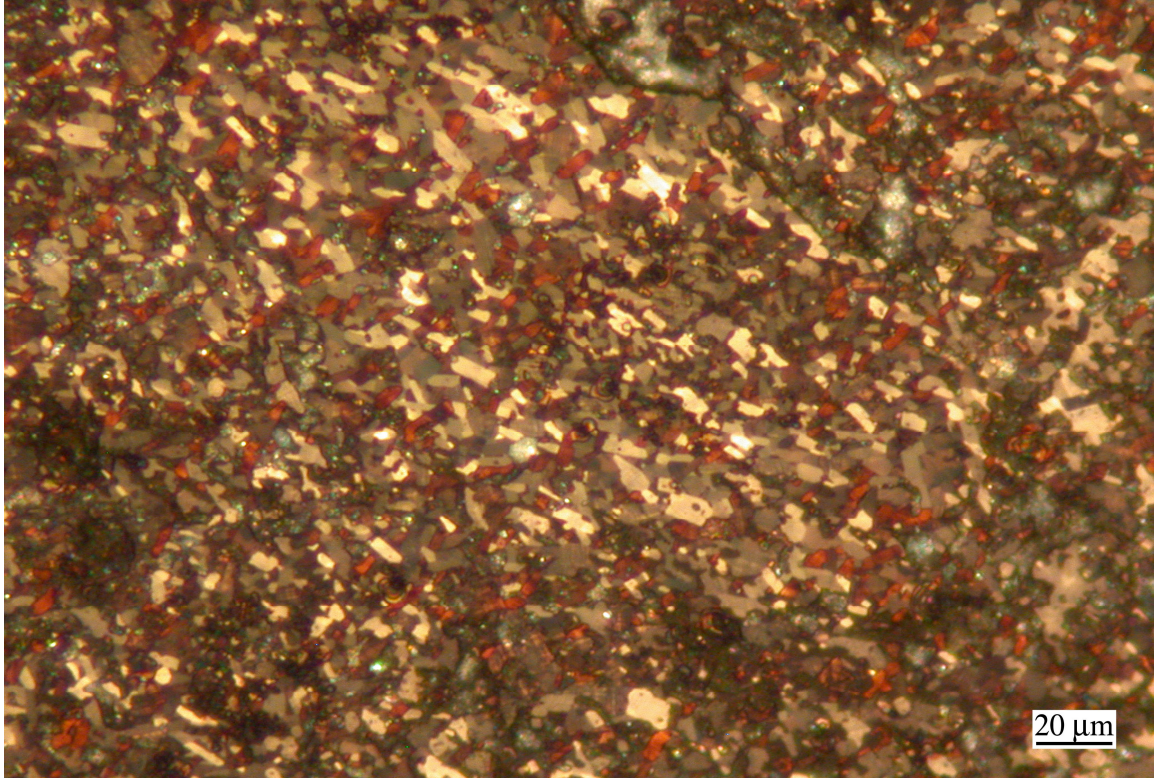
### 3.4. Optik Fotoğraf Analizleri

Polarize ışık demeti altında optik mikroskopta çekilen fotoğraflar A ve B grubu örnekleri için aşağıda verilmiştir. Bunlar, Şekil 34 - 39 sırasıyla A0, A2, A4, A6, A8, A10 ve Şekil 40 - 45 ise sırasıyla B0, B2, B4, B6, B8, B10 örneklerine aittir.

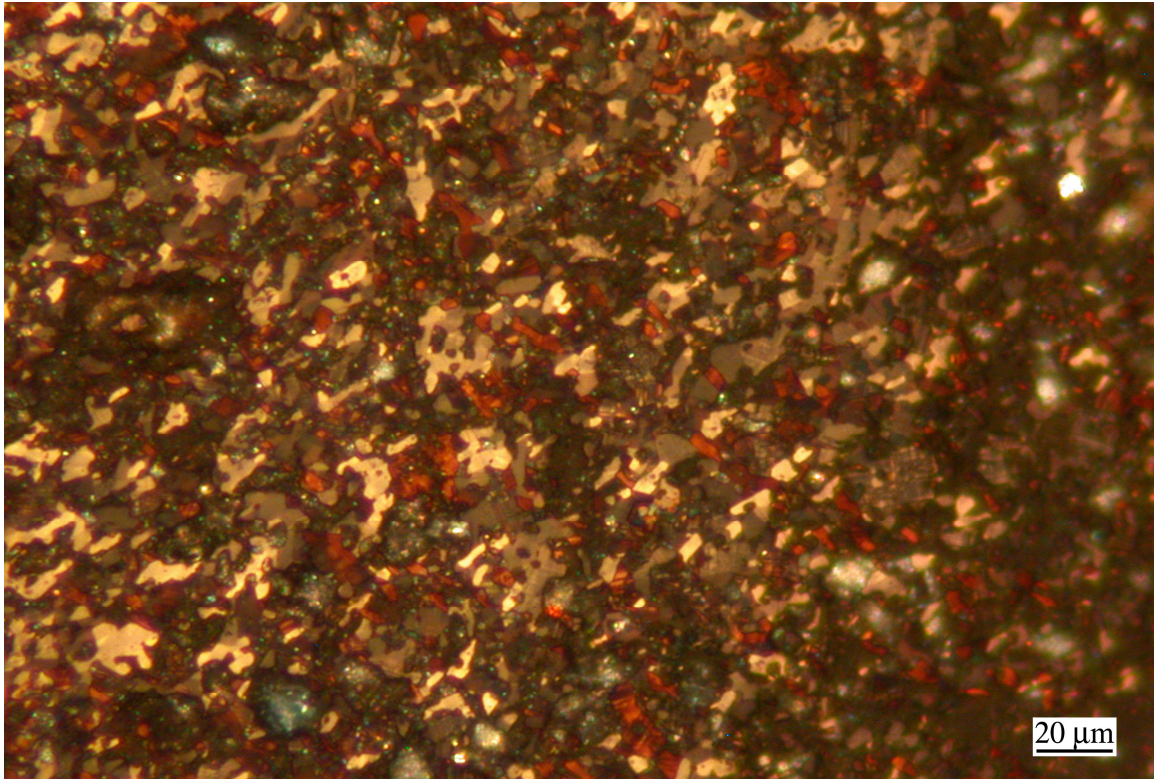
Resimlerin incelenmesinden, süperiletken kristallerinin oluştuğu ve tane boyutları ile yönelimlerinin farklı olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca, katıhal tepkime yöntemiyle üretilmiş örneklerin parlatılmasında sıkıntılar olduğu görülmektedir. Mikrograflardaki siyah bölgeler boşlukları temsil etmektedir. Çünkü geleneksel yöntemlerle üretilmiş örneklerde boşluk (porozite) büyük oranda bulunmaktadır. Boşlukların miktarlarının azalması, kütleli yoğunluğun artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda süperiletken özelliklerin iyileştiği bilinmektedir.

Bunlara ek olarak polarize ışık altında çekilen mikrograflarda farklı renklerde taneler görülmektedir. Bu, kristallerin farklı büyüme yönlerine sahip olduklarını göstermektedir. Ayrıca, hiçbir örnekte tercih edilebilir bir yönde büyüme oluşmamıştır.

B0 örneğinin mikrografında tanelerin, diğer örneklere göre karşılaştırıldığında çok büyük olmasının nedeni ise, genel olarak tüm örneklere uygulanan sinterleme işlemi için seçilen sıcaklığın, Yb123'ün erime sıcaklığına çok yakın olması sonucunda, kristallerin büyümesine katkıda bulunmuştur.

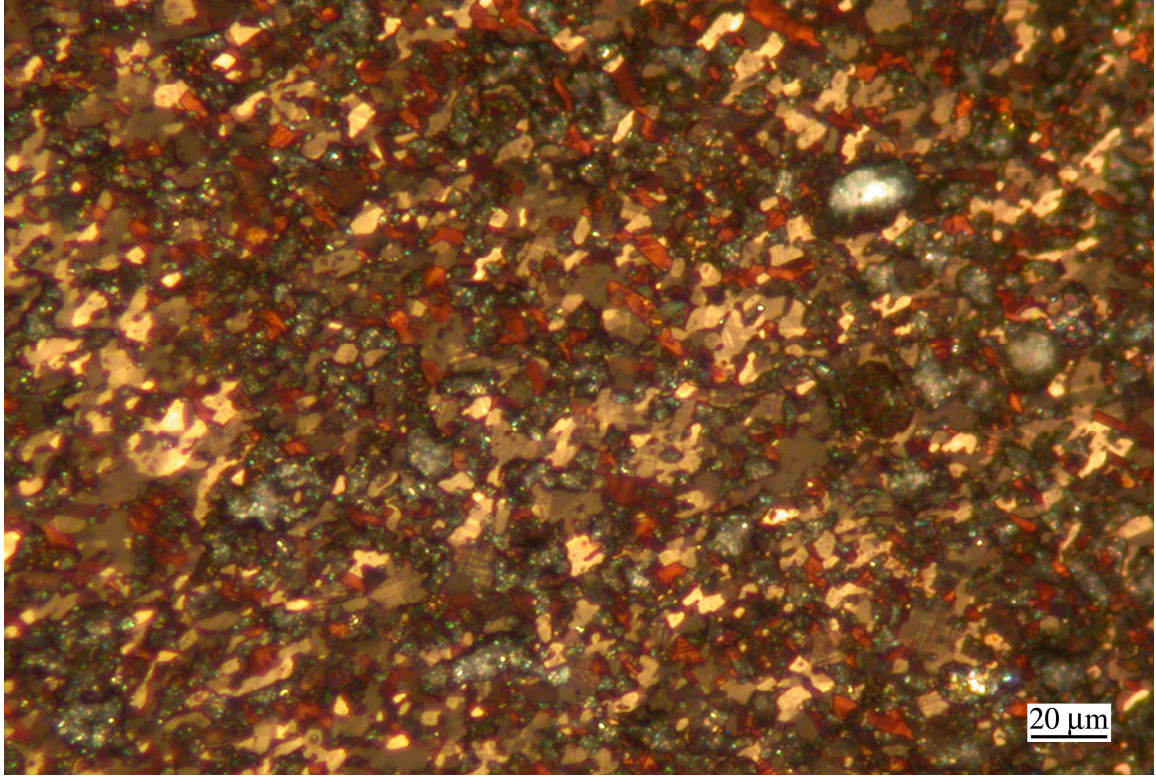


Şekil 34. A0 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı

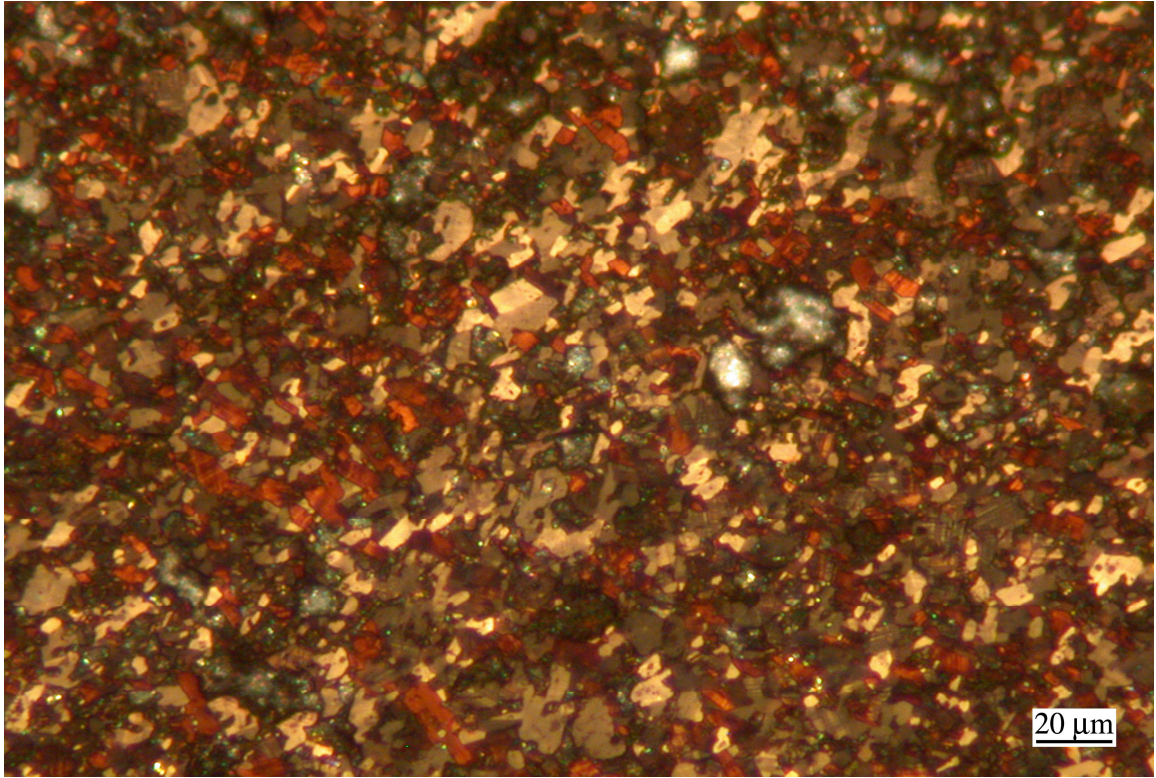


Şekil 35. A2 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı



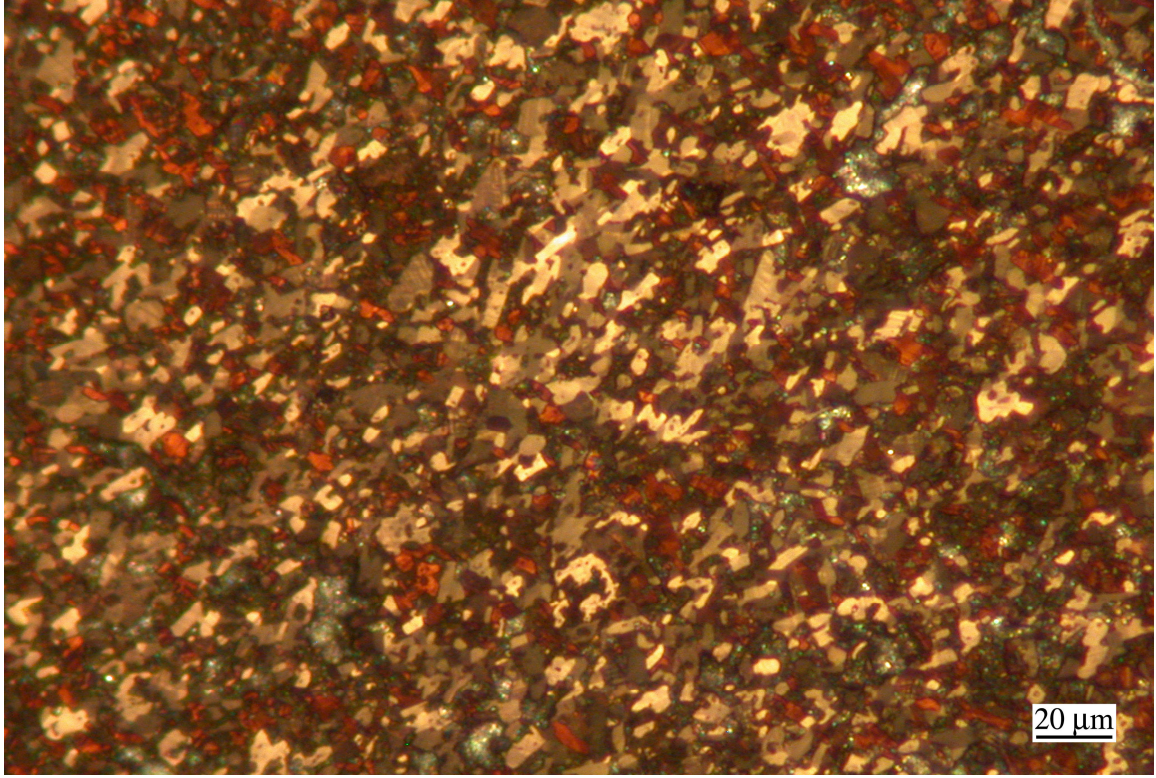


Şekil 36. A4 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı

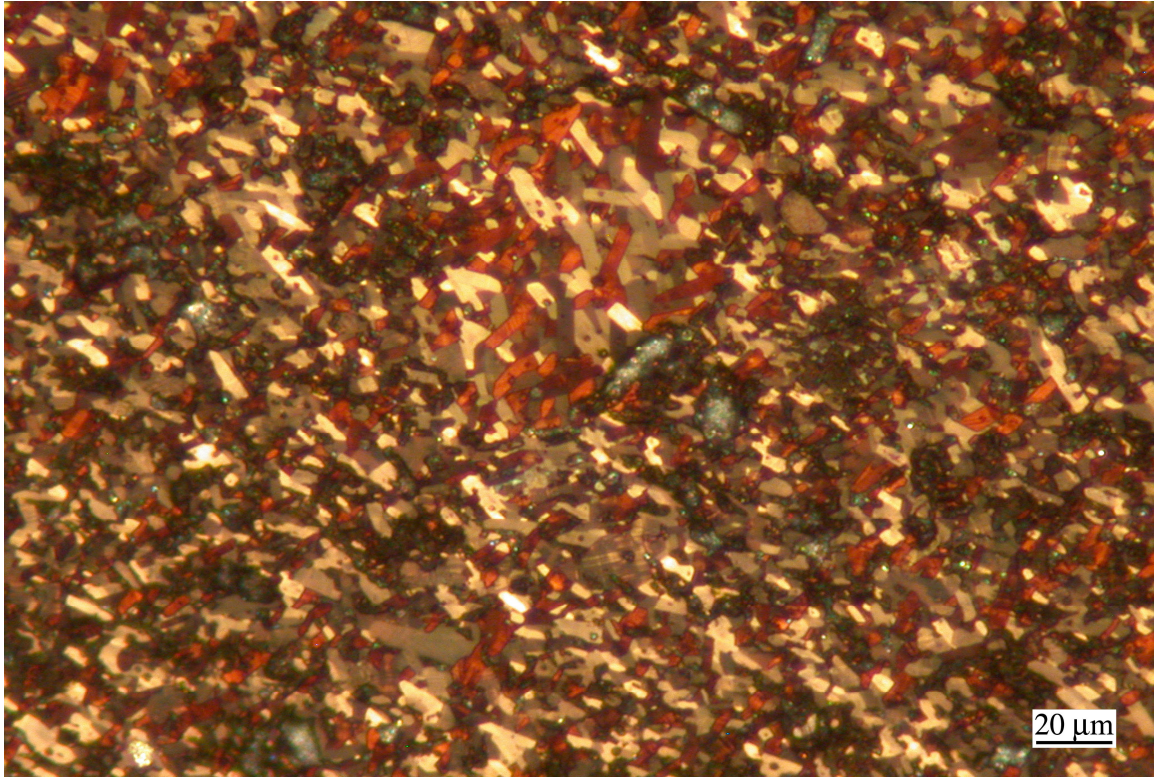


Şekil 37. A6 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı



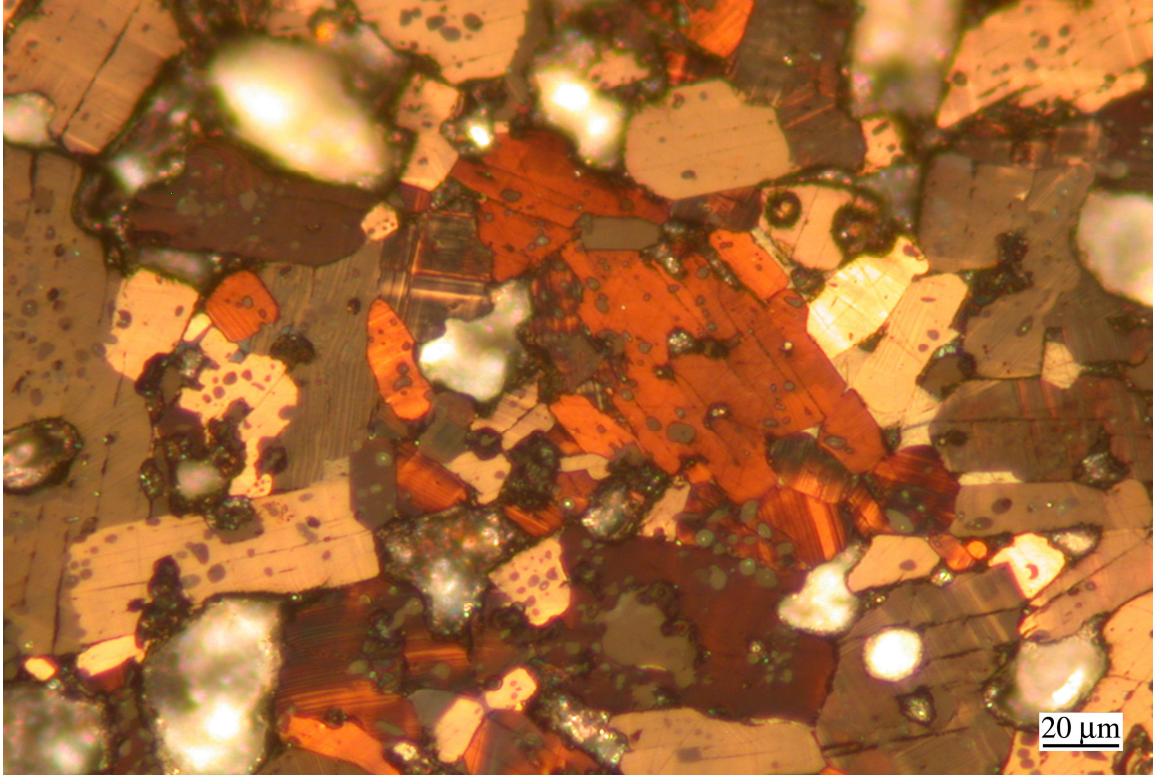


Şekil 38. A8 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı

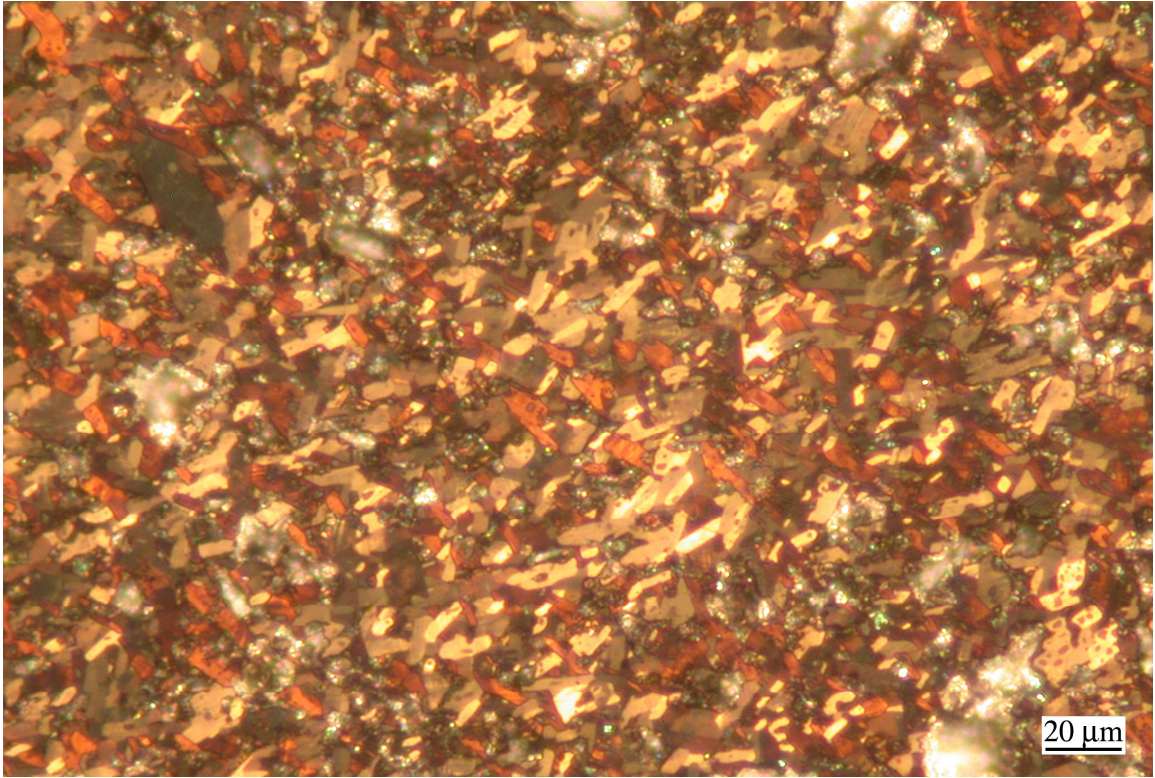


Şekil 39. A10 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı



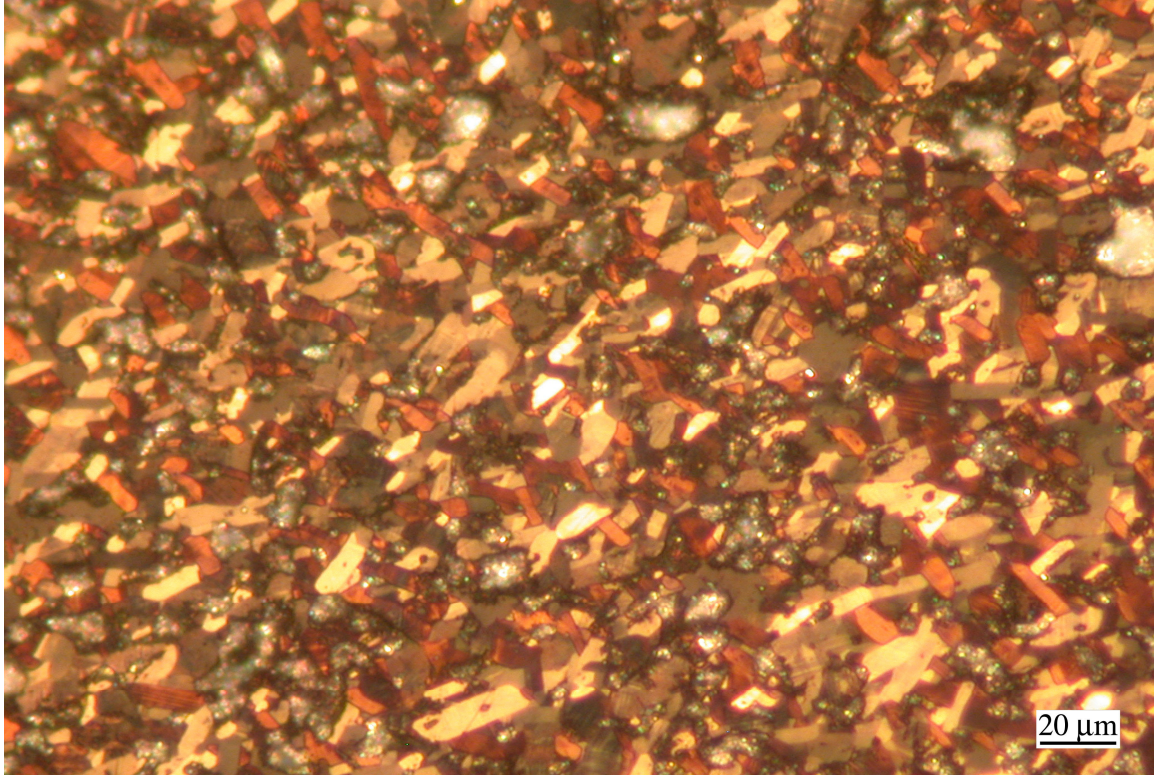


Şekil 40. B0 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı

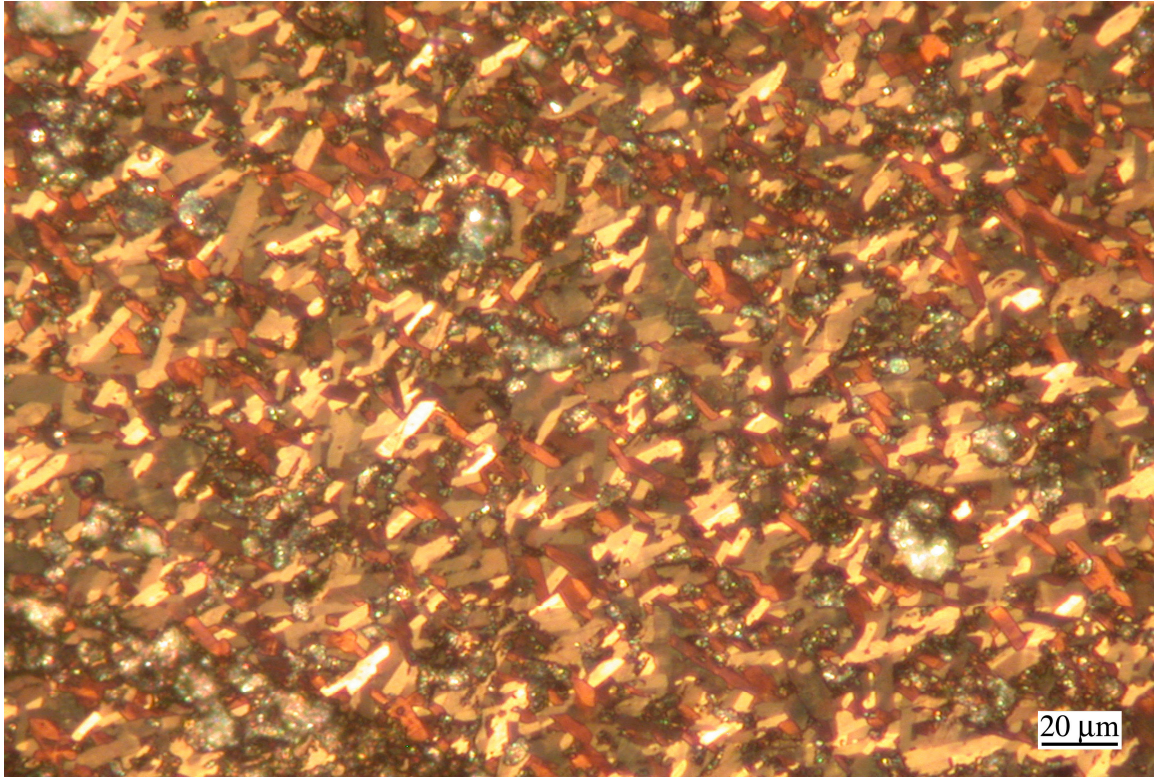


Şekil 41. B2 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı



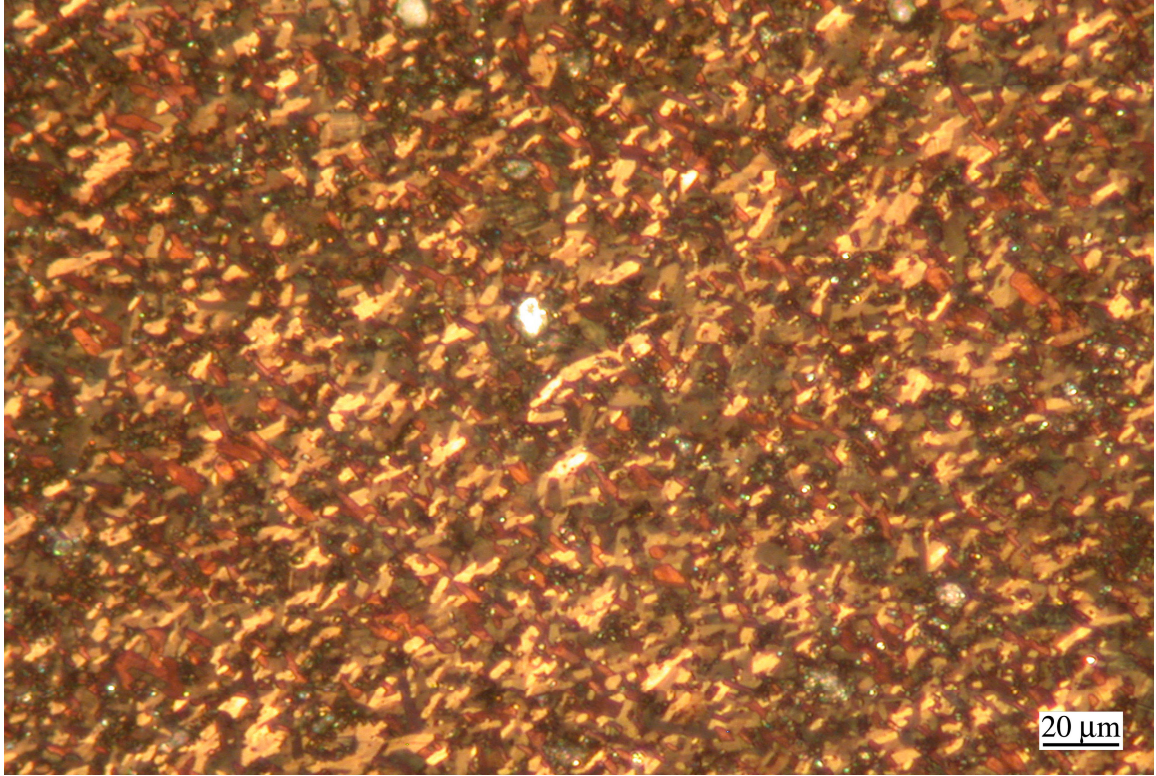


Şekil 42. B4 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı

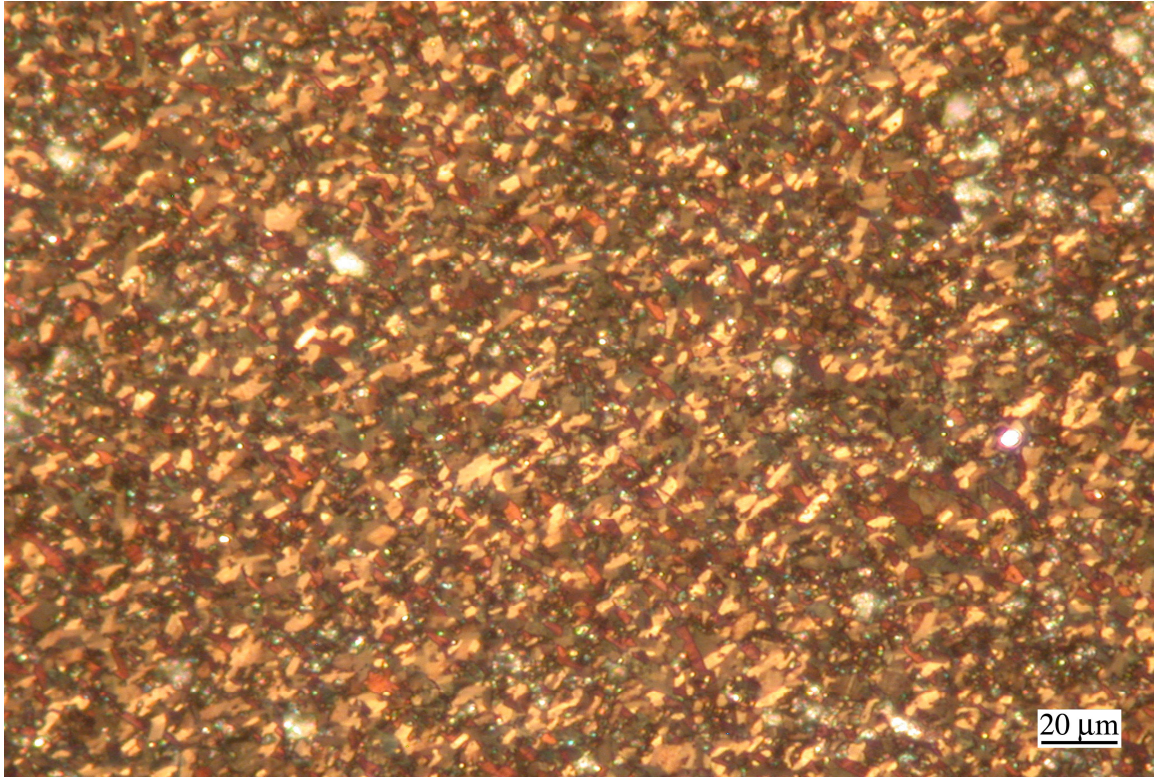


Şekil 43. B6 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı





Şekil 44. B8 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı



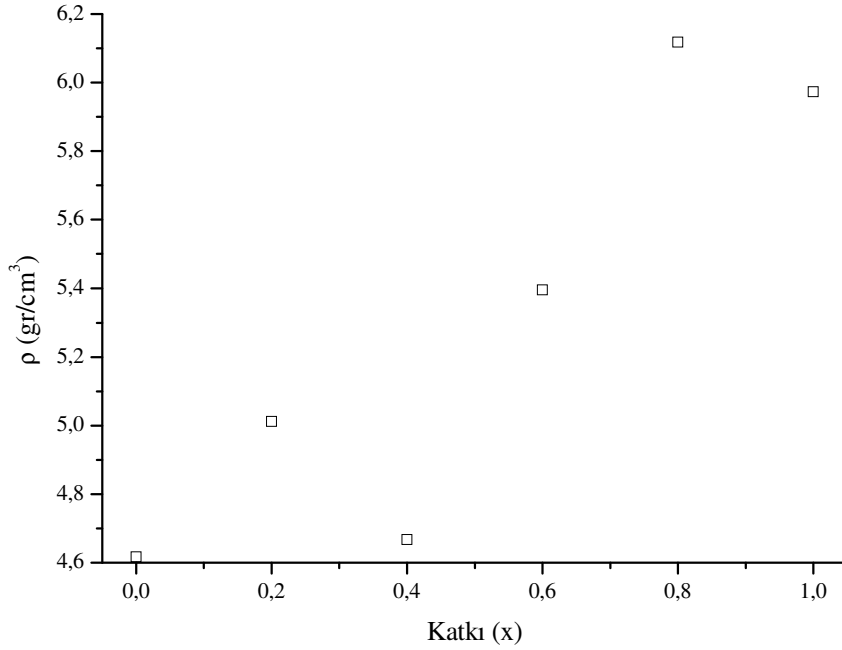
Şekil 45. B10 örneğinin polarize optik mikroskopla çekilmiş fotoğrafı

### 3.5. Yoğunluk Ölçümleri

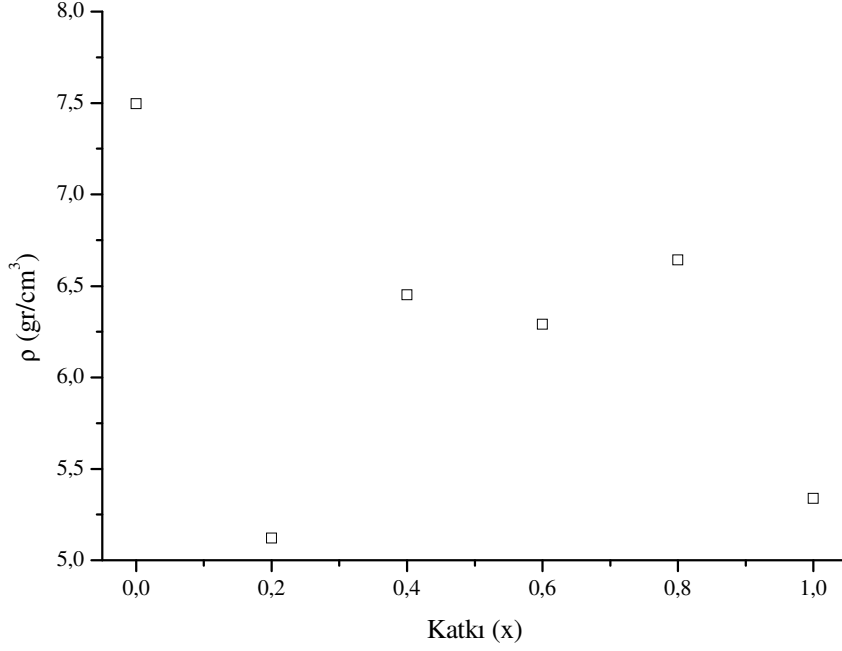
Her iki seri örneklerin yoğunlukları Arshimed yoğunluk ölçme tekniğiyle ölçüldü. Bu teknikte belirli bir sıcaklıkta yoğunluğu bilinen sıvı içindeki kütlenin miktarı ve havadaki kütle miktarı referans alınarak kütle yoğunluğu belirlenir. Yoğunluğun katkı miktarına göre değişimi I. seri örnekler için Şekil 46'da ve II. seri örnekler için Şekil 47'de gösterilmektedir.

I. seri malzemeler için kütlese yoğunluğun, (x) katkı miktarıyla yaklaşık lineer olarak arttığı Şekil 46'dan görülmektedir. Bu değişimin,  $c$  örgü parametresiyle kıyaslandığında tamamen ters orantılı olduğu görülmektedir.

II. seri malzemeler için kütlese yoğunluk,  $c$  örgü parametresiyle karşılaştırıldığında bir lineerlik olmadığı Şekil 47'den görülmektedir. Çünkü ikinci seri içinde Y tamamen kaldırılmıştır. İyon yarıçapları farklı iki farklı katkının aynı anda yapılmasının bu sonucu doğurduğu düşünülmektedir.



Şekil 46. I. seri örneklerin yoğunluklarının katkı miktarına göre değişimi

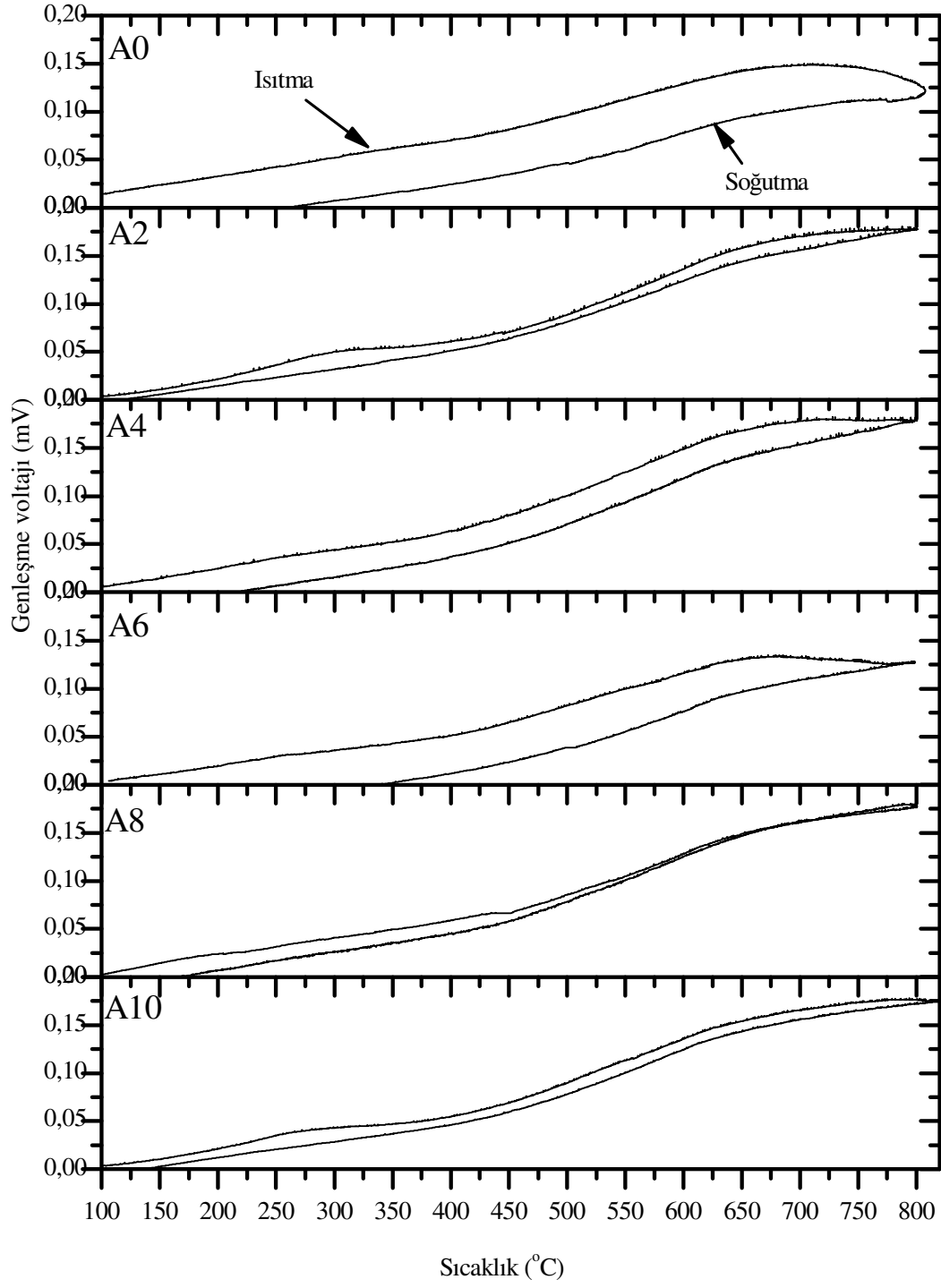


Şekil 47. II. seri örneklerin yoğunluklarının katkı miktarına göre değişimi

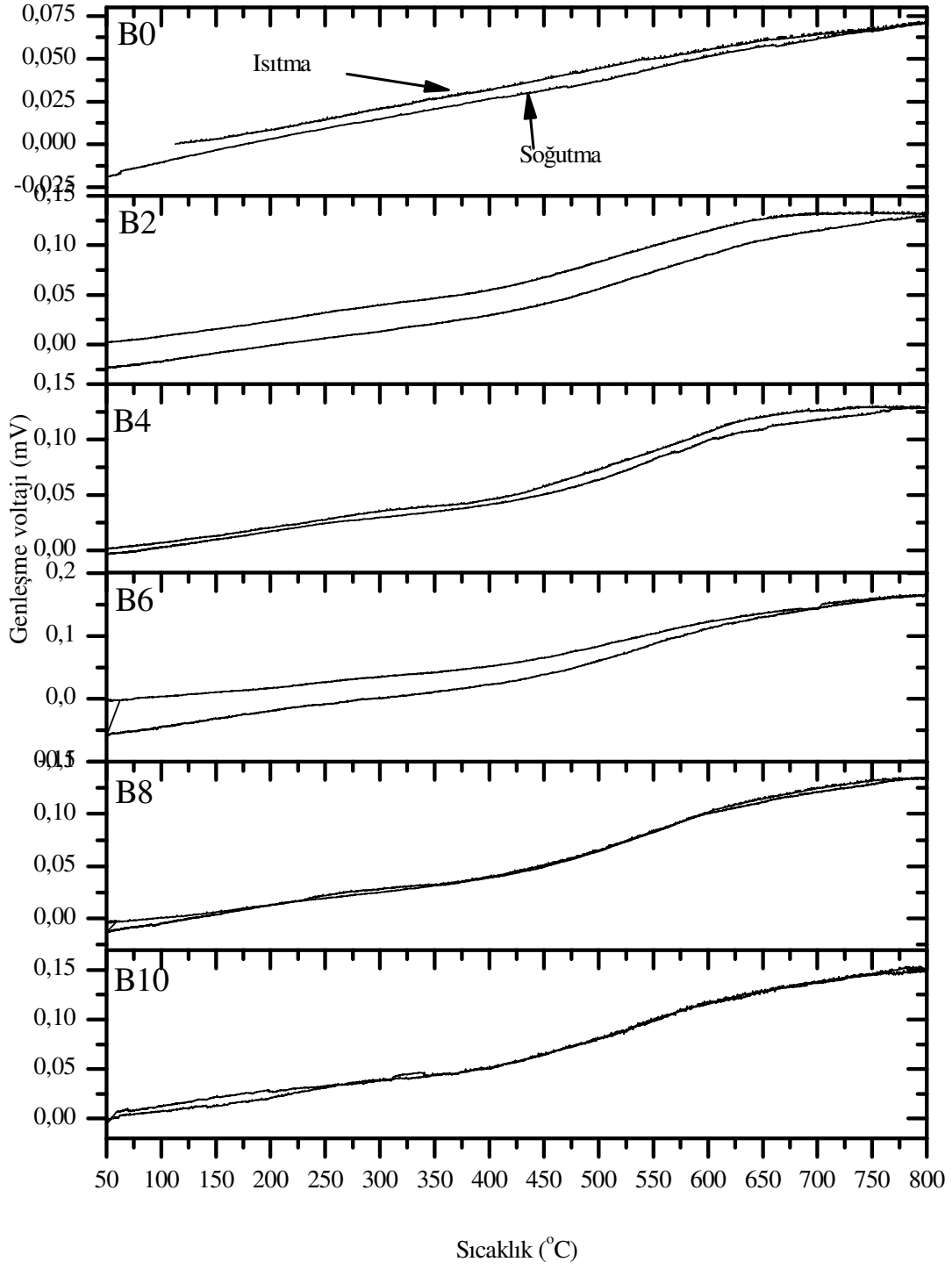
### 3.6. Dilatometre Ölçümleri

A grubu örneklerinin dilatometrik ölçüm sonuçları Şekil 48 ve B gurubu örneklerinin sonuçları da Şekil 49'da görülmektedir. Isıtılma ve soğutulma esnasında ani değişim olmamakta, dolayısıyla genişleme oranı (mV cinsinden) sıcaklığa göre doğrusallığını korumaktadır. Yaklaşık 600 °C – 800 °C arasında gidiş eğrilerinden (ısıtma) geri dönüş (soğutma) eğrileri farklılaşmaya başlamaktadır.

Bütün eğrilerden, yapının metalik bir davranış gösterdiği görülmektedir. Fakat yüksek sıcaklık bölgesinde (400 °C – 800 °C) eğimin daha da arttığı görülmektedir. Soğuma eğrileriyle ısınma eğrileri arasındaki farkın histerisizden kaynaklandığı bilinmektedir. Ayrıca her iki eğrinin oda sıcaklığına yakın bölgelerde birleştiği açıkça görülmektedir. 400 °C – 800 °C arasında eğimin farklılaşması, örneklerdeki oksijen miktarının azaldığı sonucuna işaret etmektedir.



Şekil 48. I. seri örneklerin dilatometrik ölçüm sonuçları



Şekil 49. II. seri örneklerin dilatometrik ölçüm sonuçları



### 3.7. Direnç Ölçümleri

Farklı manyetik alanlarda, Quantum Design Model 6000 fiziksel ölçüm sistemi ile direnç ölçümleri yapıldı. Her ölçüm öncesi örnekler manyetik alan yokken soğutuldu. Sistemin hassasiyeti yaklaşık 0,05K olmakla birlikte her örnek önce ilgili sıcaklıkta ısı dengeye ulaştıktan sonra ölçüldü.

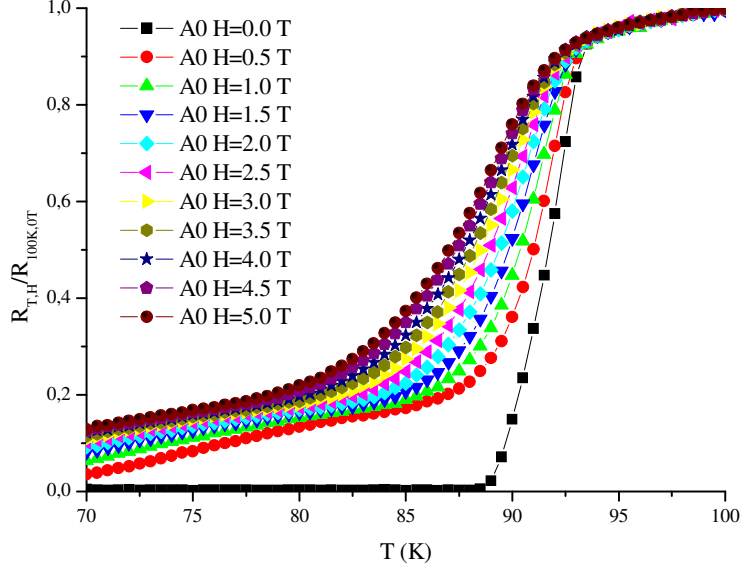
#### 3.7.1. I. ve II. Grup Örneklerin Direnç Ölçümleri

Sıcaklığa göre I. seri örneklerin dirençlerinin farklı manyetik alanlar altında değişimleri, A0 – A10 örnekleri için sırasıyla Şekil 50 - Şekil 55'te, II. seri örnekleri direnç değişimleri ise B0 – B10 için sırasıyla Şekil 56 - Şekil 61'de gösterilmektedir. Grafiklerdeki direnç değerleri 100 K sıcaklık ve 0 T manyetik alandaki direnç değerleriyle normalize edildi. A10, B2 ve B10 örneklerinde çok düşük de olsa ikinci faz mevcut olup, diğerlerinde ise görülmemektedir.

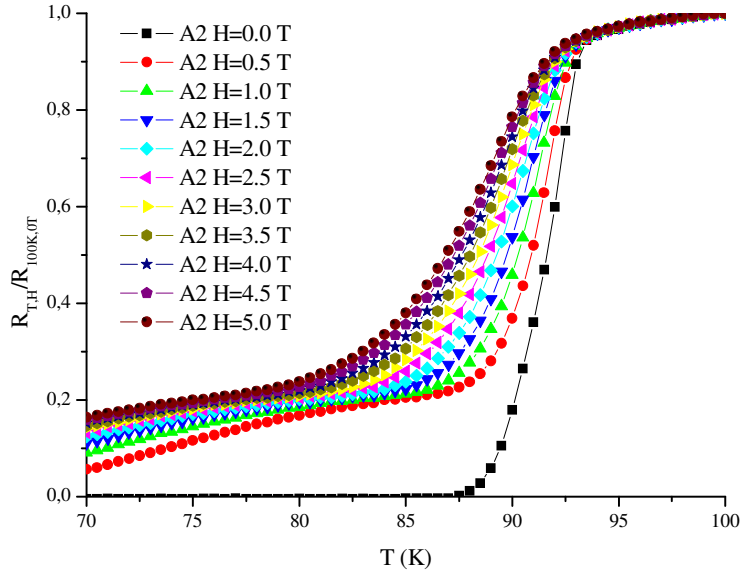
Örneklerde geçiş sıcaklığı ( $T_{c \text{ onset}}$ ) uygulanan dış manyetik alan artarken çok küçük değerlerde de olsa azalmaktadır. Bunun nedeni termal olarak aktive edilmiş akı hareketinin (TAFF) mevcut olmasıdır (Zhang vd., 2004). Direnç  $R(T,H)/R(100K,0T) \cong 0,2-0,4$  değer aralığında değişimi doğrusal olmakta ve bu değişimin sıcaklık aralığı ise manyetik alan arttıkça genişlemektedir. Taneler arası zayıf etkileşme sonucunda oluşan bu değişimde, süperiletme katkı sağlamayan akım taşıyıcılarına göre katkı sağlayan taşıyıcıların sayısının, direnç değerini değiştirebilecek miktarlarda olmasından kaynaklanmakta veya akı çivilenmesinin bu sıcaklıklarda az da olsa dış manyetik alandan etkilenmesinden kaynaklanmaktadır (Awad vd., 2001). Bunların dışında yapıda, süperiletken tanelerin arasında, süperiletken olmayan fazlar da, taneler arası etkileşimi zayıflatmaktadır. Direncin daha düşük değerlerinde ise, manyetik alana direnç kuvvetli bir şekilde bağlı olup, geçiş sıcaklık aralığını genişletmektedir (Awad vd., 2001). Bu ise, manyetik alanın artık tane içine girmeye başladığını göstermektedir. Dolayısıyla süperiletken tanelerin içine bir miktar akı girmesi yapıya elektriksel direnç kazandırmaktadır. Bu sonuç, yapıya akı akışı etkisiyle (Palstra vd., 1988) veya taneler arası zayıf etkileşmelerle (Pop vd., 1997. ) açıklanabilir.

Dolayısıyla manyetik alan artmasıyla geçiş sıcaklığı çok küçük değerlerde azalmakta ve geçiş sıcaklık aralığı ise genişlemektedir. Bu da  $T_{c\text{-offset}}$  sıcaklığını aşırı derecede

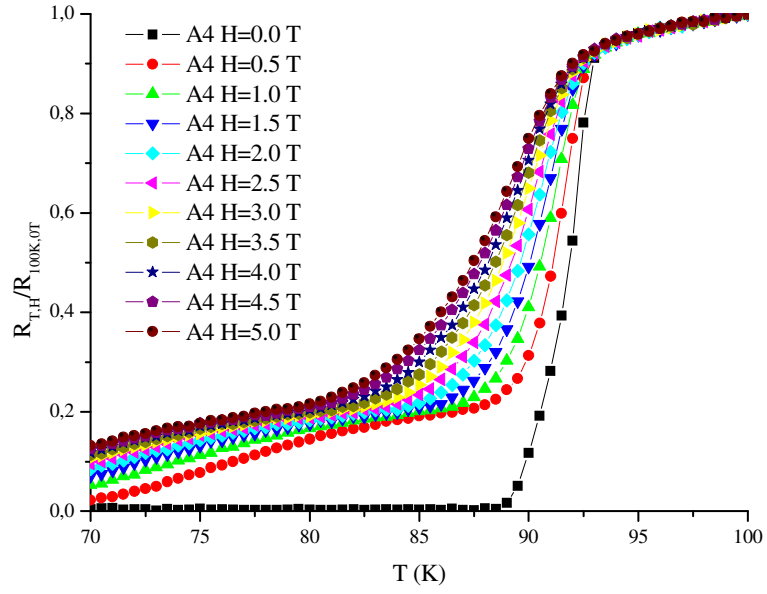
düşürmektedir. Geçiş sıcaklık aralığının genişlemesi ise örneklerin aktivasyon enerjilerini azaltmaktadır. Bu hesaplama ise bir sonraki bölümde incelendi.



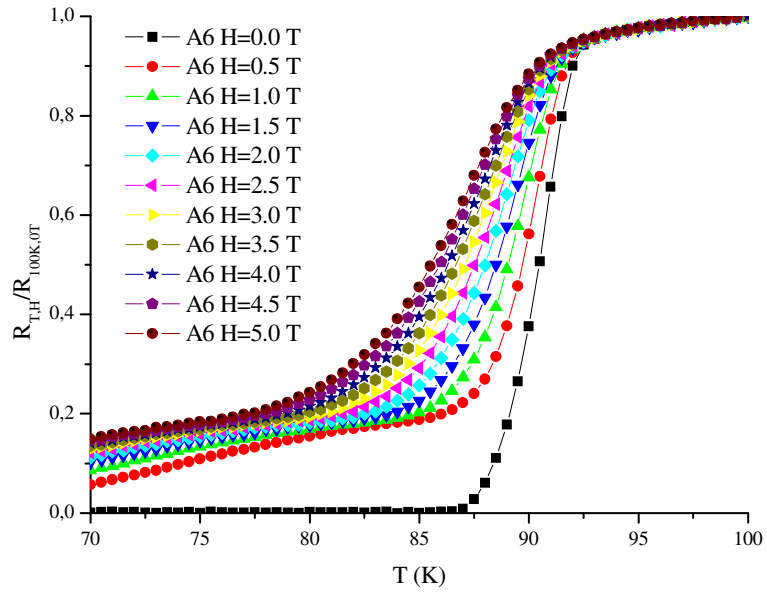
Şekil 50. A0 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



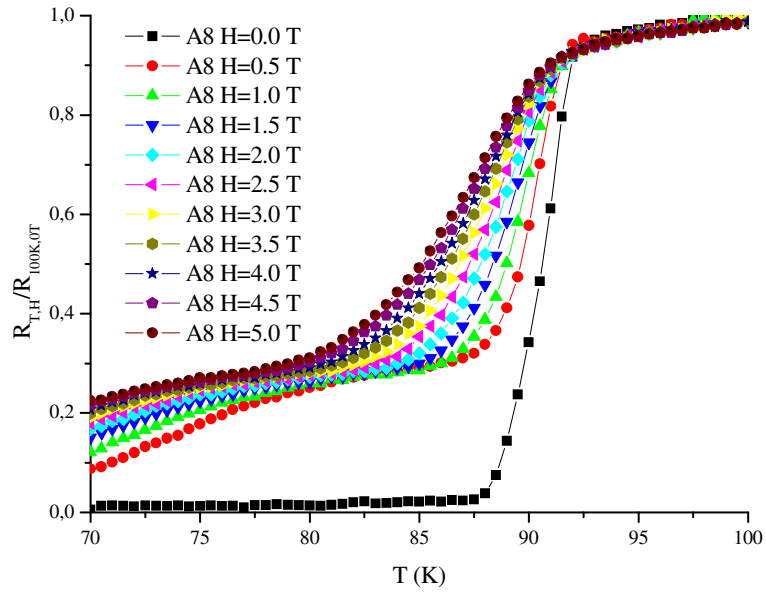
Şekil 51. A2 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



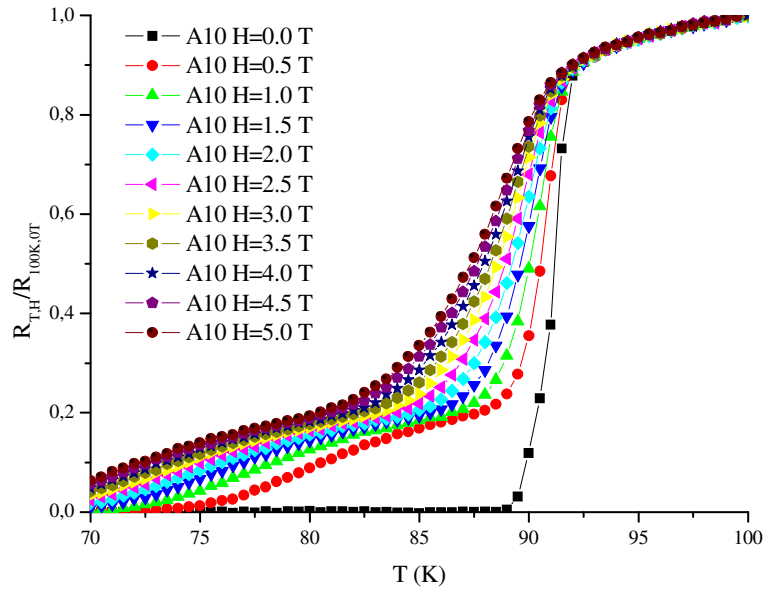
Şekil 52. A4 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



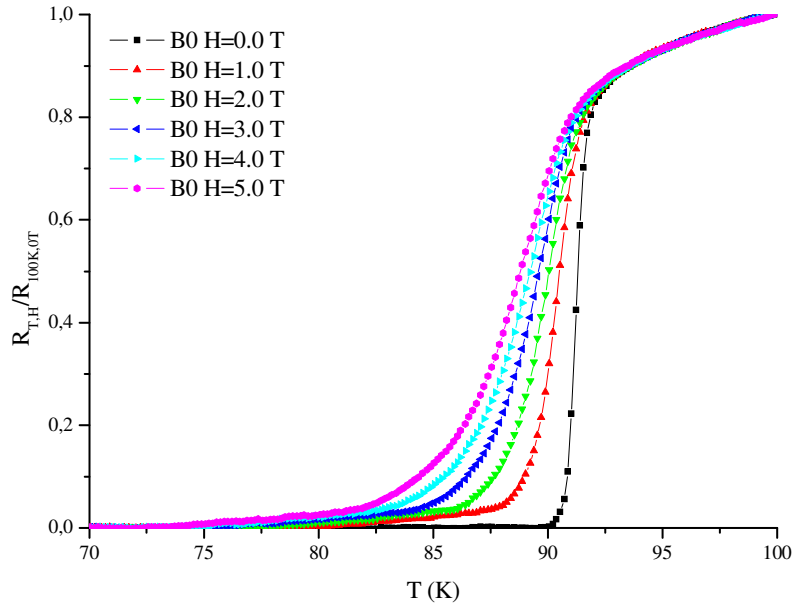
Şekil 53. A6 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



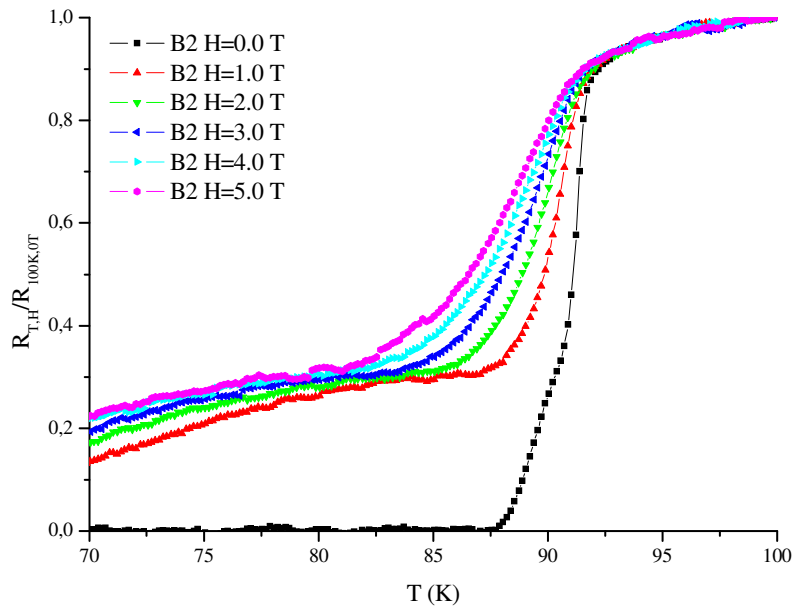
Şekil 54. A8 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



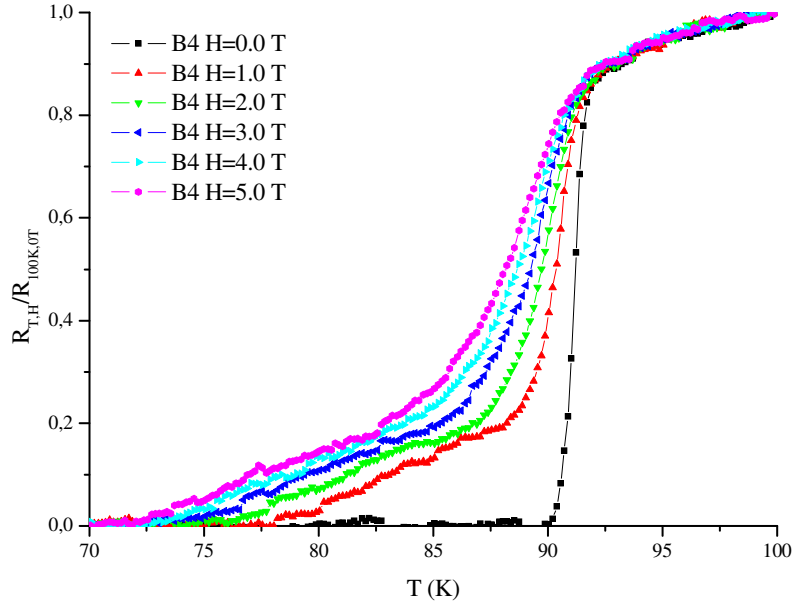
Şekil 55. A10 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (0,5 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



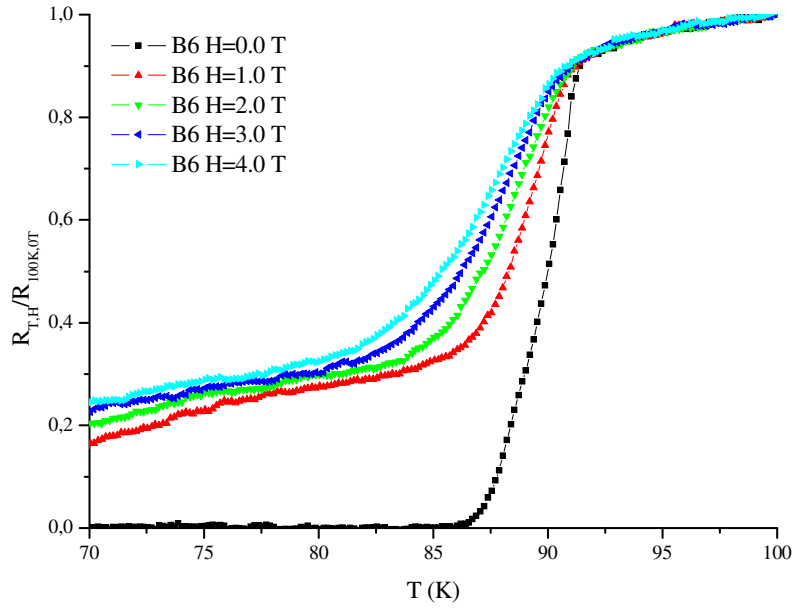
Şekil 56. B0 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



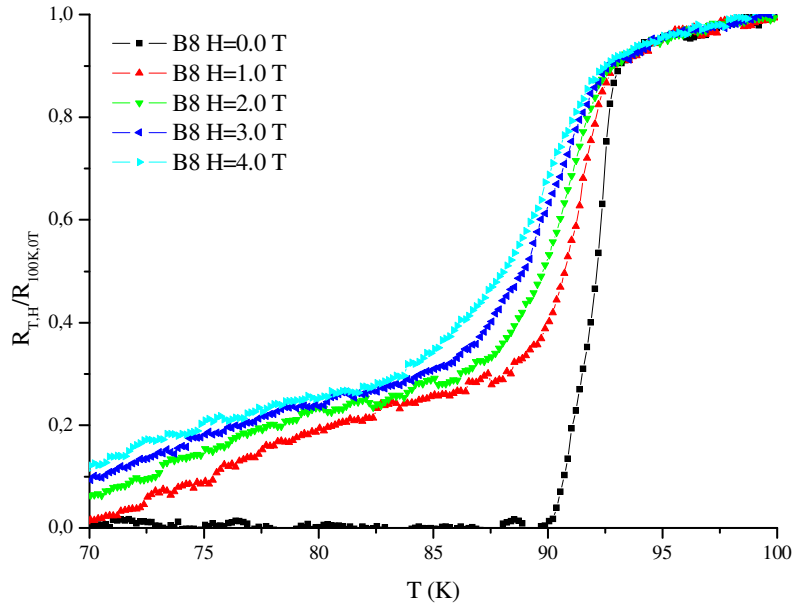
Şekil 57. B2 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



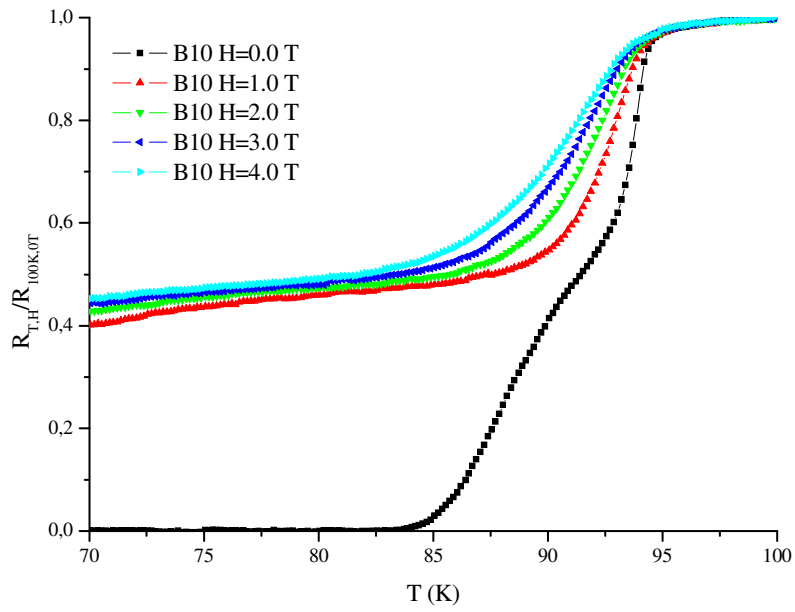
Şekil 58. B4 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri.



Şekil 59. B6 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



Şekil 60. B8 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri



Şekil 61. B10 örneğinin  $H=0,0 - 5$  T (1 T aralıklarla) manyetik alanlarda direncin sıcaklığa göre değişimleri

### 3.7.2. Aktivasyon Enerjisi Hesabı

Örneklerin farklı dış manyetik alanlar altında ölçülen direnç değerlerinden farklı alanlardaki aktivasyon enerjileri hesaplandı. Hesaplanan enerjilerinin manyetik alana ve katkıya göre değişimi incelendi.

#### 3.7.2.1. I. ve II. Grup Örneklerin Aktivasyon Hesaplamaları

Aktivasyon enerjileri hesabında, örneğin normal halden süperiletken hale geçişin en hızlı olduğu sıcaklık aralığındaki dirençleri, 100 K ve 0 T manyetik alandaki direnç değerine normalize edildikten sonra kullanıldı. Hesaplama Arhenius aktivasyon enerjisi (Kim vd., 1969) bağıntısı kullanıldı:

$$\rho = \rho_0 e^{\left( \frac{-U(T,H)}{k_\beta T} \right)} \quad (13)$$

Bağıntıda  $U(T,H)$ , H manyetik alanda ve T sıcaklığındaki aktivasyon enerjisi,  $k_\beta$ , Boltzmann sabiti,  $\rho$ , T sıcaklığındaki öz direnç, T, sıcaklık ve  $\rho_0$  ise ilk sıcaklıktaki öz direncidir. Bu ifadede öz dirençler yerine  $\rho=R//A$  ve  $\rho_0=R_0//A$  olarak yazılırsa ifade dirence dönüşür. Bağıntı ise aşağıdaki gibi olacaktır:

$$R = R_0 e^{-U/k_\beta T} \quad (14)$$

$R_0$  direnç değeri, 100 K ve 0 T manyetik alandaki referans direnç olarak düşünüldüğünde ifade,

$$R = R_{100K,0T} e^{-U/k_\beta T} \quad (15)$$

$$\frac{R}{R_{100K,0T}} = e^{-U/k_\beta T} \quad (16)$$

$$\ln \left( \frac{R}{R_{100K,0T}} \right) = \frac{-U(H)}{k_\beta T} \quad (17)$$



$$\frac{\ln\left(\frac{R}{R_{100K,0T}}\right)}{\frac{1}{T}} = \frac{-U(H)}{k_{\beta}} \quad (18)$$

olarak elde edilir.

Denklemden de görüldüğü gibi normalize edilmiş direnç değerlerinin doğal logaritmasının sıcaklığın tersine göre değişimi sabit olup bu değer aktivasyon enerjisinin Boltzmann sabitine oranının negatif değerine eşittir. Grafiklerden geçiş sıcaklık aralığı içinde belirli bir  $T_k$  sıcaklığı, geçiş bölgesini ikiye ayırmaktadır.  $T_k$ 'nin yukarısındaki bölgede girdaplar hareketli (Vortex Liquid), aşağısındaki sıcaklıklarda ise girdaplar (Vortex Solid) sabittir (Vinokur vd., 1990). Çalışmada,  $T_k$  ile  $T_{c-onset}$  sıcaklık aralığındaki direnç değişimi ele alındı. Grafiklerin eğimlerinden ilgili sıcaklık aralığındaki ortalama aktivasyon enerjileri hesaplandı. Hesaplamalarda ilk olarak,  $\ln(R(T,K)/R(100K,0T)) - 1/T$  grafikleri çizilerek (I. seri için Şekil 62 - 67 ve II. seri için Şekil 71 - 76), farklı manyetik alanlardaki aktivasyon enerjileri belirlendi.  $U(T,H) - H$  grafikleri (I. seri için Şekil 68 ve II. seri için Şekil 77) elde edildi. Aktivasyon enerjisi manyetik alana  $U(T,H)=U(T).H^n$  şeklinde bağlıdır. İfadedeki  $n$  katsayı olup, manyetik alan kuvvet sabiti olarak adlandırılır. Oluşturulan bilgisayar programı kullanılarak, manyetik alana bağlılığını yok etmek için, aktivasyon enerjileri manyetik alan program tarafından üretilen  $n'$  kuvvetiyle çarpıldı. Programda aktivasyon enerjisinin manyetik alana göre değişmediği  $n'$  değeri ise aktivasyon enerjisindeki  $n$  değerine eşit değeridir. Program tarafından manyetik alana göre aktivasyon enerjisinin değişmediği  $n$  değerleri ve  $1/T$  alandaki aktivasyon enerjileri belirlendi. Sonuçlar, I. seri örnekler için Şekil 69'da, II. seri örnekler için ise Şekil 78'de görülmektedir. Hesaplanan  $n$  ve  $U$  değerlerinin katkı miktarlarına göre değişimleri I. seri için Şekil 70'de, II. seri için Şekil 79'da gösterilmektedir.

Tüm örneklerin aktivasyon enerjilerinin manyetik alana göre değişimlerine genel olarak bakılırsa, belirli bir alana kadar hızlı bir düşme varken, daha büyük alanlarda ise düşüşte yavaşlama görülmektedir. Alana göre aktivasyon enerjisinin değişimi, alana göre akım yoğunluğunun değişimine benzer (Sun vd., 1989). Fakat bu çalışmada, standart dört nokta yöntemiyle kritik akım yoğunluğu ölçümü olmadığı için karşılaştırılmadı. Yukarıda belirtildiği üzere, aktivasyon enerjisi sadece sıcaklığa değil manyetik alana da bağlıdır. TAFV'a göre aktivasyon enerjisi ifadesinin en genel hali  $U(T,H)=U_0(1-T/T_c)H^n$  olarak gösterilmektedir (Kim vd., 1990). Aktivasyon enerjisinin sıcaklığa bağlı teriminin

değişimi,  $T_c-T_k$  sıcaklık aralığında ( $1-T/T_c$  ifadesinde) çok düşük olduğundan yaklaşık sabit kabul edildi. Dolayısıyla aynı sıcaklıkta örneğin aktivasyon enerjisi manyetik alanın  $n$ . kuvvetiyle orantılı olarak azaldığı literatürden bilinmektedir.

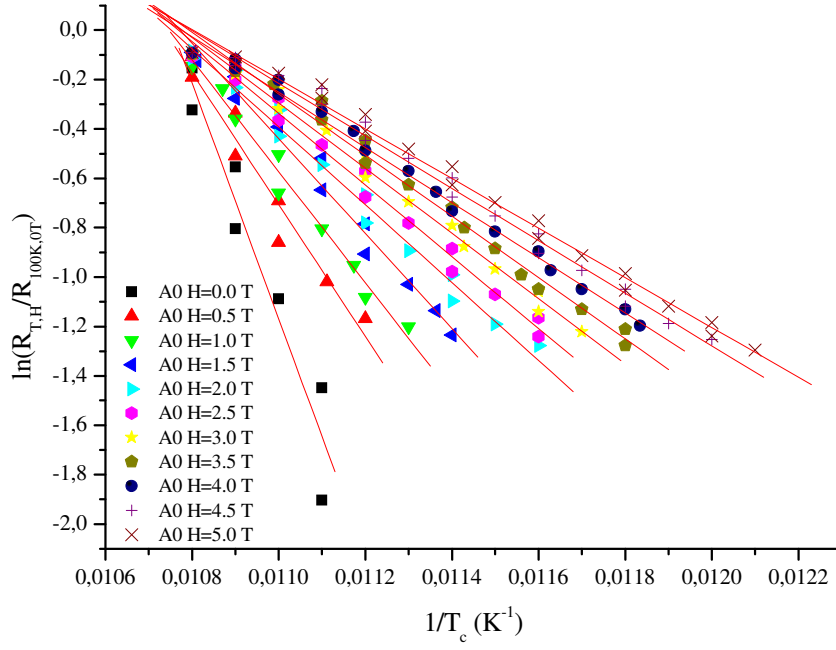
$U(T,H)=U(T)H^n$  ifadesini  $H^n$  değeriyle çarptığımızda ise, aktivasyon enerjisinin manyetik alana göre değişmemesi gerekir ve grafiği çizildiğinde ise değişim olmayıp yatay yönde sabit kaldığı değer (I. seri Şekil 69 ve II. seri Şekil 78) aktivasyon enerjisinin 1 T'daki  $U_0(1 T)$  değeridir. Bu değer ve  $n$  katsayısı, oluşturulan program tarafından belirlenmektedir. İfadelerde, 1 T referans alındı. Bunun nedeni ise, manyetik alan parametre çarpanının alan yokken sonsuz değerde olmasıdır. Ayrıca aktivasyon enerjisinin ve manyetik alanın kuvveti  $n$ 'nin katkı miktarına göre değişimine paraleldir. Örneklerin,  $U(0 T)$ ,  $n$ ,  $c$  değerleri her katkı için Tablo 8 ve Tablo 9'da verildi. Bunların dışında,  $H=0 T$  alandaki direnç ölçümlerinden hesaplanan aktivasyon enerjisi,  $c$  örgü parametresine göre orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Literatürde Y123 için manyetik alan kuvvet sabiti değeri 0,66 iken (Xu vd., 1999) bu çalışmadaki A0 (Y123) örneğinin değeri ise 0,51'dir. Y123 için literatürde mevcut olan aktivasyon enerjisi değeri 0,33 eV (Jin vd., 1992) iken bu çalışmadaki Y123 örneği (A0) için hesaplanan değeri ise 0,41 eV'tur.

Tablo 8. I. seri örneklerin  $U(0 T)$ ,  $n$  ve  $c$  değerlerinin katkı miktarına göre listesi

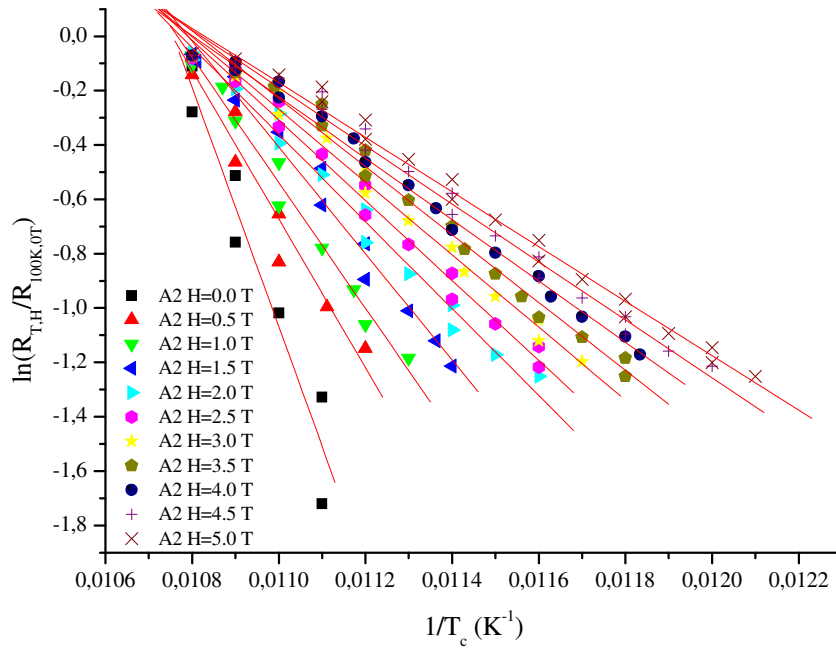
Örnek	$U(0T)$ (eV)	$U(1T)$ (eV)	Alan kuvvet sabiti $n$	$c$ – örgü sabiti
A0	0,41	0,19	0,510	11,686
A2	0,37	0,19	0,520	11,670
A4	0,49	0,22	0,555	11,677
A6	0,25	0,14	0,375	11,645
A8	0,28	0,13	0,455	11,634
A10	0,57	0,22	0,520	11,675

Tablo 9. II. seri örneklerin  $U(0 T)$ ,  $n$  ve  $c$  değerlerinin katkı miktarına göre listesi

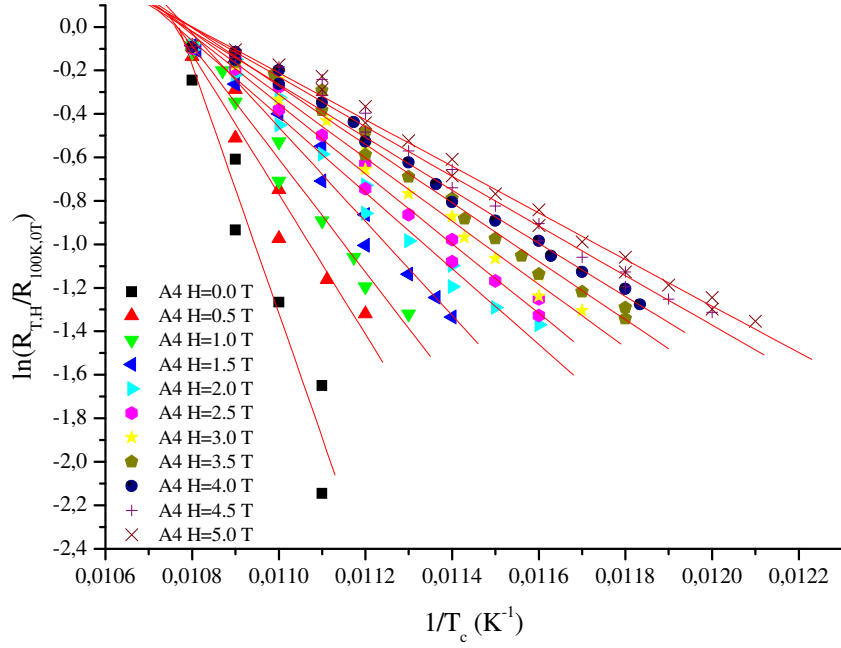
Örnek	$U(0T)$ (eV)	$U(1T)$ (eV)	Alan kuvvet sabiti $n$	$c$ – örgü sabiti
B0	0,63	0,58	0,584	11,660
B2	0,67	0,27	0,273	11,665
B4	0,71	0,46	0,466	11,676
B6	0,51	0,16	0,168	11,666
B8	0,56	0,26	0,267	11,686
B10	0,47	0,12	0,124	11,694



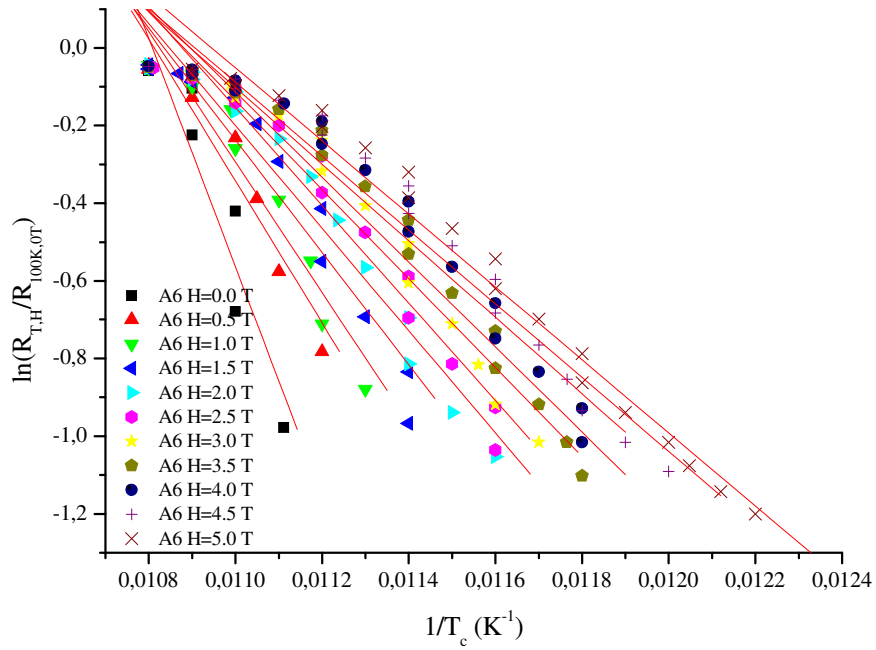
Şekil 62. A0 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



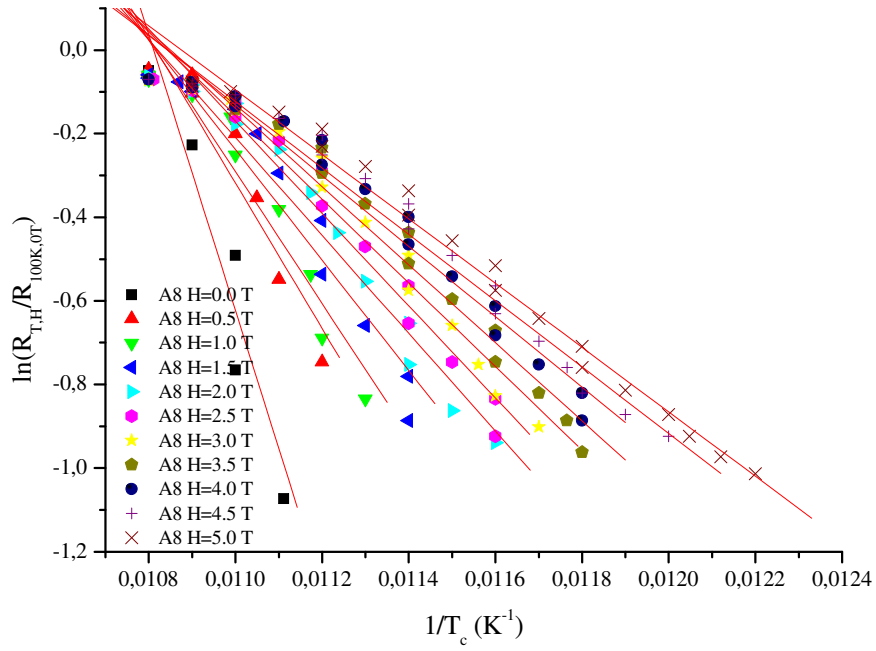
Şekil 63. A2 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



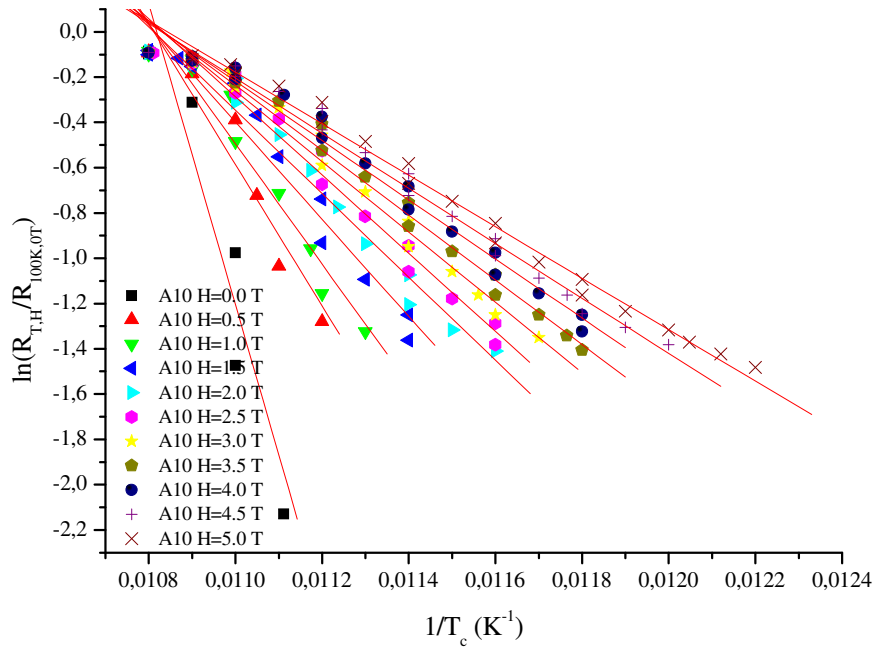
Şekil 64. A4 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



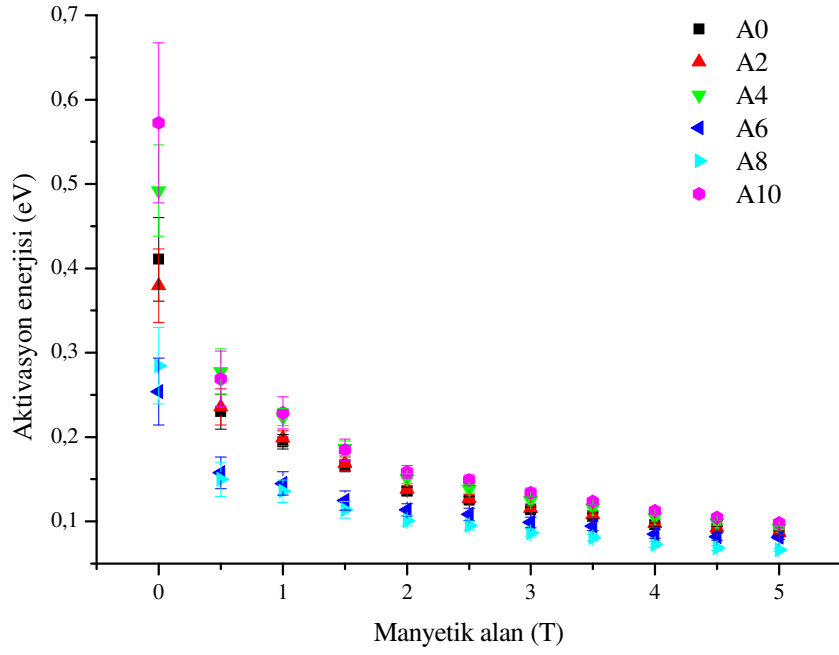
Şekil 65. A6 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



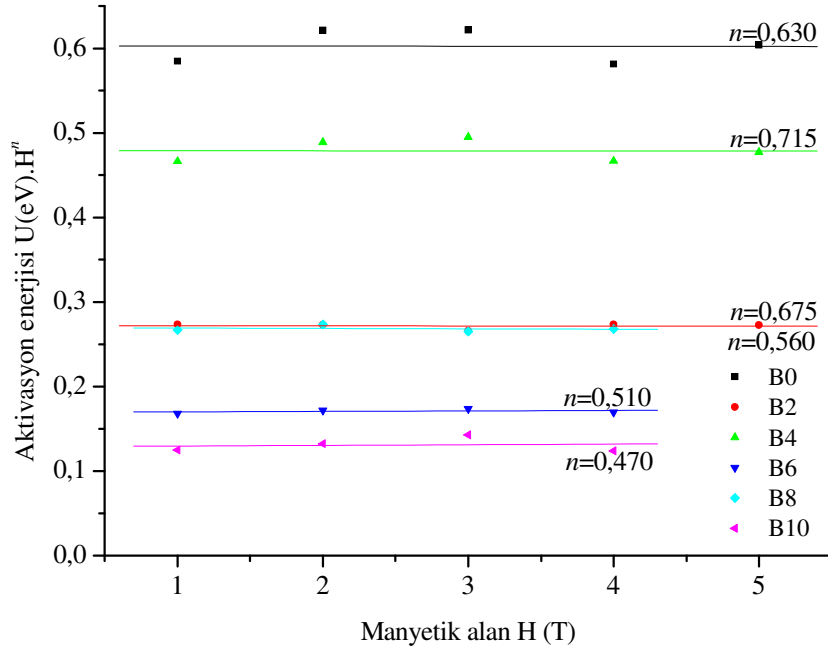
Şekil 66. A8 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



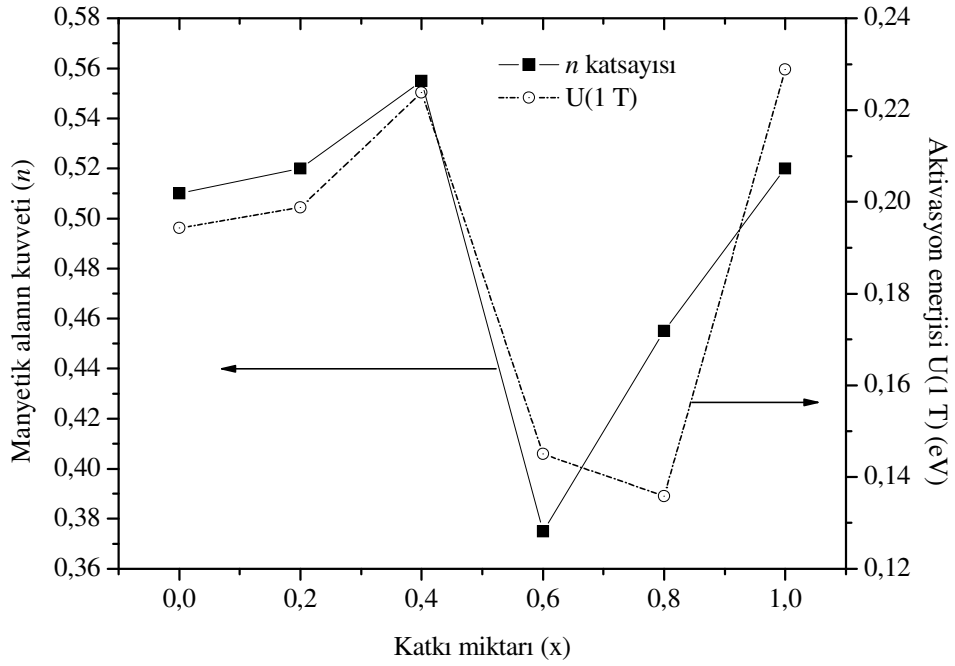
Şekil 67. A10 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



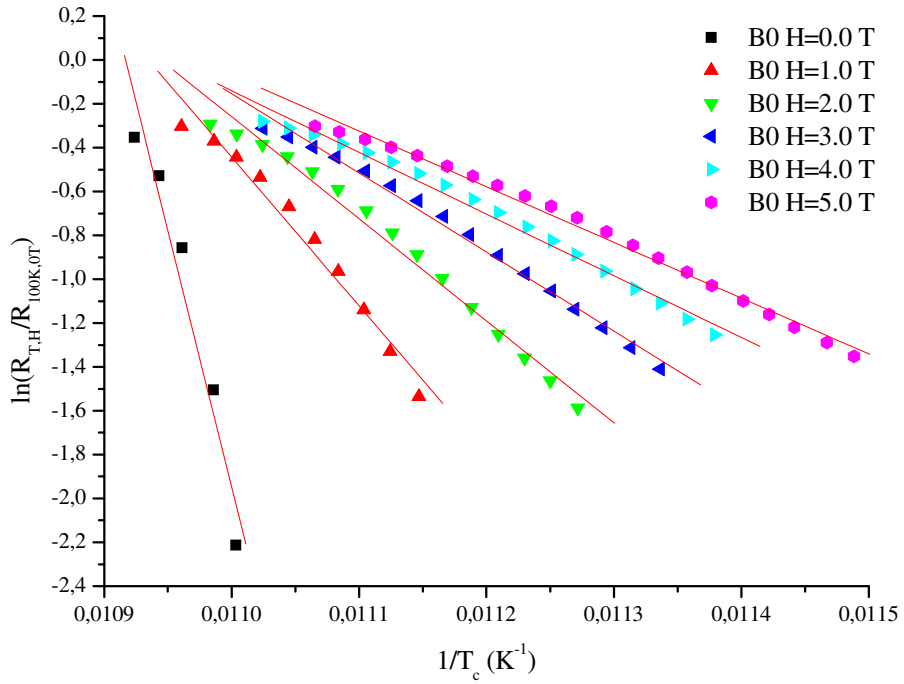
Şekil 68. I. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin (eV) manyetik alana göre değişimi



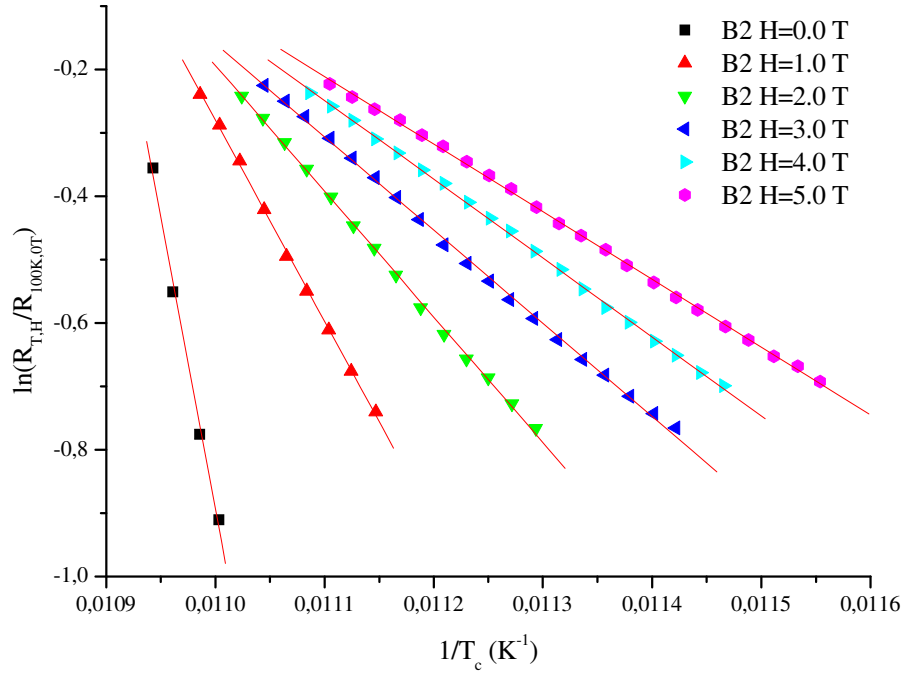
Şekil 69. I. seri örneklerde manyetik alanla değişim parametresi  $n$ 'nin tayini



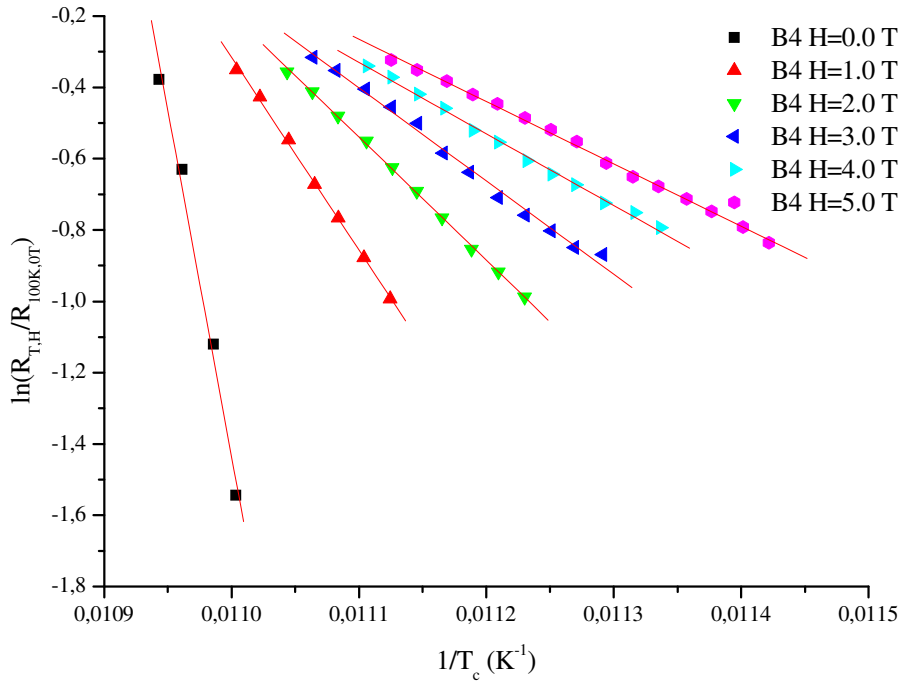
Şekil 70. I. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin manyetik alandan bağımsız kısmının ve  $n$  alan kuvvetinin katkı miktarına göre değişimleri



Şekil 71. B0 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular

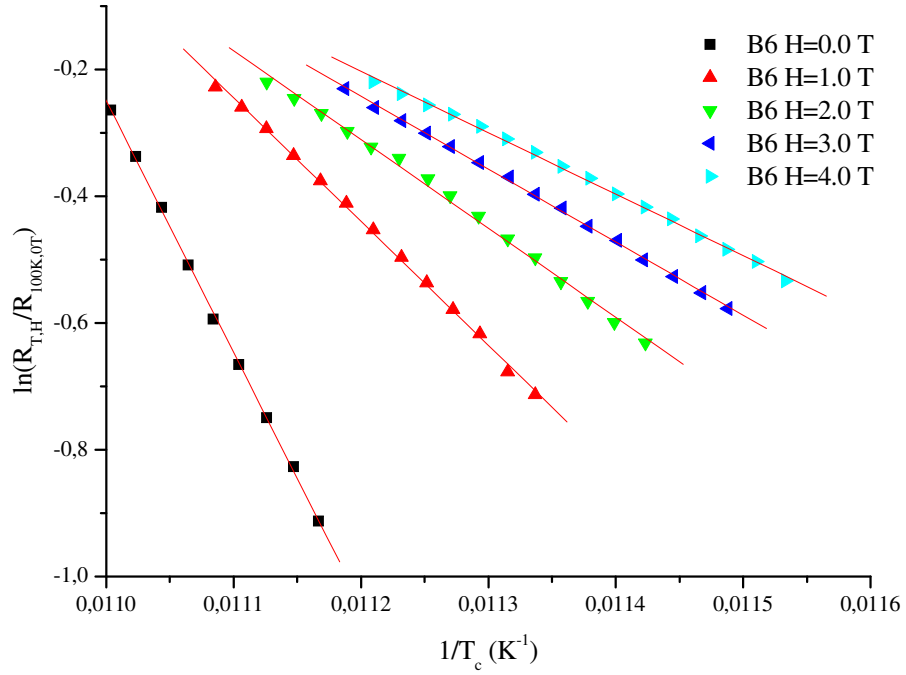


Şekil 72. B2 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular

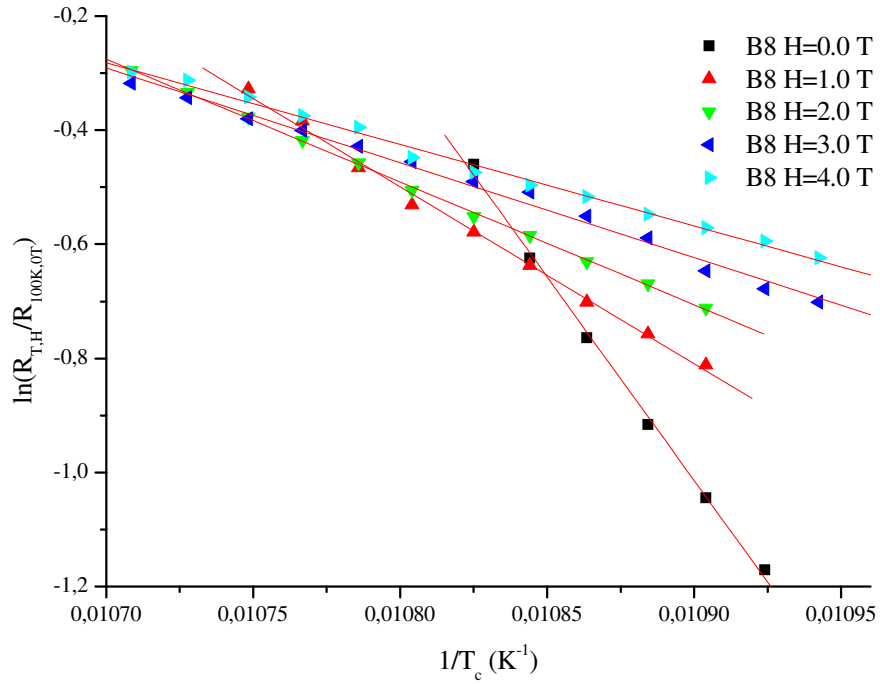


Şekil 73. B4 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular

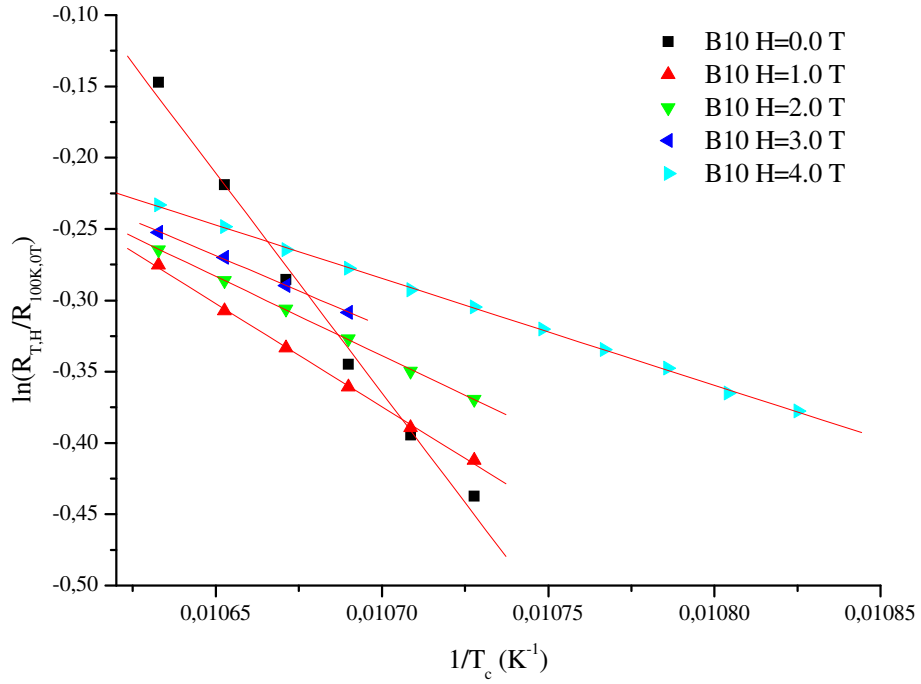




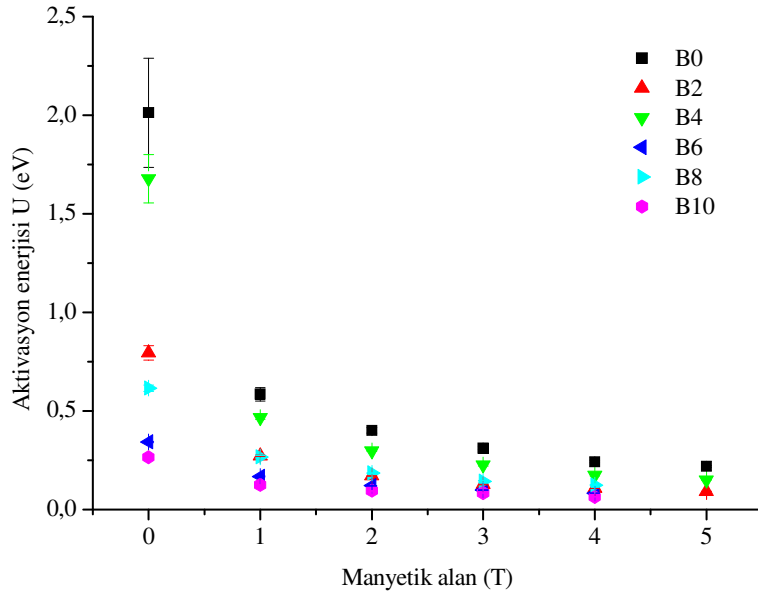
Şekil 74. B6 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



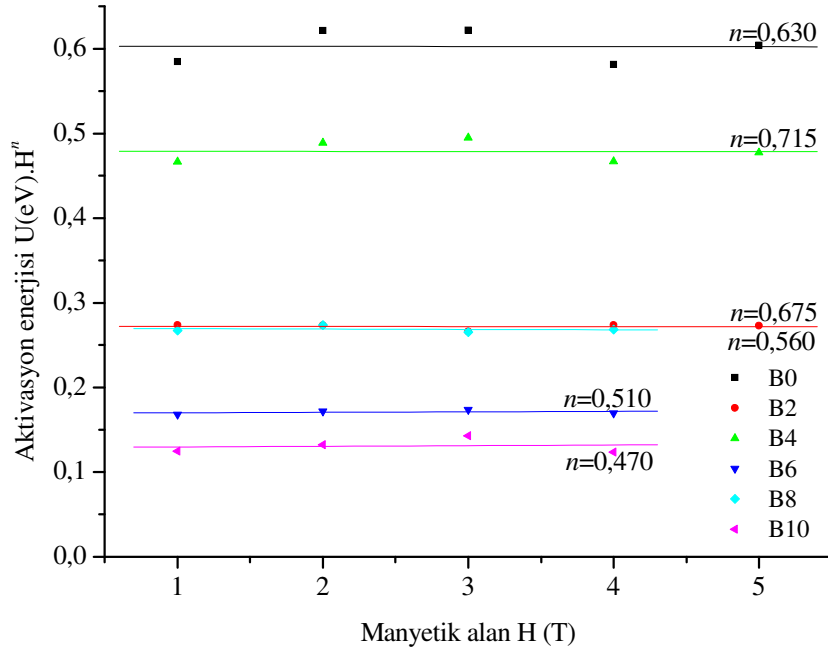
Şekil 75. B8 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



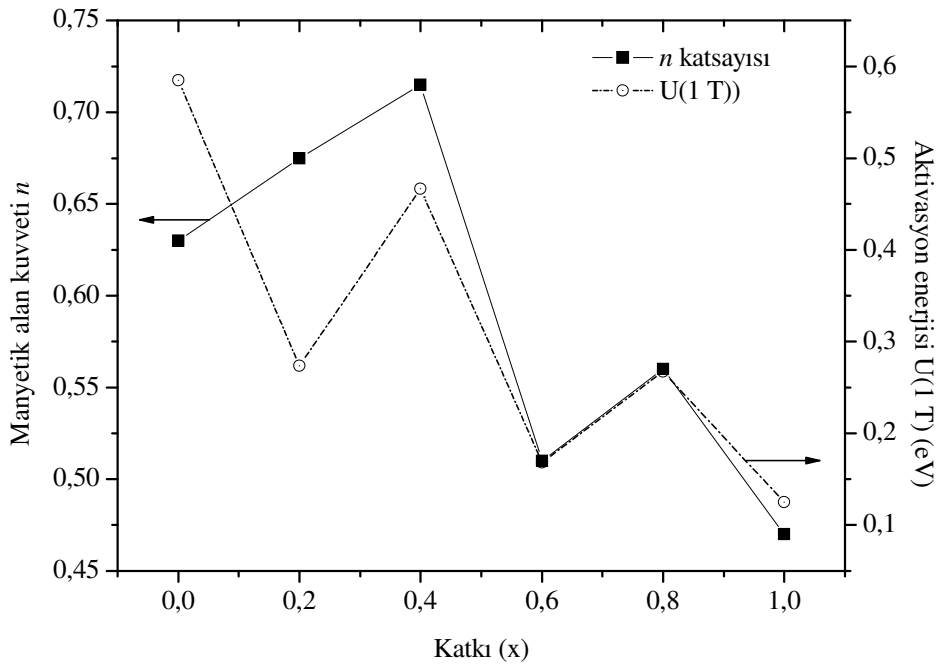
Şekil 76. B10 örneğinin aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı doğrular



Şekil 77. II. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin (eV) manyetik alana göre değişimi



Şekil 78. II. seri örneklerde manyetik alanla değişim parametresi  $n$ 'nin tayini



Şekil 79. II. seri örneklerin aktivasyon enerjilerinin manyetik alandan bağımsız kısmının ve  $n$  alan kuvvetinin katkı miktarına göre değişimleri

### 3.7.3. Üst Kritik Manyetik Alan ve Tane İçi Kritik Manyetik Alan Hesaplamaları

Geçişin en hızlı olduğu sıcaklık, direncin en hızlı değişim gösterdiği sıcaklıktır. Bu sıcaklıkta normalize edilmiş direnç değeri ise yaklaşık 0,5'tir. Direncin 0,5 değerine ait sıcaklık ve uygulanan dış manyetik alan kullanılarak üst kritik manyetik alan değeri hesaplandı. Ayrıca, normalize edilmiş direnç değerlerinin 0,2-0,5 arasında belirli bir değerde, manyetik akının süperiletken tanelerin içine girmeye başlamasından dolayı, direnç değişimi belirli değerde yavaşlamakta ve o değerde bir omuz oluşturmaktadır. Bu değişimin başladığı sıcaklığa, manyetik alanın külçe örnekteki süperiletken kristal tanelerin içine girmeye başladığı, kritik sıcaklık ve uygulanan dış manyetik alan ise tane içine girme manyetik alanı olarak belirlendi. Bu ifadeler kullanılarak mutlak sıfır sıcaklıktaki üst kritik manyetik alan ve tane içine girmeye başladığı kritik manyetik alan değerleri hesaplandı.

#### 3.7.3.1. I. ve II. Grup Örneklerin Üst Kritik Manyetik Alan ve Tane İçi Kritik Manyetik Alan Hesaplamaları

Üst kritik manyetik alan değerinin sıcaklığa göre değişimi aşağıdaki gibi gösterilmektedir (Thinkam, 1996):

$$H_{c2}(T) = \frac{\phi_0}{2\pi\xi^2(T)} \quad (19)$$

ve

$$\xi(T) = \xi_0 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{-1/2} \quad (20)$$

İfadede  $\phi_0$  akı kuantumu ( $\phi_0=2,067833636 \times 10^{-15} \text{Tm}^2$ ),  $\xi(T)$  sıcaklığa bağlı koherens uzunluğu olup  $H_{c2}$  ifadesinde yerine yazılırsa:

$$H_{c2}(T) = H_{c2}(0) \left(1 - \frac{T}{T_c}\right) \quad (21)$$

üst kritik manyetik alan değeri  $H_{c2}(T)$  yukarıdaki gibi elde edilir. İfadedeki  $T_c$  sıcaklığı, dış manyetik alan olmadığı durumda normalize edilmiş direncin 0,5 olduğu değerdeki sıcaklık,

T ise manyetik alan mevcutken direncin aynı değerine ait sıcaklıktır. Bu ifade sadece mutlak sıfır sıcaklıktaki üst kritik manyetik alan için değil, tane içine girme kritik manyetik alan değeri için de kullanıldı. Dolayısıyla ifade;

$$H_{\text{tane içi}}(T') = H_{\text{tane içi}}(0) \left(1 - \frac{T'}{T_c}\right) \quad (22)$$

şeklinde yazılabilir.  $T_c$  değeri, dış manyetik alan yokken direnç değerinin 0,5 olduğu sıcaklık olup,  $T'$  ise manyetik alanda örnek direncin değişiminin ani yavaşladığı sıcaklık değeridir. Formüllerdeki manyetik alanlar ise, uygulanan dış manyetik alan değeri olarak belirlendi.

Belirli bir dış manyetik alan varken elde edilen R-T (normalize edilmiş direnç-sıcaklık) ölçümlerinde normalize edilen direncin değişimin maksimum olduğu sıcaklık ( $R(T,H)/T(100K,0T) \cong 0,5$  olduğu sıcaklık) T ve dış manyetik alan değeri ise  $H_{c2}(T)$  olarak belirlendi. Her farklı manyetik alan değerleri için bu iki parametre belirlenerek  $H_{c2}(T) - T$  grafikleri (I. seri için Şekil 80, II. seri için Şekil 85) ve  $H_{c2}(T) - (1-T/T_c)$  grafikleri (I. seri için Şekil 81, II. seri için Şekil 86) çizildi.  $H_{c2}(T) - (1-T/T_c)$  grafiğindeki eğimlerinden her örnek için  $H_{c2}(0)$  değeri belirlendi.

Normalize edilmiş direnç değerlerine dikkat edildiğinde, belirli bir sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklara inildiğinde dış manyetik alan yokken direnç görünmediği (hemen hemen sıfır) halde, dış manyetik alan varken bu sıcaklık aralığında belirli bir direnç değişimi görülmektedir. Yani direncin yaklaşık 0,2-0,4 değerinde grafiklerde bir omuz görülmektedir. Bu sıcaklıkta dış manyetik alan taneler arasına girmiş olup, tane içine de girmeye başladığının bir ifadesidir. Dolayısıyla omuzun başladığı sıcaklık T ve dış manyetik alana ise  $H_{\text{tane içi}}(T)$  olarak belirlendi.  $H_{\text{tane içi}}(T) - T_c$  grafikleri (I. seri için Şekil 82, II. seri için Şekil 87) ve  $H_{\text{tane içi}}(T) - (1-T/T_c)$  grafikleri (I. seri için Şekil 83, II. seri için Şekil 88) çizildi.  $H_{\text{tane içi}}(T) - (1-T/T_c)$  grafiğindeki eğimlerinden her örnek için mutlak sıfır sıcaklıktaki tane içine girme kritik manyetik alan değeri belirlendi.

Mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik alan değeri ve tane içine girme kritik manyetik alan değeri her katkı için hesaplandı. Katkıya göre mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik alan, tane içine girme manyetik alan, aktivasyon enerjisi ve  $c$  örgü parametresi değişimleri grafiklerde (I. seri için Şekil 84, II. grafik için Şekil 89) gösterildi.

Üst kritik manyetik alan ölçümlerinden en gerçekçi olanı dört nokta yöntemiyle direnç ölçümüdür. Bu ölçümdeki amaç, her sıcaklıkta manyetoresistans ölçümü yapılarak direncin

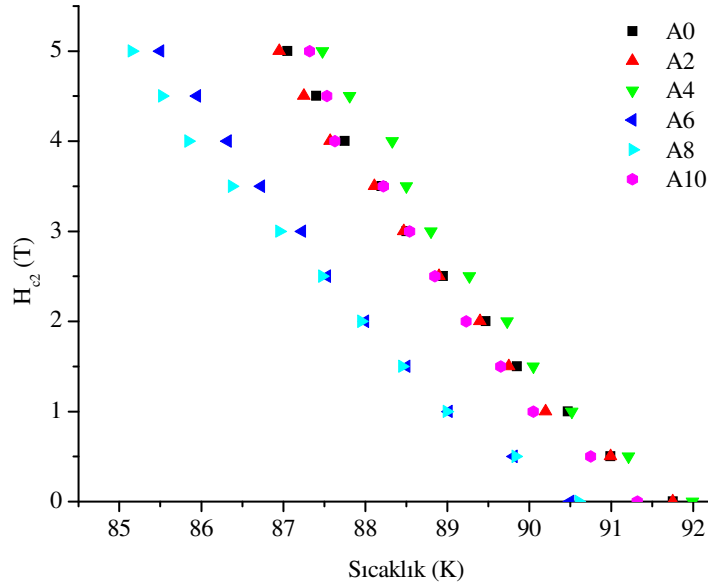
normal hale geldiği alan belirlenip, H-T faz diyagramının oluşturulmasıdır. Y123 tek kristal örneklerinin mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik değeri  $c$  doğrultusunda 120T (Sekitani vd., 2004; Miura vd., 2002. ) ve  $ab$  doğrultularında ise (Sekitani vd., 2004) 250 T'dir. Bu çalışmada üretilen örneklerden A0 örneğinin (Y123) hesaplanan üst kritik manyetik alan değeri ise 93,3 T'dir. 5 T'ya kadar farklı manyetik alan altında ölçülmüş direnç değerlerinden ( $R(T,H)/R(100K,0T)=0,5$ ) elde edilen manyetik alan ve sıcaklık değerleri kullanılarak ekstrapolasyon yöntemiyle mutlak sıfır sıcaklığındaki üst ve tane içine girme kritik manyetik alan değerleri hesaplandı.

I. seri örneklerin üst kritik manyetik alan ve tane içi kritik manyetik alan değerleri  $c$  örgü parametresiyle orantılı olarak değişmektedir. Bu seride Yb ve Gd aynı oranda katılarak Y azaltıldı. Her iki katkı farklı etki yarattığı için katkı miktarına göre  $c$  parametresi değişmemekte fakat üst kritik manyetik alan değerleri  $c$  örgü parametresiyle paralellik göstermektedir.

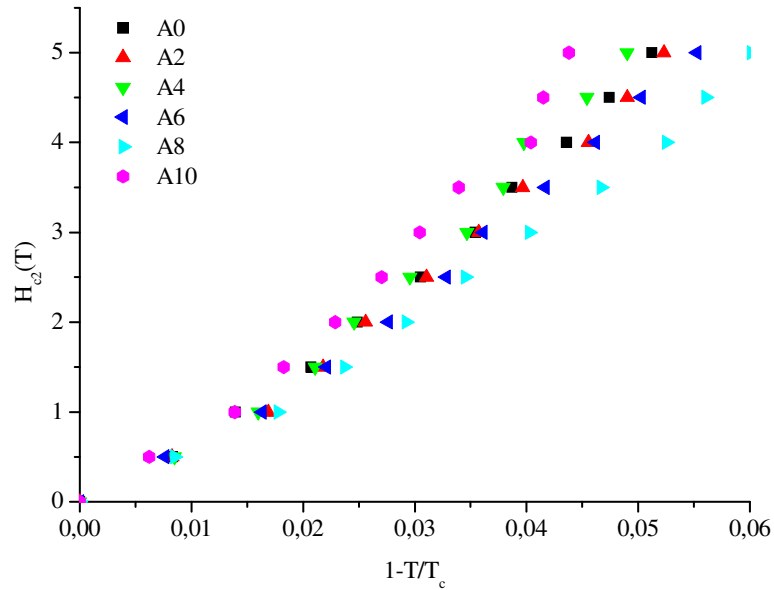
II. seri örneklerde ise, yapıda Y olmayıp yerine Yb ve Gd katılmıştır. Seride Yb azaltılarak Gd artırılmaktadır. Böylece yapıya Yb'ye göre daha büyük yarıçapa sahip element olan Gd yer değiştirilmektedir. Katkı miktarı artarken Yb oranı azalmakta ve Gd oranı artmaktadır. Dolayısıyla Yb'nin etkisi azalmakta ve Gd'nin etkisi artmaktadır. İyonik yarıçaplarından dolayı yapıda katkı miktarı artarken Gd'nin artışı  $T_c$ 'yi azaltma ve  $\Delta T_c$ 'yi artırma yönünde katkıda bulunurken, Yb ise  $T_c$ 'yi artırma ve  $\Delta T_c$ 'yi azaltma yönünde etkide bulunmaktadır. Bunun yanında, Yb oksijene duyarlılığı artırırken Gd bu gereksinimi bastırmaktadır.

Sonuç olarak, I. serideki örnekler için hesaplanan üst kritik manyetik alan değeri,  $c$  örgü parametresi ve aktivasyon enerjisinin değişimi,  $c$  örgü parametresinin katkıya göre değişimiyle doğru orantılı olduğunu göstermektedir. II. seri örnekler için hesaplanan üst kritik manyetik alan ve tane içi kritik manyetik alanın  $c$  örgü parametresiyle değişimi ise katkıya göre lineerlik göstermemektedir. II. seri örneklerde katkı miktarı arttıkça  $c$  örgü parametresi genel olarak lineer artış göstermektedir. Fakat  $x=0,4$  ve  $0,6$ 'da lineerlikten sapma mevcuttur. Sapmanın nedeni, her iki katkının da aynı oranda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, üst kritik manyetik alan değeri katkı miktarının  $0,6$  değerine kadar  $c$  örgü parametresiyle ters orantılı olarak değişmekte ve daha büyük katkılarda ise paralellik göstermektedir. Bu değişimin nedeni ise,  $x$ 'in  $0,5$ 'ten küçük olduğu değerlerde Yb'nin katkı miktarının daha fazla olmasıyla yapıya etkisi daha baskın olduğundan,  $\Delta T_c$ 'yi daralttığı ve  $T_c$ 'yi artırdığı için,  $H_{c2}(0)$ 'ın yüksek değerde olması

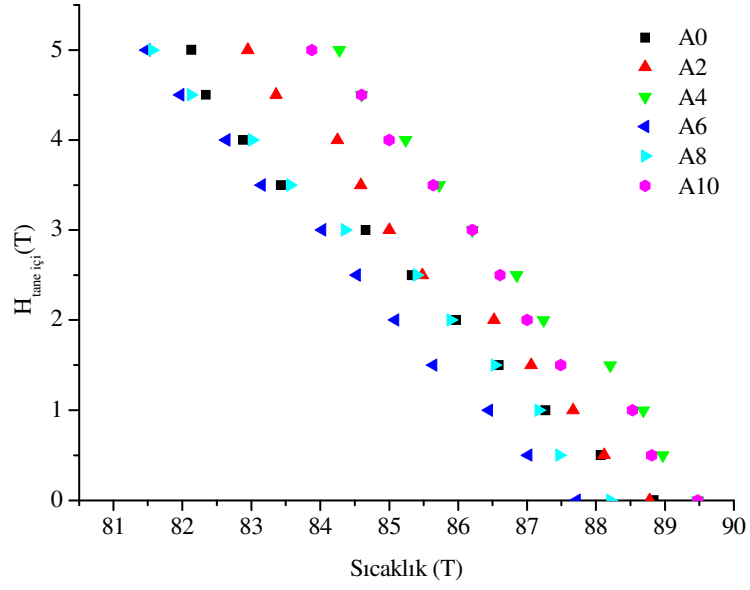
beklenir. Katkı miktarı arttıkça, Gd'nin artışıyla  $H_{c2}(0)$  azalmaktadır. Fakat katkı değeri 0,6'dan yukarı değerlerde ise  $H_{c2}(0)$ 'da artış gözlenmektedir.



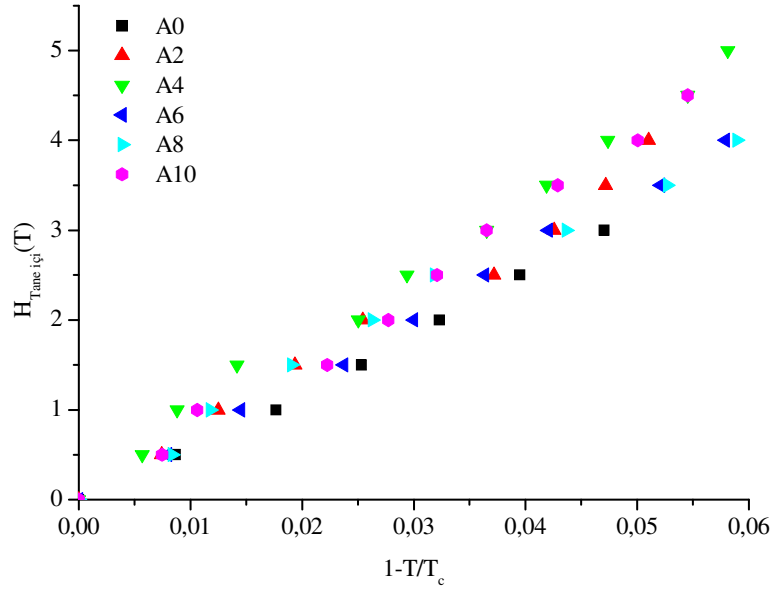
Şekil 80. I. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi



Şekil 81. I. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının  $1-T/T_c$  ile değişimi. Değişimin eğimi mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik değeridir

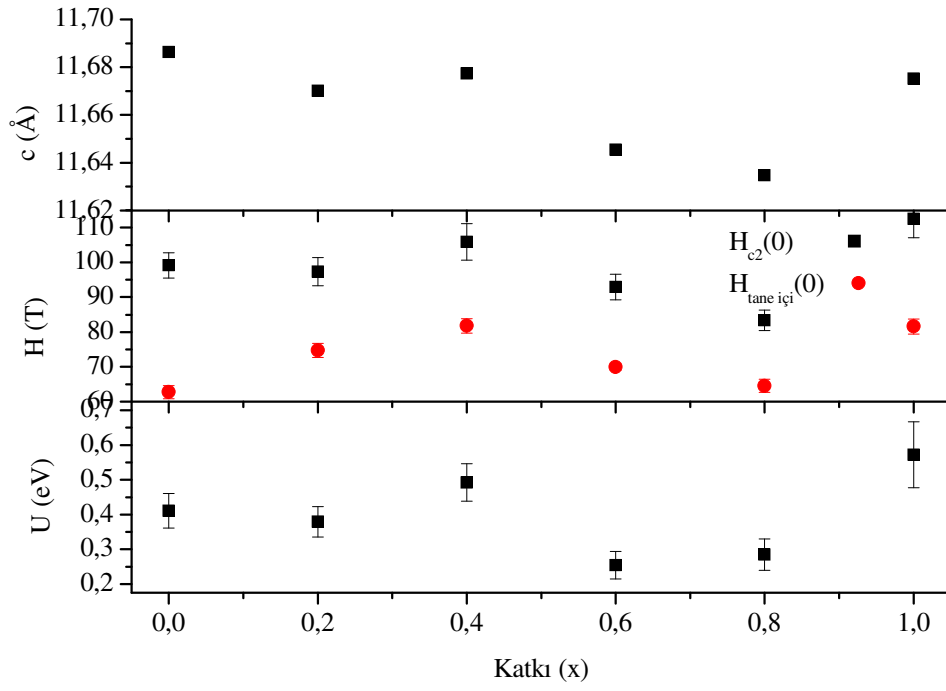


Şekil 82. I. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi

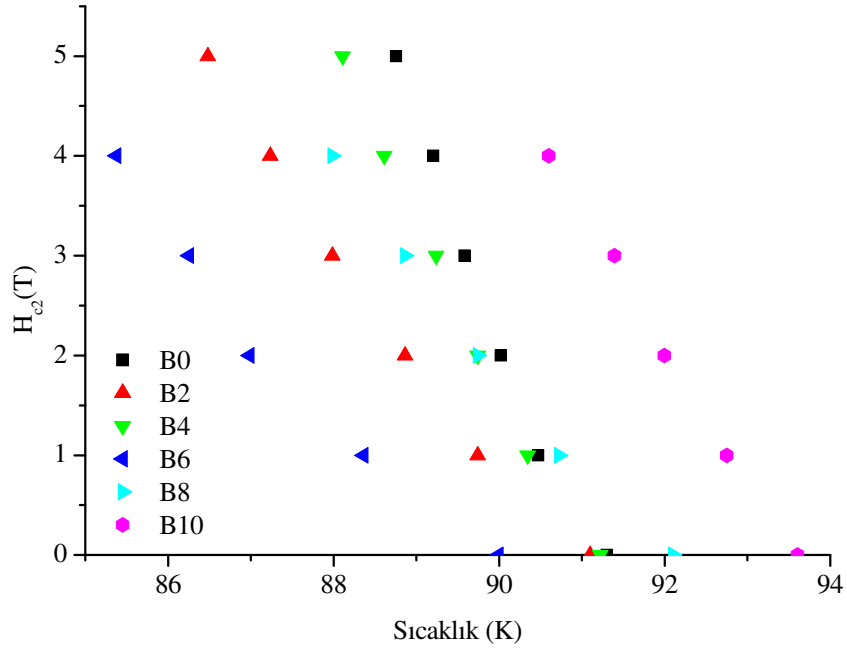


Şekil 83. I. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının  $1-T/T_c$  ile değişimi

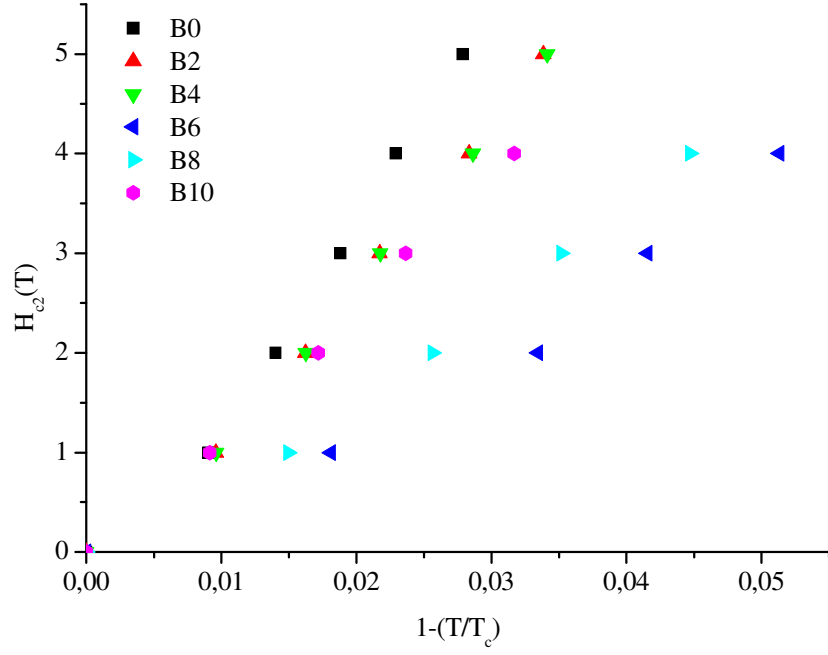




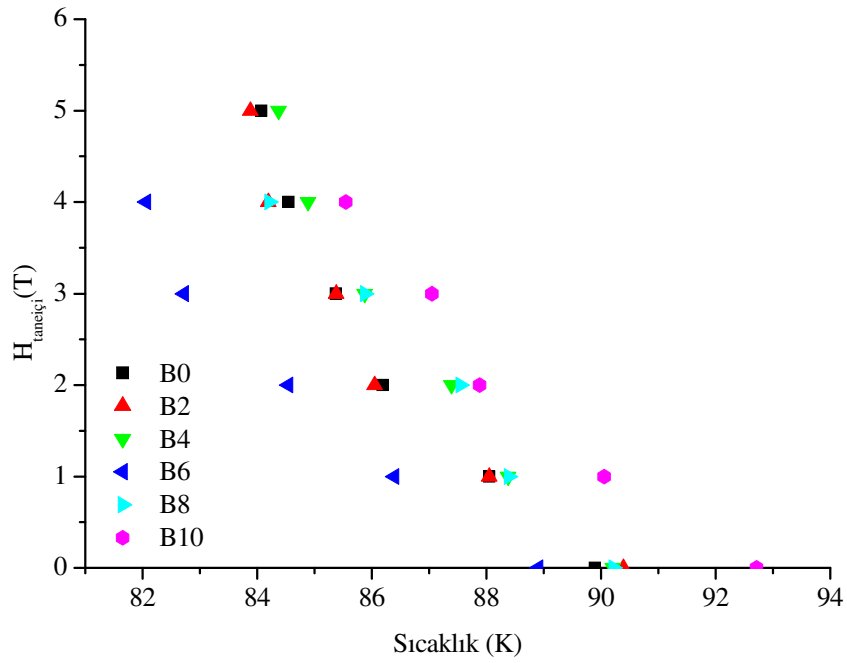
Şekil 84. I. seri örneklerin  $c$  örgü parametresi, üst kritik manyetik alan ve aktivasyon enerjilerinin katkıya göre değişimleri



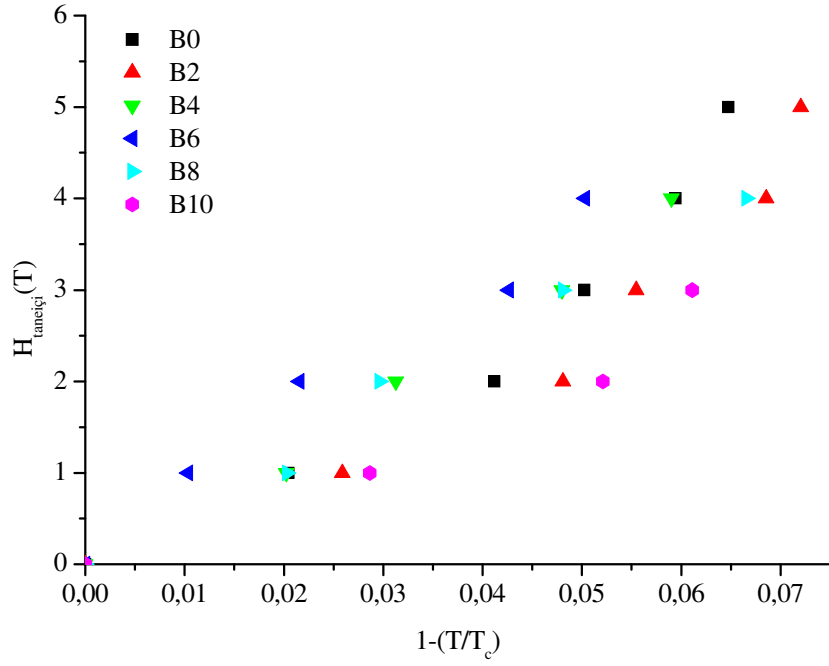
Şekil 85. II. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi



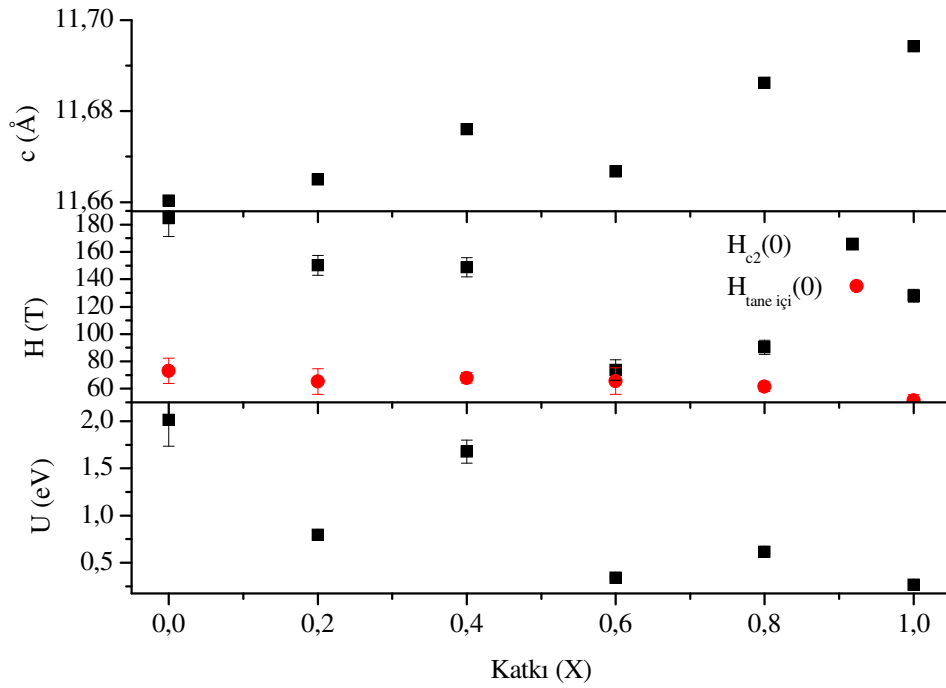
Şekil 86. II. seri örneklerin üst kritik manyetik alanının  $1-T/T_c$  ile değişimi



Şekil 87. II. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının sıcaklığa göre değişimi



Şekil 88. II. seri örneklerin tane içine girmeye başladığı manyetik alanının  $1-T/T_c$  ile değişimi



Şekil 89. II. seri örneklerin hesaplanan üst ve tane içine girmeye başladığı manyetik alanın katkı ile değişimi

### 3.8. Manyetizasyon Ölçümleri

Manyetizasyon (M-H) ölçümleri 5, 25, 50 ve 77 K sıcaklıklarında yapıldı. Her ölçüm öncesinde örnekler, süperiletken olmadığı sıcaklığa (100K) ısıtıldıktan sonra alan uygulamaksızın (ZFC), ilgili sıcaklık değerlerine soğutuldu. Bu sıcaklıklarda, örnekler 0,05 K hassasiyetinde dengeye getirildikten sonra manyetizasyon ölçümleri yapıldı. Ölçümlerin her aşamasında manyetik alan 5 mT/sn hızla değiştirildi. Manyetizasyon ölçümlerinde, manyetik alan değişimleri üç aşamada gerçekleştirildi. Bunlar; 1. aşama  $0 \rightarrow H_{maks}$  2. aşama  $H_{maks} \rightarrow (-H_{maks})$  ve 3. aşama ise  $-H_{maks} \rightarrow H_{maks}$  şeklindedir. Burada  $H_{maks}$ , manyetizasyon ölçümlerinde uygulanan maksimum manyetik alanı ifade etmektedir. Her iki aşama arasında beklenmeden bir sonraki aşamaya geçildi. Ölçümlerde, bazı manyetik alanlarda sistemden kaynaklanan farklı veriler elimine edildi ve birinci dereceden ara değer bulma yöntemiyle her 10 mT adımla manyetik alanlardaki manyetizasyon değerleri hesaplandı. Bu hesaplamalar, oluşturulan bilgisayar programı kullanılarak yapıldı.

#### 3.8.1. I. ve II. Grup Örneklerin Manyetizasyon Ölçümleri

Manyetizasyon ölçümlerinde, deney sistemi olarak Quantum Design VSM titreşim örnekleme manyetometre kullanıldı. Manyetometre “emu” cinsinden moment ölçmektedir. Ölçülen veriler ilk başta örneğin hacmine bölünerek manyetizasyon birimi olan A/cm birimine dönüştürüldü. Yapılan ölçümler aynı seri içinde diğer örneklerle üç şekilde karşılaştırıldı:

- Sıcaklık sabit tutularak, katkılar karşılaştırıldı.
- Katkı sabit tutularak, sıcaklıklar karşılaştırıldı.
- Katkı ve sıcaklık sabit tutularak,  $H_{maks}$ 'ın değişimi incelendi.

Ayrıca karşılaştırılmalarda  $H_{maks}$  her katkı veya sıcaklıklar için aynı alındı. M-H ölçümleri I. seriden A0, A2 ve A6 ile II. seriden tüm örnekler için yapıldı.

##### *I. seri örnekler için:*

Aynı maksimum alanda, farklı sıcaklıklarda yapılan manyetizasyon ölçümleri, A0, A2 ve A6 örnekleri için sırasıyla Şekil 90, Şekil 91 ve Şekil 92'de verildi.

A0, A2 ve A6 örnekleri için 5 K'de farklı  $H_{maks}$ 'larda yapılan ölçümler ise, sırasıyla Şekil 93, Şekil 94 ve Şekil 95'te gösterildi.

A0, A2 ve A6 örnekleri için 77 K'de farklı  $H_{maks}$ 'larda yapılan ölçümler ise, sırasıyla Şekil 96, Şekil 97 ve Şekil 98'de gösterilmektedir.

Tüm örneklerin aynı sıcaklık ve  $H_{maks}$ 'da birbirlerine göre karşılaştırılması ise, 5 K için Şekil 99, 25 K için Şekil 100, 50 K için Şekil 101, 77 K ve  $H_{maks}=3$  T için Şekil 102 ve 77 K ve  $H_{maks}=0,6$  T için Şekil 103'te verildi.

Ölçümler ve karşılaştırmalar yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

a) Katkı miktarı arttıkça, örnek diamanyetik özellikten paramanyetik özelliğe dönüşmektedir. Bu değişimin kaynağı, yapıda Gadolonyum atomunun artması ve süperiletken yapıya paramanyetik özellik katmasıdır (El Ali vd., 2002).

b) Aynı manyetik alanda, aynı örneğin sıcaklığı arttıkça manyetizasyon ilmeğindeki  $\Delta M$  değeri azalmaktadır.

c) Aynı sıcaklık ve manyetik alandaki örneklerin  $\Delta M$  değerlerindeki değişim kısmi de olsa c örgü parametresine göre doğru orantılı bir değişim sergilemektedir.

d) Sıcaklık azaldıkça aynı örneğin manyetizasyon ölçümlerinden paramanyetik özelliğinin arttığı görüldü.

e) Aynı örneğin aynı sıcaklıkta farklı  $H_{maks}$ 'larda manyetizasyonları karşılaştırıldığında, M-H ilmekleri birbirini tamamlamaktadır. Bu durum A0, A2 ve A6 örnekleri için sırasıyla 5 K'de Şekil 93, Şekil 94 ve Şekil 95 olup, 77 K sıcaklıkta ise Şekil 96, Şekil 97 ve Şekil 98'de gösterilmektedir.

h) Aynı  $H_{maks}$ , farklı sıcaklıklarda M-H kapalı halkaları incelendiğinde, 5 K ve 3 T alanda daha yüksek sıcaklıklardaki manyetizasyon ilmeklerine göre geniş bir histerezis göstermektedir. Bunun yanında eğrinin eğimi paramanyetik özelliği işaret etmektedir. Burada örnek içinde hem normal fazın baskın olduğu, hem de az da olsa süperiletken fazın hala var olduğu düşünülmektedir. 25, 50 ve 77 K, 3 T manyetik alanda süperiletken fazın tamamen normal yapıya geçtiği ve histerezis özelliğinin paramanyetik yapıda olduğu görülmektedir. Sonuç olarak 3 T'lık alan değeri tüm sıcaklık aralığında örnek için fazla olmaktadır. Bu da normal bir sonuçtur. Çünkü katı hal tepkime yöntemiyle üretilen süperiletkenlerin külçe özelliğini 1 T'dan fazla alan değerlerine karşı koyamadığı bir gerçektir. Benzer yorumlar II.seri örnekler için de geçerlidir.

*II. seri örnekler için:*

B0'dan B10'a kadar tüm örneklerin sabit  $H_{maks}$  ve 5, 25, 50 ve 77 K sıcaklıklarda alınan ölçümler sırasıyla Şekil 104 - 109'da görülmektedir.

B0'dan B10'a kadar tüm örneklerin, 5 K'de tüm  $H_{maks}$ 'larda alınan ölçümler sırasıyla Şekil 110 - 115'te gösterilmektedir.

B0'dan B10'a kadar tüm örneklerin, 77 K'de tüm  $H_{maks}$ 'larda alınan ölçümler sırasıyla Şekil 116 - 121'de gösterilmektedir.

Aynı sıcaklık ve  $H_{maks}$ 'da tüm örneklerin ölçümlerinin karşılaştırılması 5 K için Şekil 122, 25 K için Şekil 123, 50 K için Şekil 124, 77 K ve  $H_{maks}=3$  T için Şekil 125 ve 77 K ve  $H_{maks}=0,6$  T için Şekil 126'da gösterilmektedir.

II. seri örneklerin tümünün manyetizasyon ölçümleri alındı. Bu ölçümler ışığında aşağıdaki sonuçlara varıldı:

a) Gd atomu artışından dolayı katkı miktarı arttıkça yapıda paramanyetik özellik daha baskın olmaktadır.

b) Aynı örneğin aynı manyetik alandaki  $\Delta M$  değeri, sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

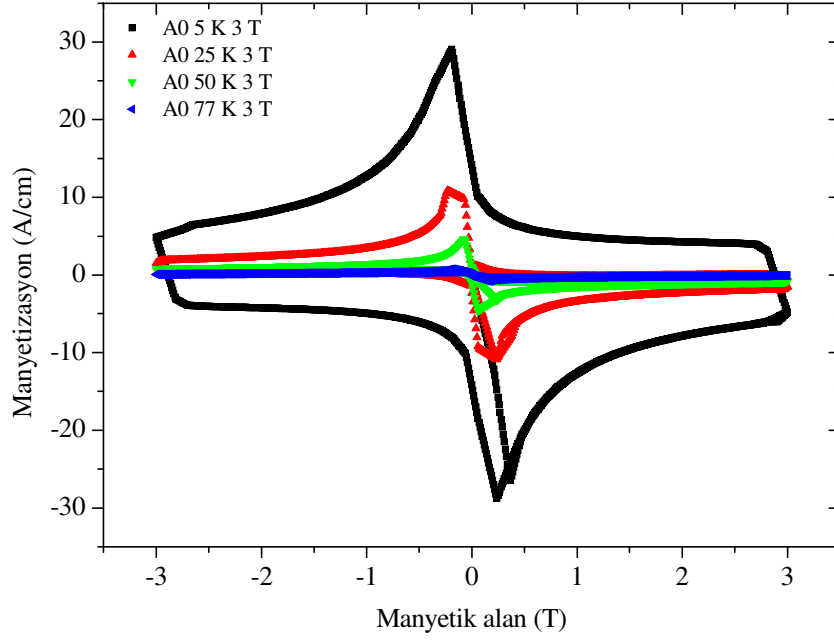
c) Aynı sıcaklık ve aynı manyetik alandaki örneklerin  $\Delta M$  değerlerindeki değişim, hemen hemen  $c$  örgü parametresinin katkıya göre değişimiyle paraleldir.

d) Aynı sıcaklık ve aynı manyetik alan altında katkıya göre paramanyetikliğin artışının,  $c$  örgü parametresinden farklılık göstermekte olup, hemen hemen katkıyla değişimi doğru orantılı olduğu görülmektedir.

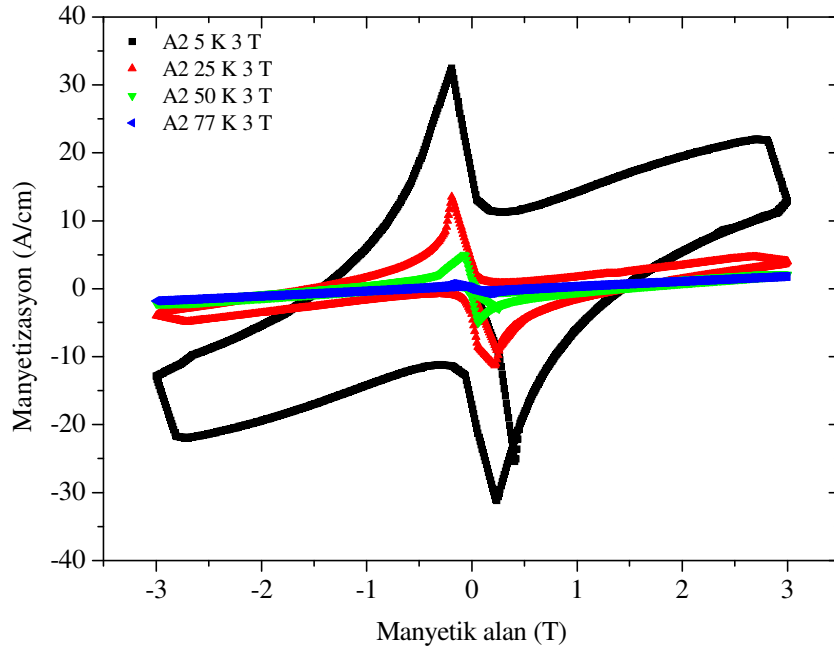
e) Ayrıca ikinci seri örneklerden B0 örneği tamamen Yb123 olmasına rağmen, az da olsa yapıda paramanyetik özellik mevcuttur. Bu özellik, 50 ve 77 K sıcaklıklarında daha da baskındır.

f) M-H ilmeklerinde belirli bir manyetik alan değerine kadar  $\Delta M$  değeri artmakta ve bir tepe değerinden sonra manyetik alan arttıkça  $\Delta M$  değeri düşmektedir. Bunun nedeni olarak yapı içindeki taneler arası süperiletkenlik etkileşiminin zayıf olduğu ve düşük manyetik alanın ise bu etkileşimi arttırdığı düşünülmektedir. Manyetik alan değeri daha yüksek olduğu durumlarda ise, alan taneler arası süperiletkenlik etkileşimi ortadan kaldırmaktadır. Bu durum I. seri örneklerde de mevcut olup, kritik akım yoğunluğunda daha net görülmektedir.

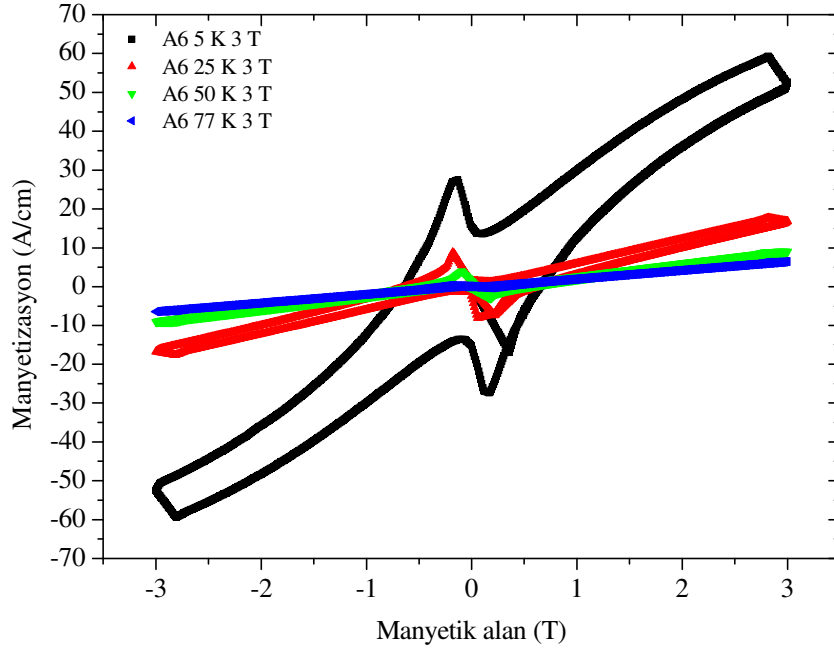
g) Aynı örneğin aynı sıcaklıkta farklı  $H_{maks}$ 'larda manyetizasyonları karşılaştırıldığında, M-H ilmekleri birbirini tamamlamaktadır. Bu durum, B0'dan B10'a kadar örnekler için sırasıyla 5 K'de Şekil 110 - 115 ve 77 K'de Şekil 116 - 121'de gösterilmektedir.



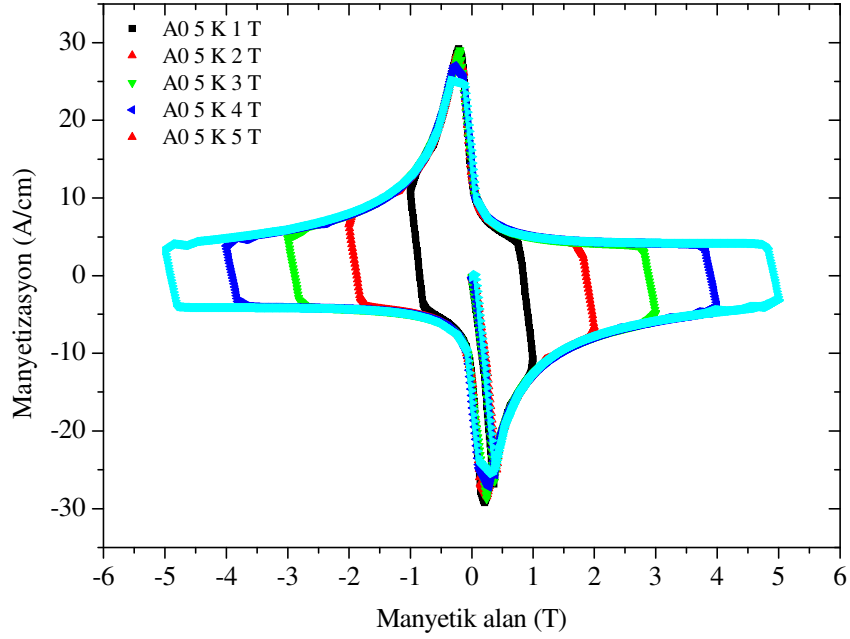
Şekil 90. A0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K'de  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri



Şekil 91. A2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K'de  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri

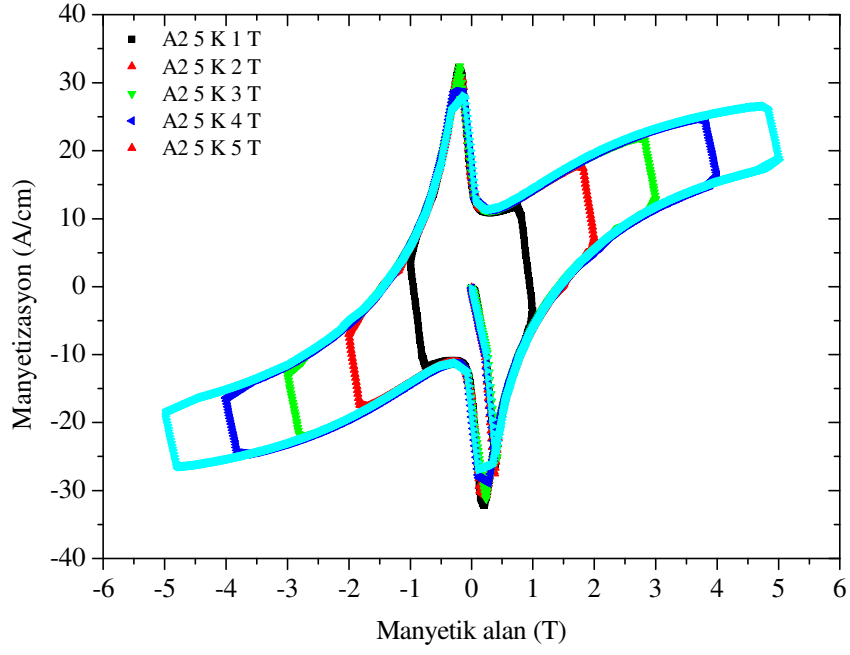


Şekil 92. A6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K'de  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri

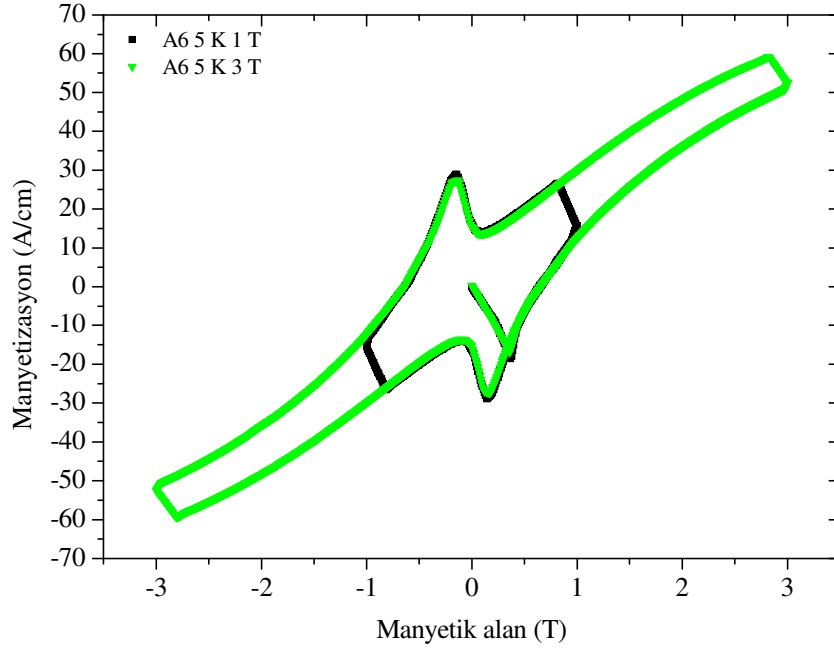


Şekil 93. A0 örneğinin 5 K'de  $H_{\text{maks}}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri

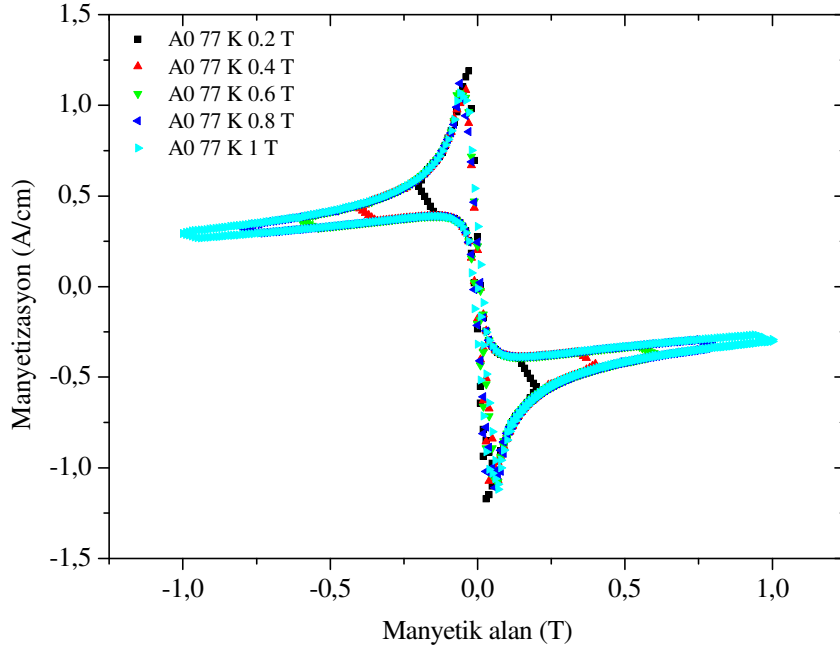




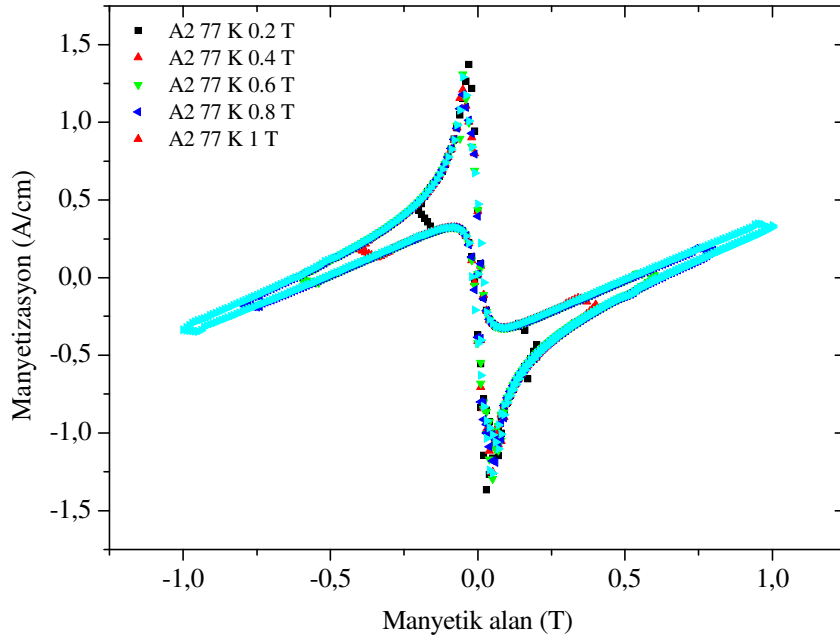
Şekil 94. A2 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



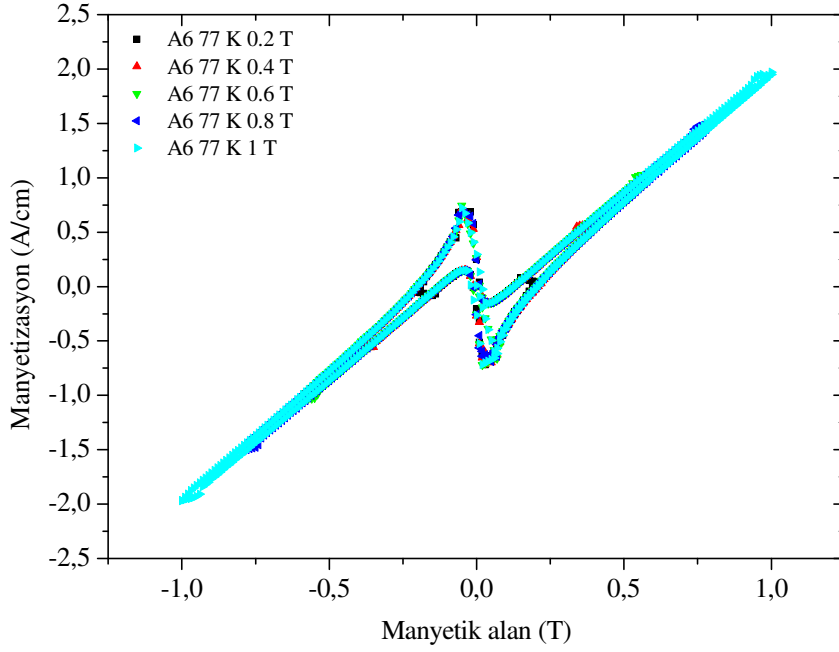
Şekil 95. A6 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1$  ve 3 T alana kadar M-H ilmekleri



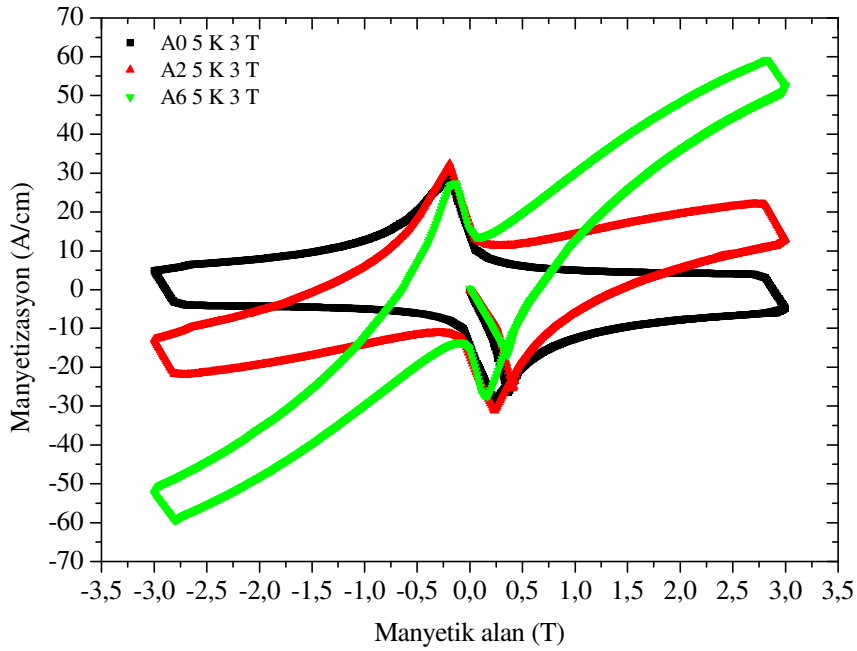
Şekil 96. A0 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



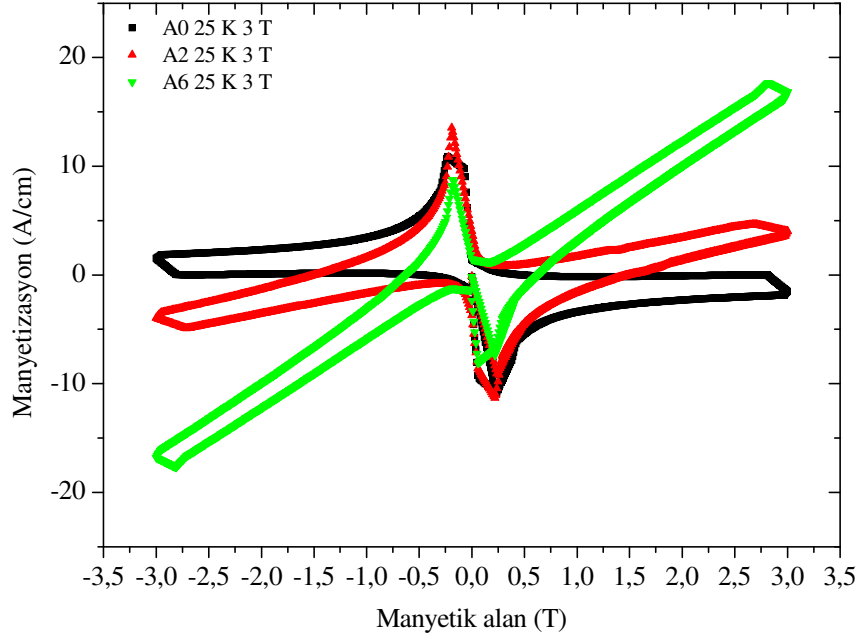
Şekil 97. A2 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



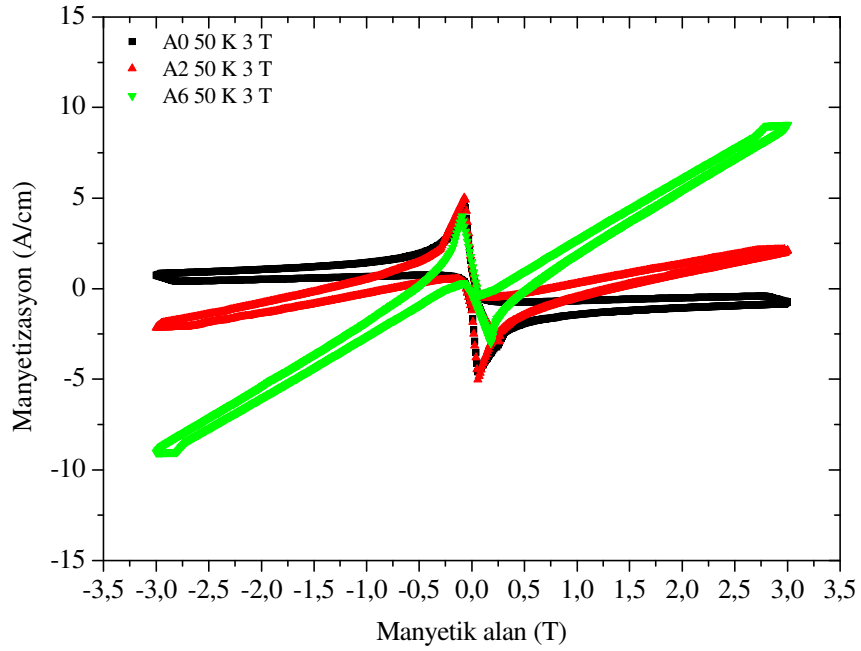
Şekil 98. A6 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



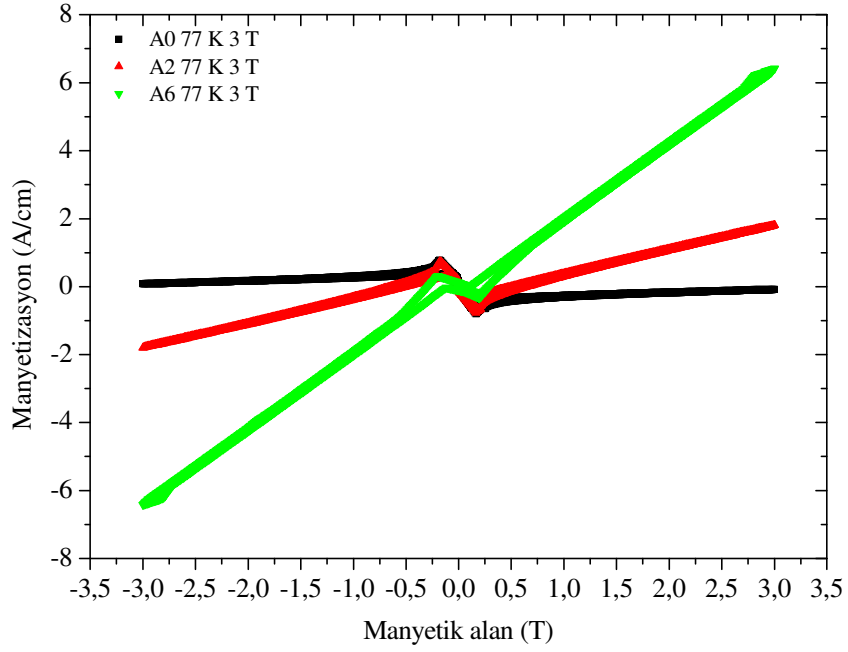
Şekil 99. 5 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri



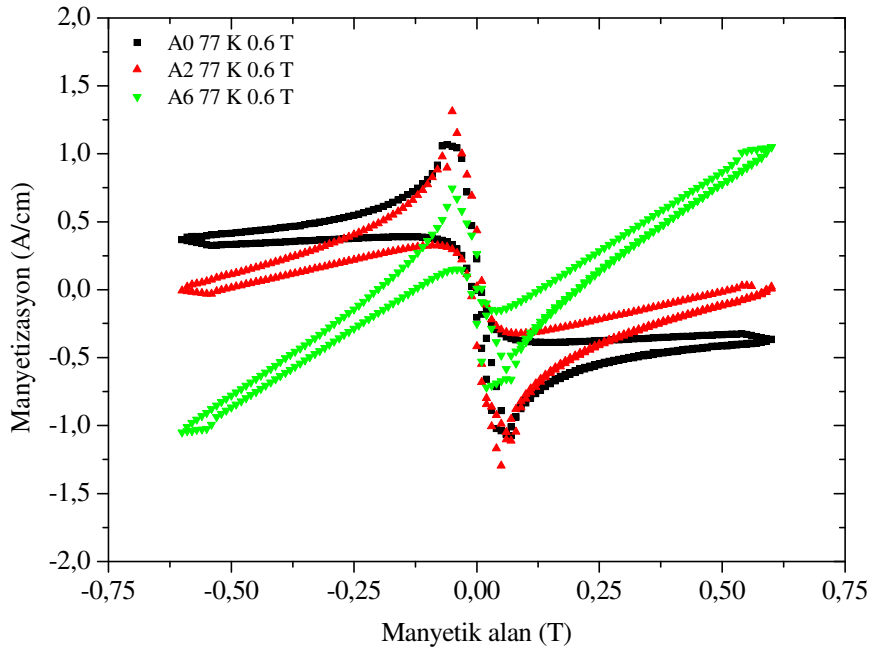
Şekil 100. 25 K’de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri



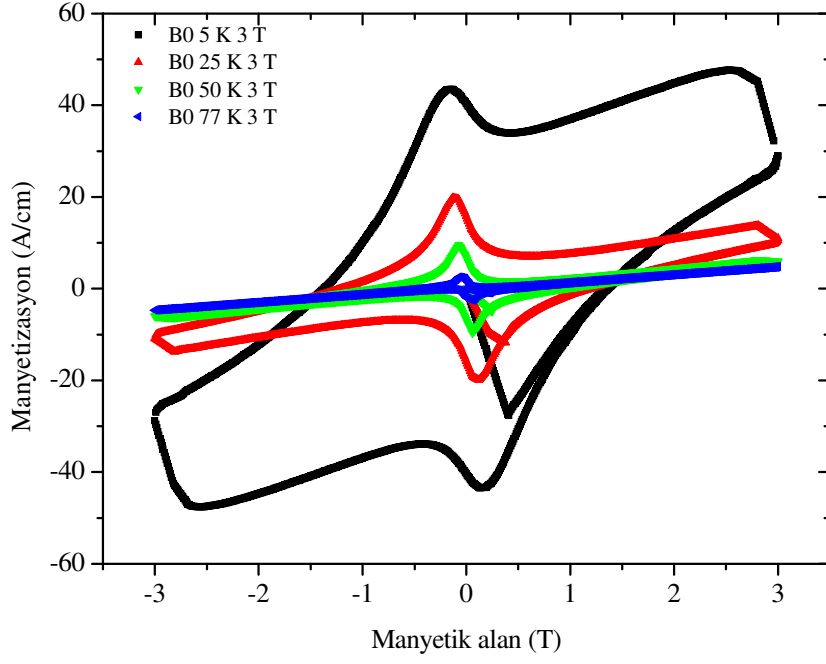
Şekil 101. 50 K’de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri



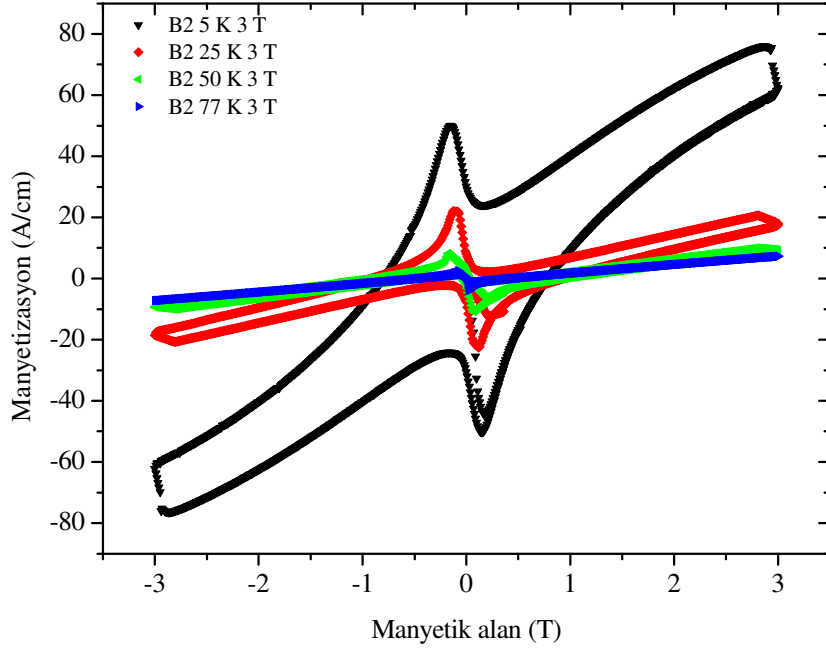
Şekil 102. 77 K'de  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri



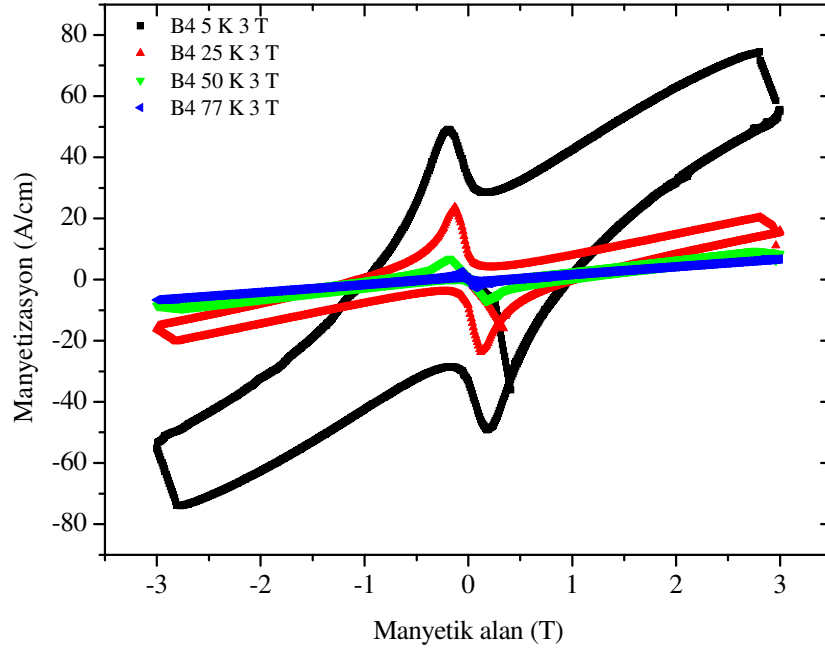
Şekil 103. 77 K'de  $H_{\text{maks}}=0,6$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin M-H ilmekleri



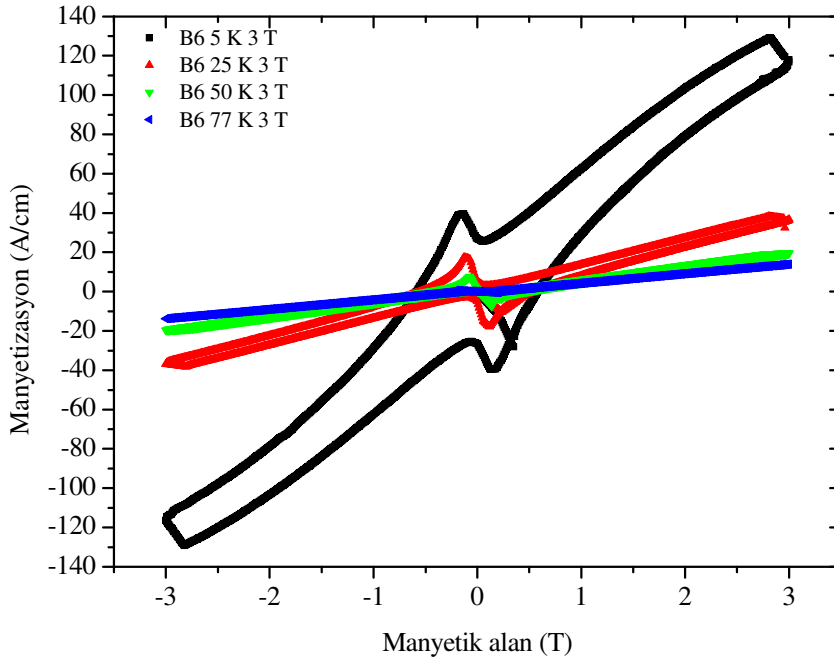
Şekil 104. B0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri



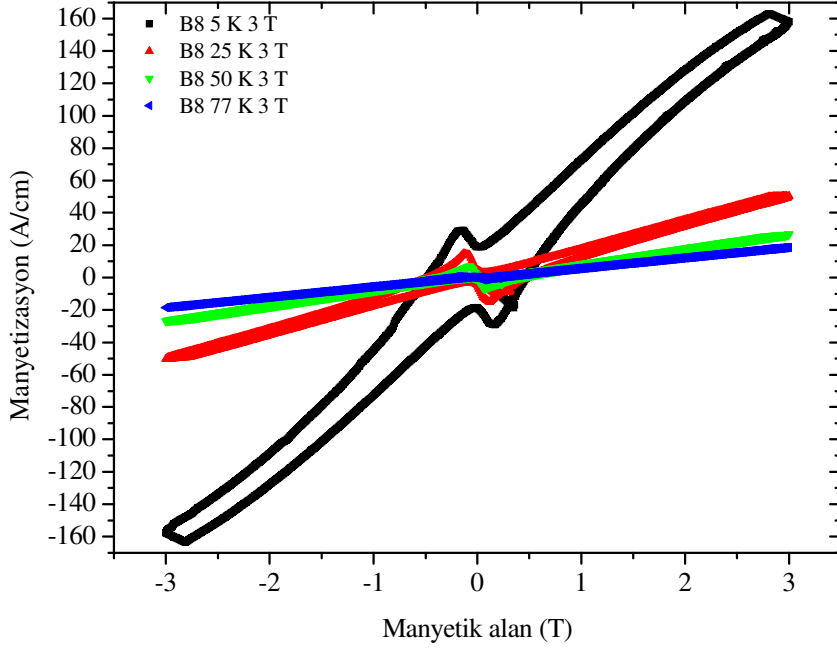
Şekil 105. B2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri



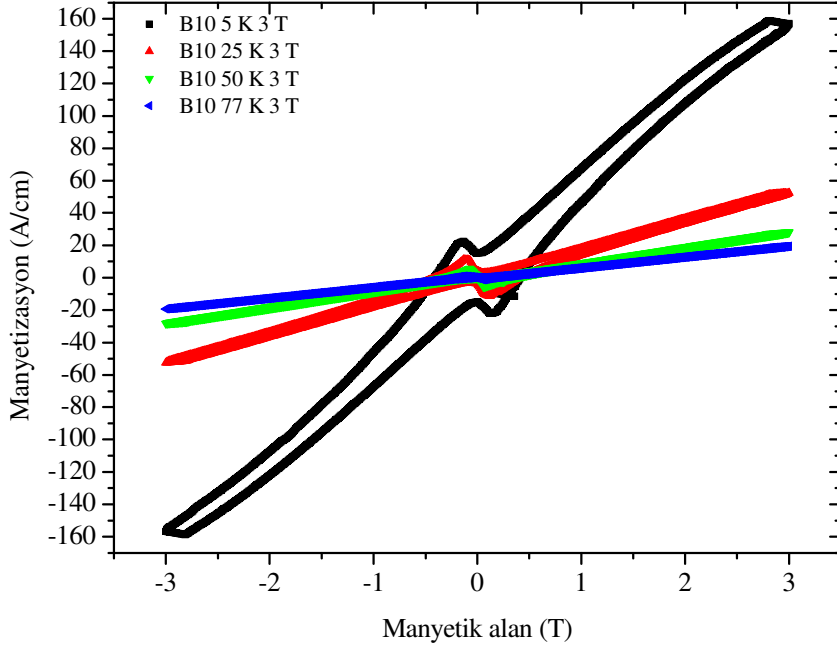
Şekil 106. B4 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri



Şekil 107. B6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri

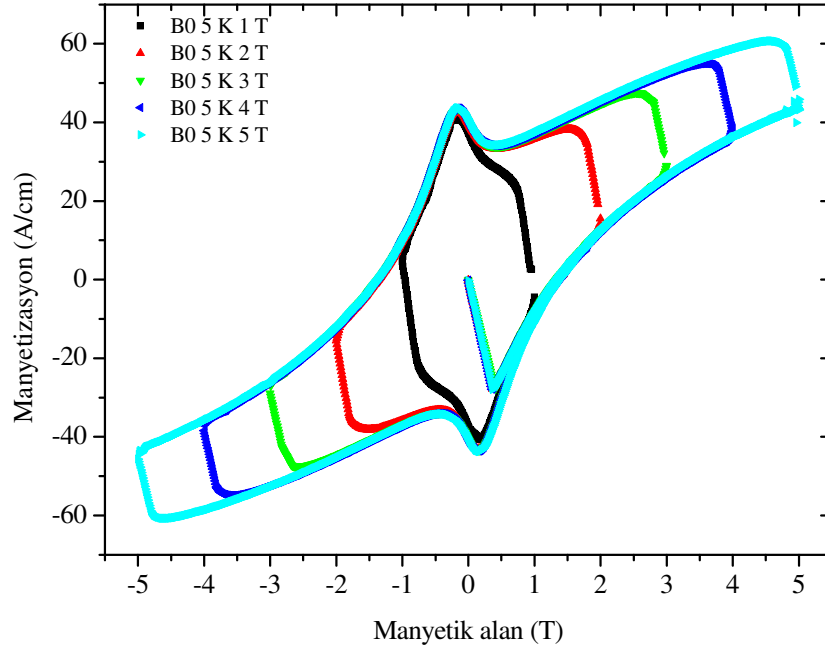


Şekil 108. B8 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri

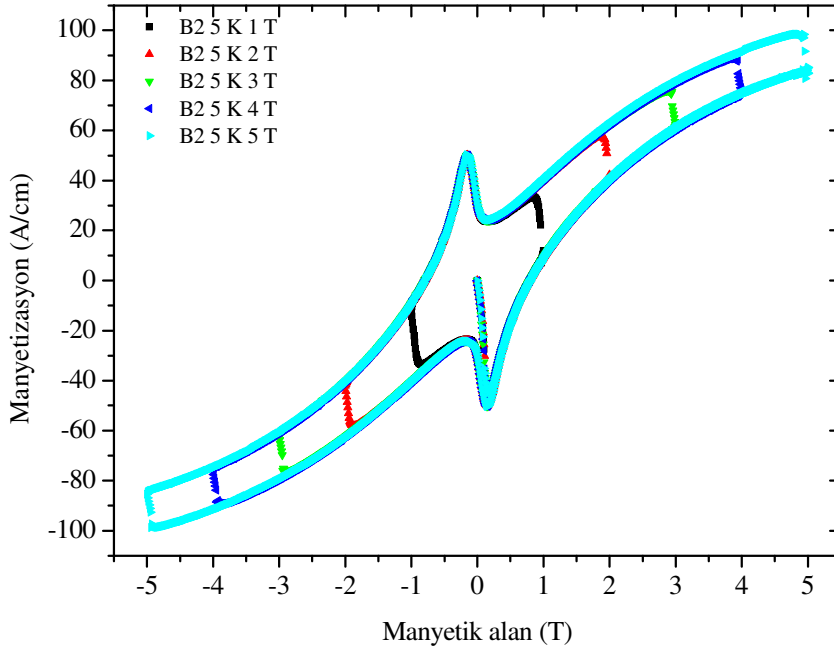


Şekil 109. B10 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar M-H ilmekleri

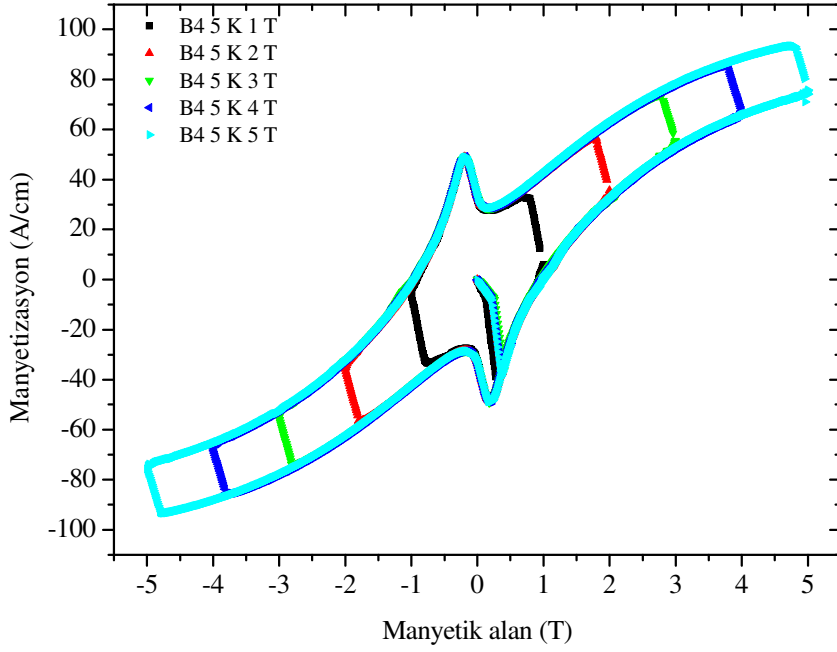




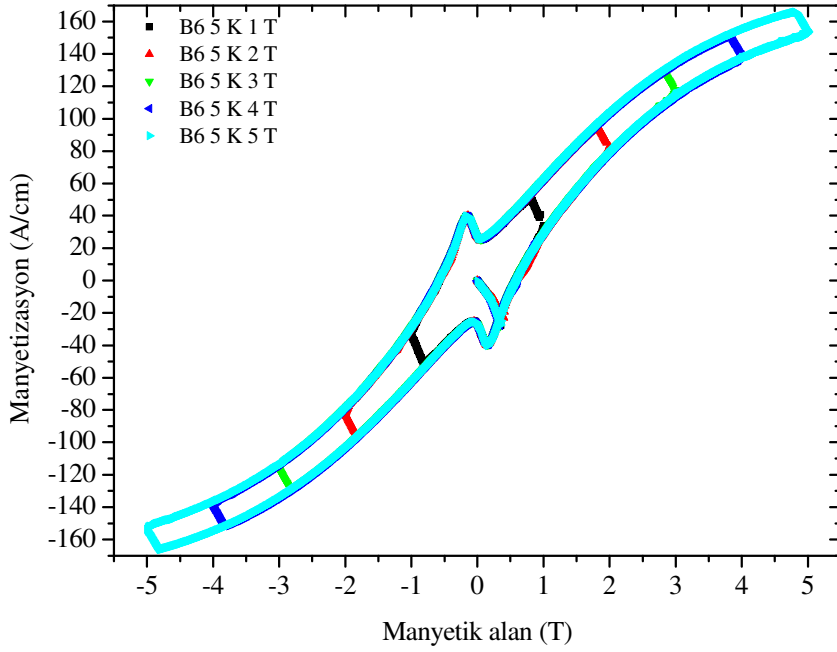
Şekil 110. B0 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



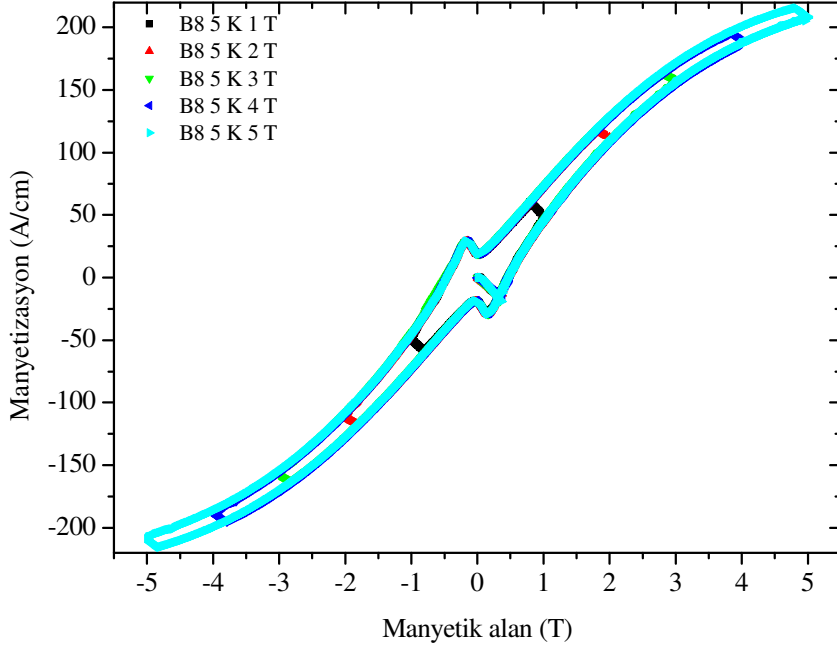
Şekil 111. B2 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



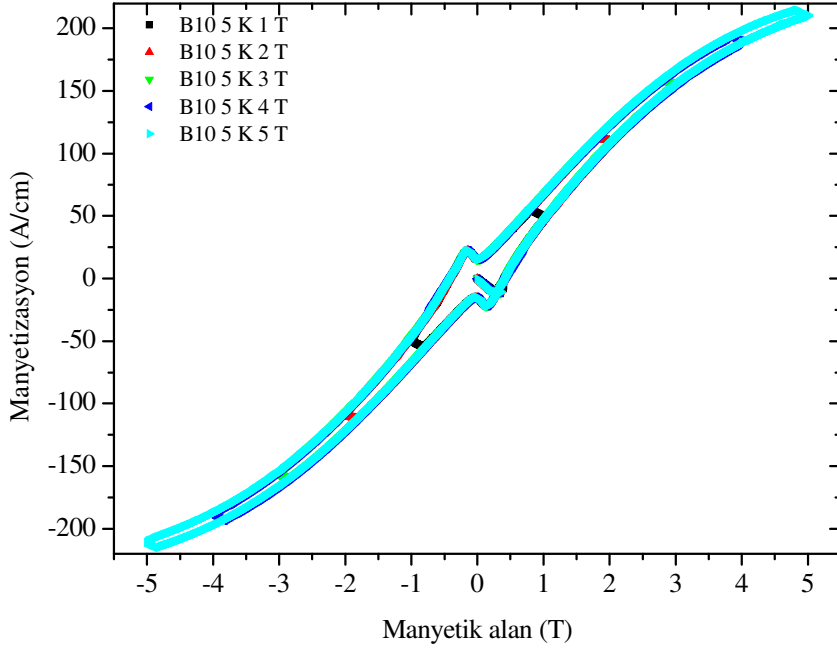
Şekil 112. B4 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



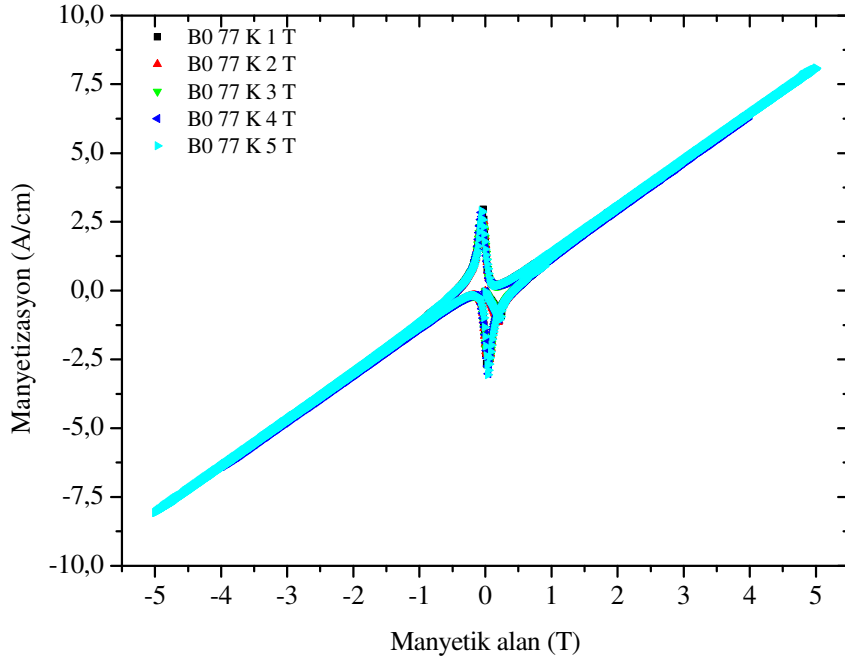
Şekil 113. B6 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



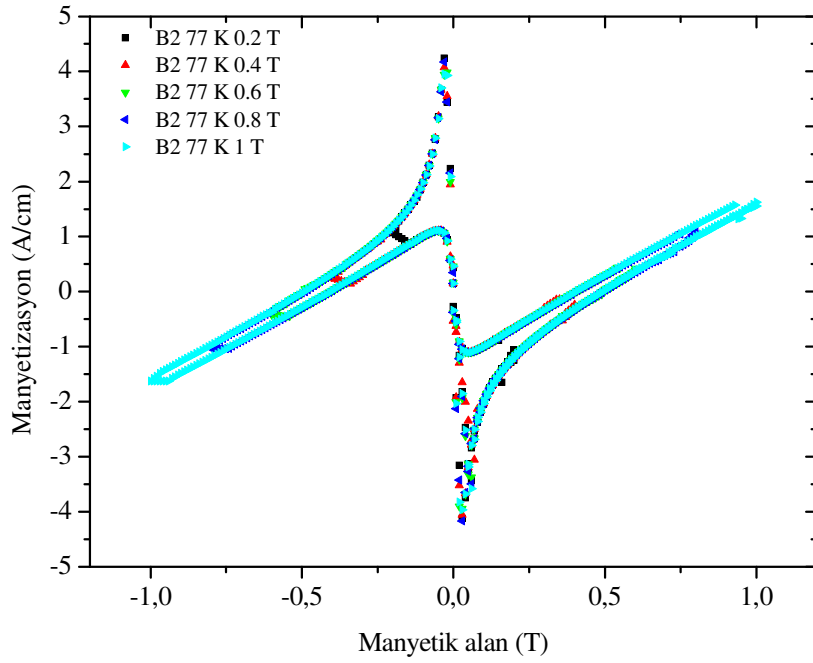
Şekil 114. B8 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



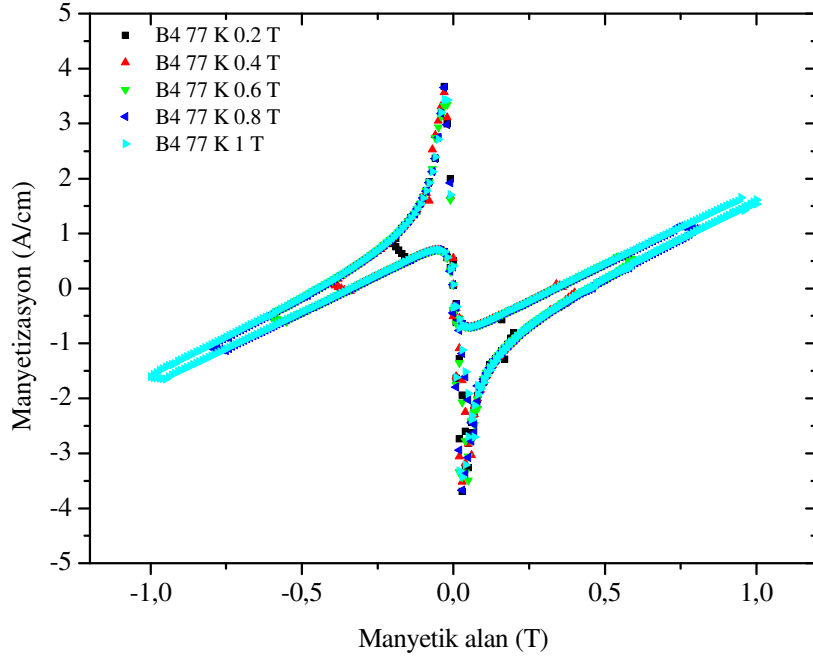
Şekil 115. B10 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



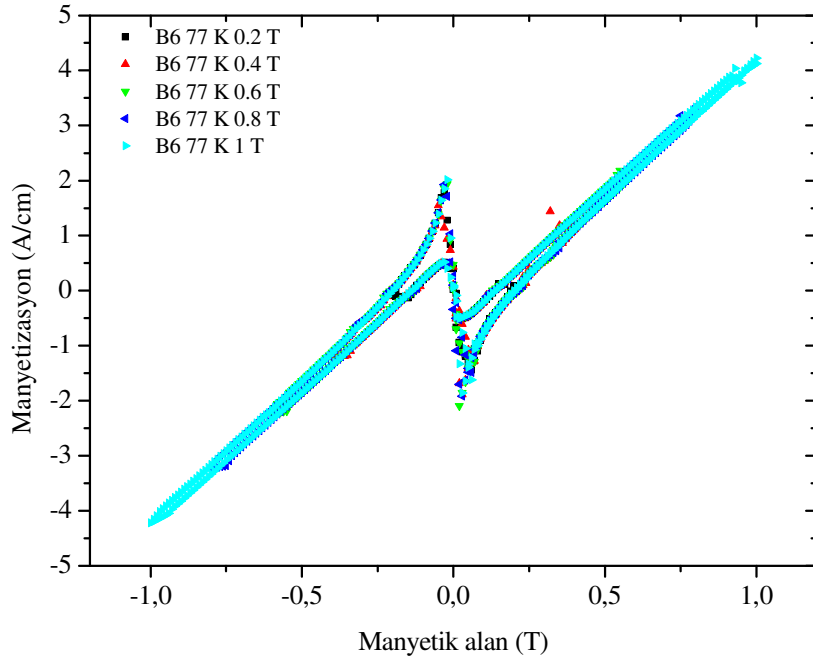
Şekil 116. B0 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar M-H ilmekleri



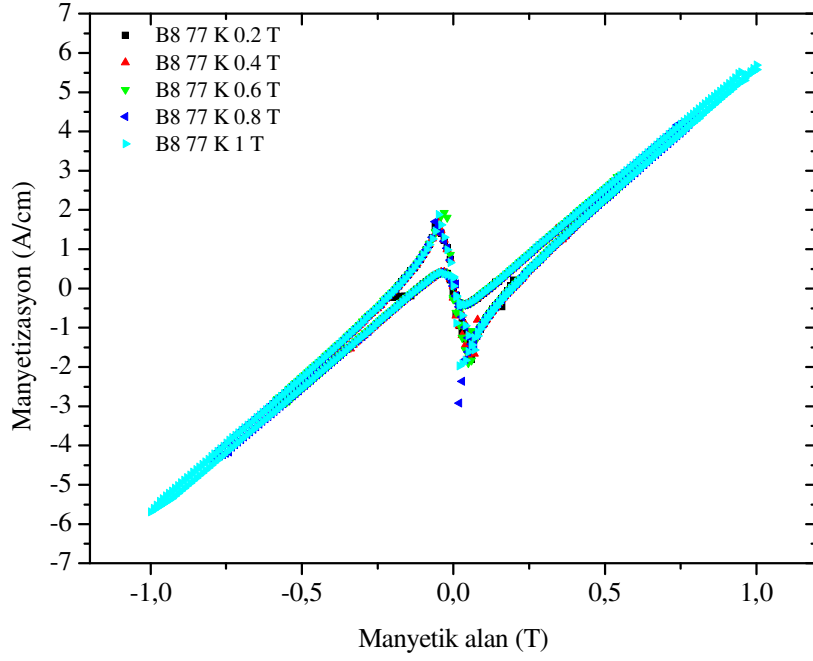
Şekil 117. B2 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



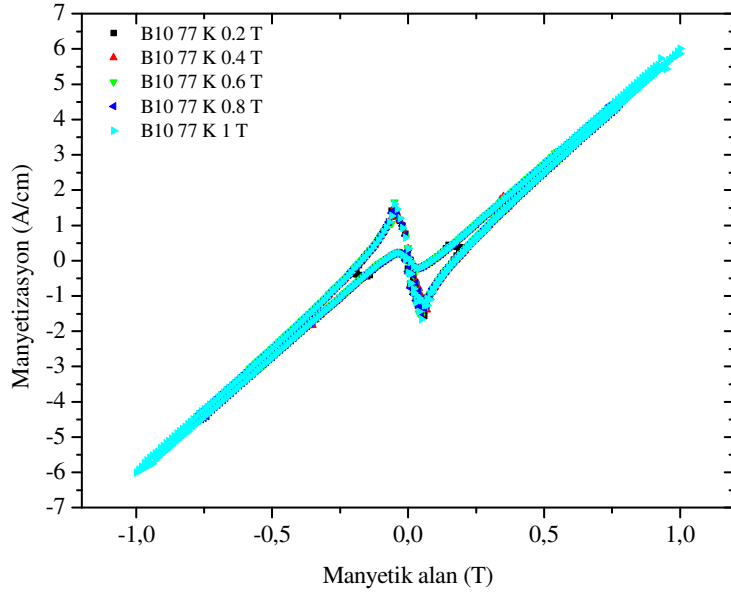
Şekil 118. B4 örneğinin 77 K'de  $H_{\text{maks}}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



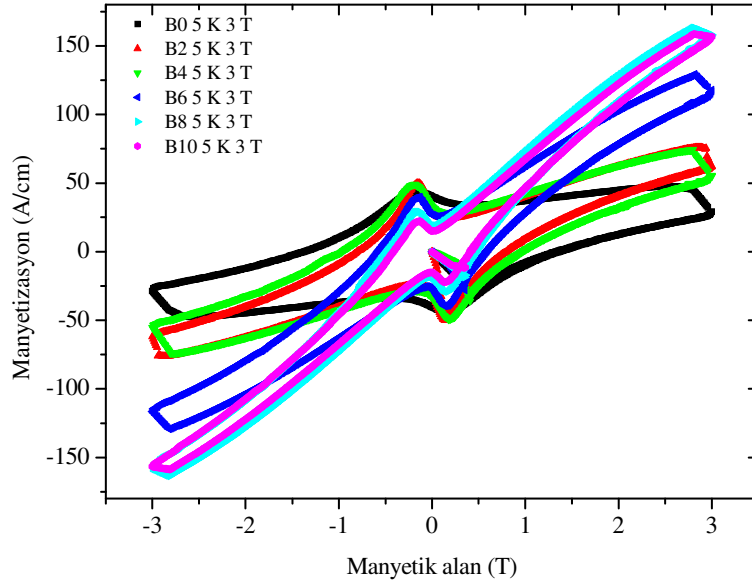
Şekil 119. B6 örneğinin 77 K'de  $H_{\text{maks}}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



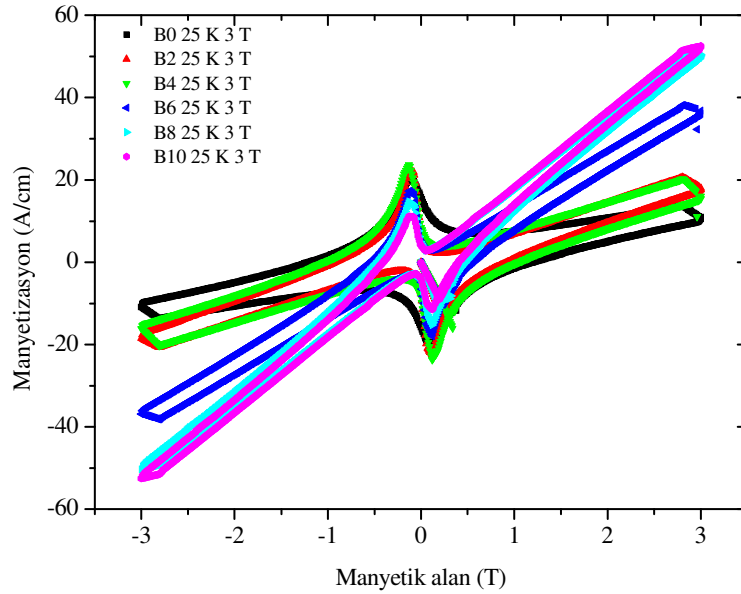
Şekil 120. B8 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



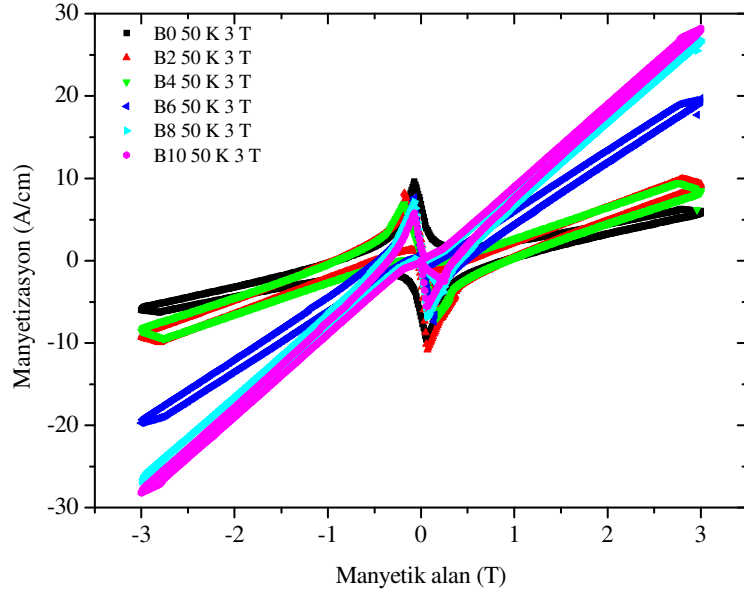
Şekil 121. B10 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar M-H ilmekleri



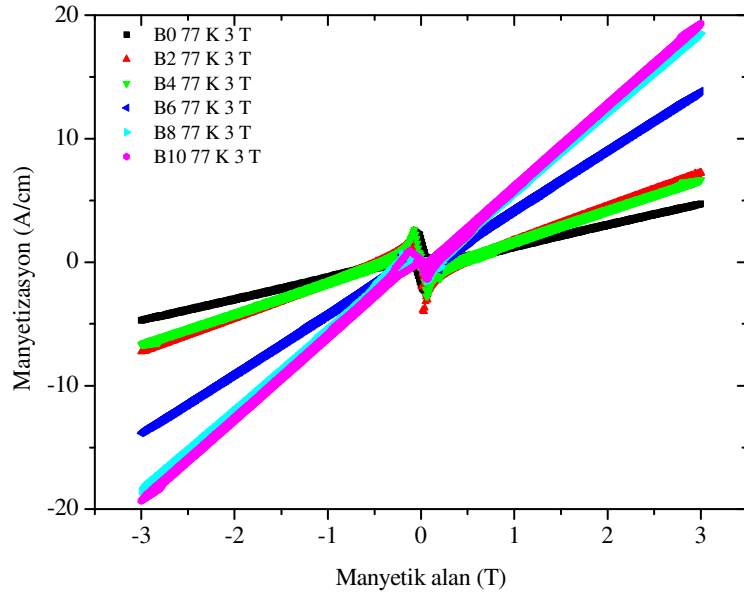
Şekil 122. 5 K'de  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri



Şekil 123. 25 K'de  $H_{\text{maks}}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri

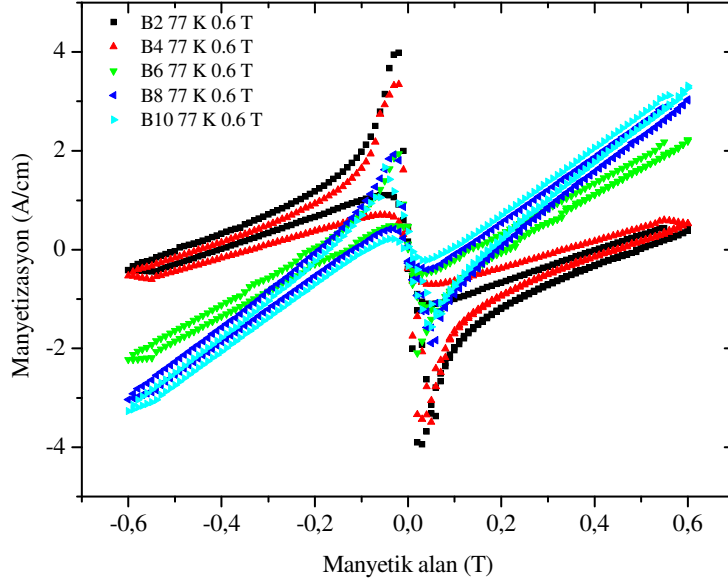


Şekil 124. 50 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri



Şekil 125. 77 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri





Şekil 126. 77 K’de  $H_{maks}=0,6$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin M-H ilmekleri

### 3.8.2. Kritik Akım Yoğunluğu Hesabı

Örneklerin kritik akım yoğunlukları, farklı sıcaklıklarda ve farklı manyetik alanlardaki manyetizasyon ölçümlerinden hesaplandı. M-H ilmeğinde pozitif ve negatif manyetik alandaki manyetizasyon değerleri ele alındı.

#### 3.8.2.1. I. ve II. Grup Örneklerin Kritik Akım Yoğunlukları Hesabı

Örneklerin hepsi dikdörtgenler prizması şeklinde olduğu için, manyetizasyon verilerinden kritik akım yoğunluğu aşağıdaki bağıntı (Chen ve Goldfarb, 1989.) kullanılarak hesaplandı:

$$J_c(H, T) = 20 \frac{\Delta M}{L_1 \left( 1 - \frac{L_1}{3L_2} \right)} \quad (23)$$

İfadede, örneğin manyetik alan doğrultusundaki kesit alanı  $L_1L_2$  olup,  $L_2 > L_1$ ’dir.  $\Delta M$  ise, M-H ilmeğindeki  $H_{maks}$  manyetik alanından düşerken belli manyetik alandaki manyetizasyon ile  $-H_{maks}$ ’tan  $H_{maks}$ ’a artarken aynı manyetik alandaki manyetizasyon

değerleri arasındaki farktır. Böylece kritik akım yoğunluğu yukarıdaki formül kullanılarak, oluşturulan bilgisayar programı tarafından hesaplandı. Hesaplama sonuçları grafiklerde gösterildi:

*I. seri örnekler için:*

A0, A2 ve A6 örnekleri için,  $H_{maks}$  sabit ve 5, 25, 50 ve 77 K sıcaklıklarda alınan ölçümleri sırasıyla Şekil 127, Şekil 128 ve Şekil 129'da gösterilmektedir.

A0, A2 ve A6 örnekleri için 5 K'de tüm  $H_{maks}$ 'larda alınan ölçümler sırasıyla Şekil 130, Şekil 131 ve Şekil 132'de gösterilmektedir.

A0, A2 ve A6 örnekleri için 77 K'de tüm  $H_{maks}$ 'larda alınan ölçümler sırasıyla Şekil 133, Şekil 134 ve Şekil 135'te gösterilmektedir.

Aynı sıcaklık ve  $H_{maks}$ 'da tüm örneklerin karşılaştırılması 5 K için Şekil 136, 25 K için Şekil 137, 50 K için Şekil 138, 77 K ve  $H_{maks}=3$  T için Şekil 139, 77 K ve  $H_{maks}=0,6$  T için Şekil 140'da gösterilmektedir.

*II. seri örnekler için:*

B0'dan B10'a kadar örneklerin  $H_{maks}$  sabit ve 5, 25, 50 ve 77 K sıcaklıklarda alınan ölçümleri sırasıyla, Şekil 141 - Şekil 146'da grafikler halinde gösterilmektedir.

B0'dan B10 örneğine kadar 5 K'de tüm  $H_{maks}$ 'larda alınan ölçümler sırasıyla, Şekil 147 - 152'de grafikler halinde gösterilmektedir.

B0'dan B10'a örneğine kadar 77 K'de tüm  $H_{maks}$ 'larda alınan ölçümler sırasıyla, Şekil 153 - 158'de grafikler halinde gösterilmektedir.

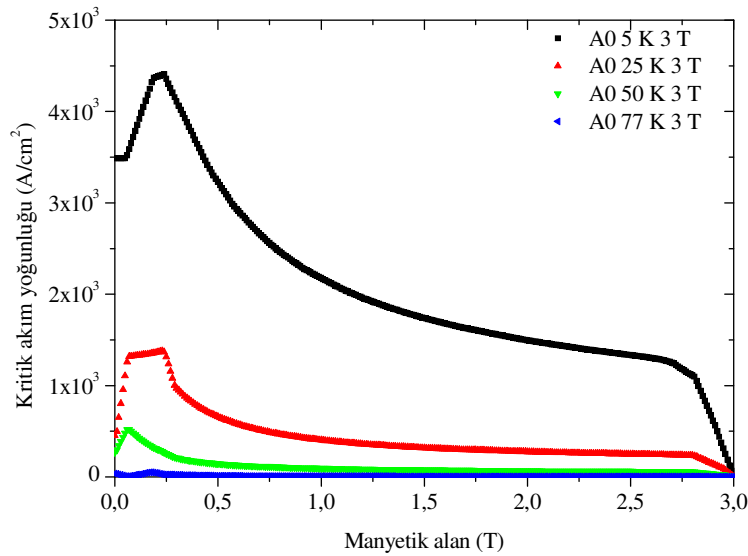
Aynı sıcaklık ve  $H_{maks}$ 'da tüm örneklerin ölçümlerinin karşılaştırılması 5 K için Şekil 159, 25 K için Şekil 160, 50 K için Şekil 161, 77 K ve  $H_{maks}=3$  T için Şekil 162, 77 K ve  $H_{maks}=0,6$  T için Şekil 163'de gösterilmektedir.

Ölçümler ve karşılaştırmalar yapılarak aşağıdaki sonuçlara elde edildi:

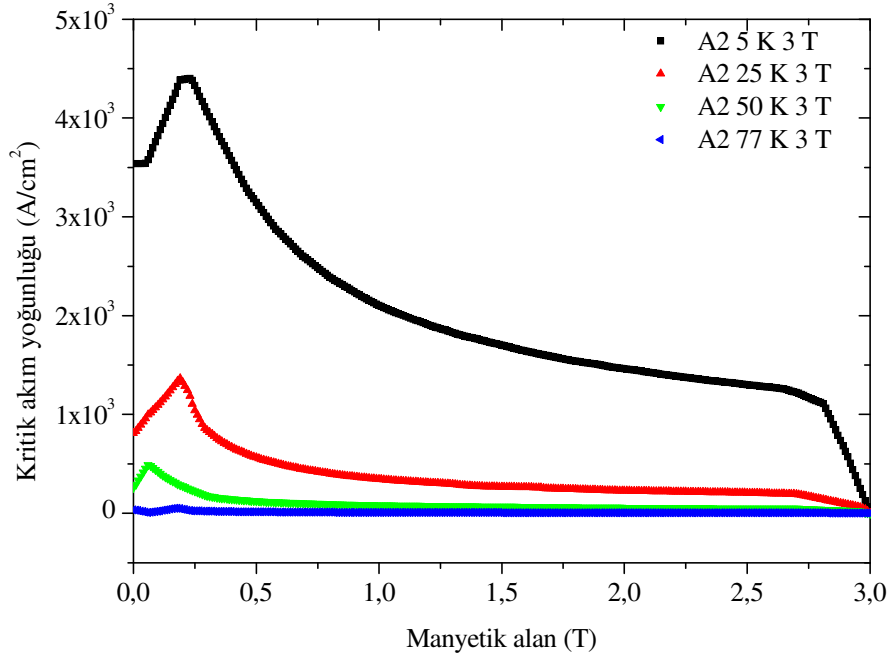
Manyetik alan artarken kritik akım yoğunluğu da belirli bir değere kadar artmakta ve daha yüksek manyetik alanlarda ise kritik akım yoğunluğu azalmaktadır. Teorikte ise sabit sıcaklıkta manyetik alan arttıkça kritik akım yoğunluğu azalmaktadır. Örneğin polikristal ve taneler arası etkileşimin zayıf olduğu durum göz önüne alınırsa, manyetik alanın belirli bir değere kadar artması taneler arası etkileşimi arttırmakta ve kritik akım yoğunluğunun artışına sebep olmaktadır. Bu sonuçtan dolayı bütün eğrilerde, küçük alanlarda bir yükseliş mevcuttur ve daha yüksek sıcaklıklarda ise yükselişin olduğu manyetik alan değeri azalmaktadır. Bunun yanında, katkı yaptığımız iyon, Y yerine değil de Ba atomu yerine geçmesi durumunda süperiletken olmayan birim hücre oluşturabilir. Murakami ve

arkadaşları Y123 yapısına Sm ve Nd katkısının Ba atomunun yerine geçtiğini görmüşlerdir (Murakami vd., 1994). Ba atomunun yerine geçerek oluşan hücre ise süperiletken olmayıp manyetik alan tutucu “pinning” merkezi oluşturarak kritik akım yoğunluğunun yükselmesine neden olabilir. Belirli bir manyetik alan değerine kadar “pinning” merkezi olarak davranan bu hücre kritik akım yoğunluğuna fazladan katkı sağlar. Daha yüksek alanlarda ise bu çivileme etkisi, alan tarafından oluşturulan akı sürüklenme kuvvetinden küçük olacağından dolayı çivileme merkezi yok olacaktır. Diğer taraftan, belirli değerin üzerindeki manyetik alanlarda ise taneler arası etkileşim azalmakta ve dolayısıyla kritik akım yoğunluğu azalmaktadır. Taneler arası etkileşimi arttıran manyetik alan aralığı ise sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

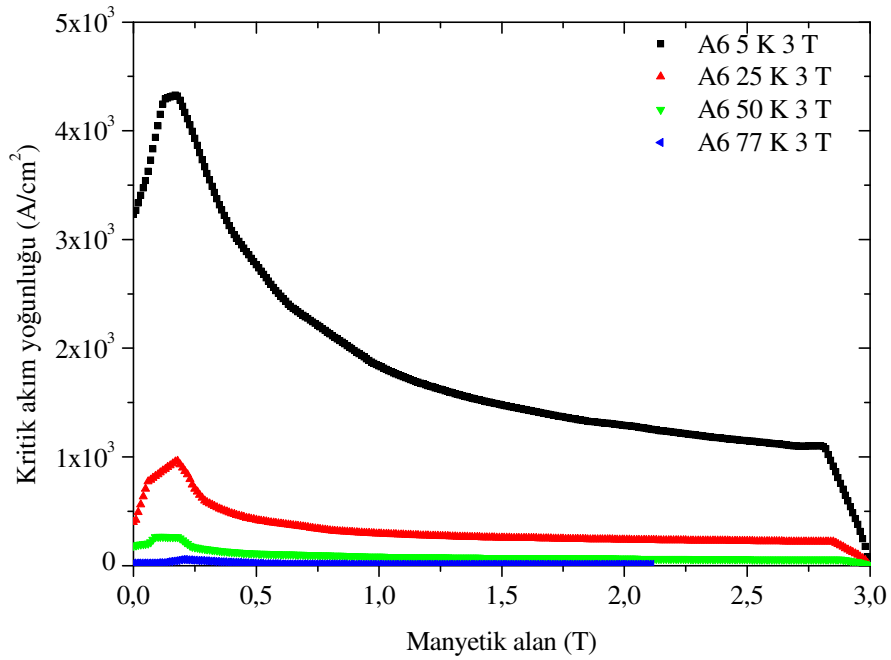
Literatürde, SmBaCuO tek kristal kristallenme merkezi olarak kullanıldıktan sonra katihal sinterlenme yöntemiyle elde edilen Yb123 tek kristal örneği için kritik akım yoğunluğu  $770 \text{ A/cm}^2$  (77 K ve 0 T) iken (Nagata vd., 1998), bu çalışmadaki üretilen B0 örneğinin (Yb123)  $J_c$  değeri ise  $400 \text{ A/cm}^2$  olarak hesaplandı. Kritik akım yoğunluklarındaki farkın, referanstaki örnek ile çalışmada üretilen örneklerin sinterlenme sıcaklıklarındaki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca aynı sıcaklık ve aynı örneğin farklı  $H_{\text{maks}}$  değerlerindeki kritik akım yoğunluklarının manyetik alana göre değişimi birbiriyle örtüşmektedir.



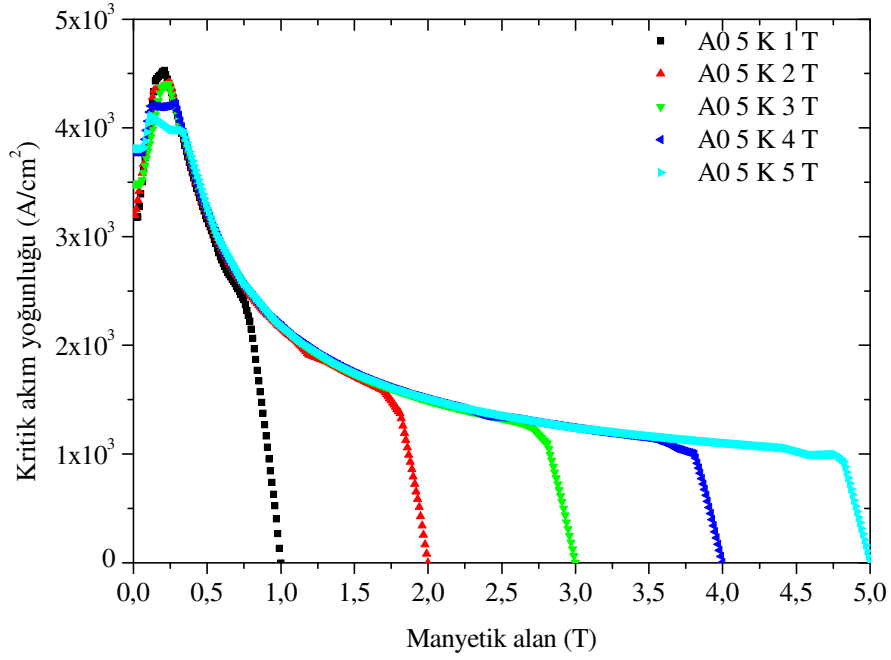
Şekil 127. A0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{\text{maks}}=3 \text{ T}$  alana kadar J-H grafikleri



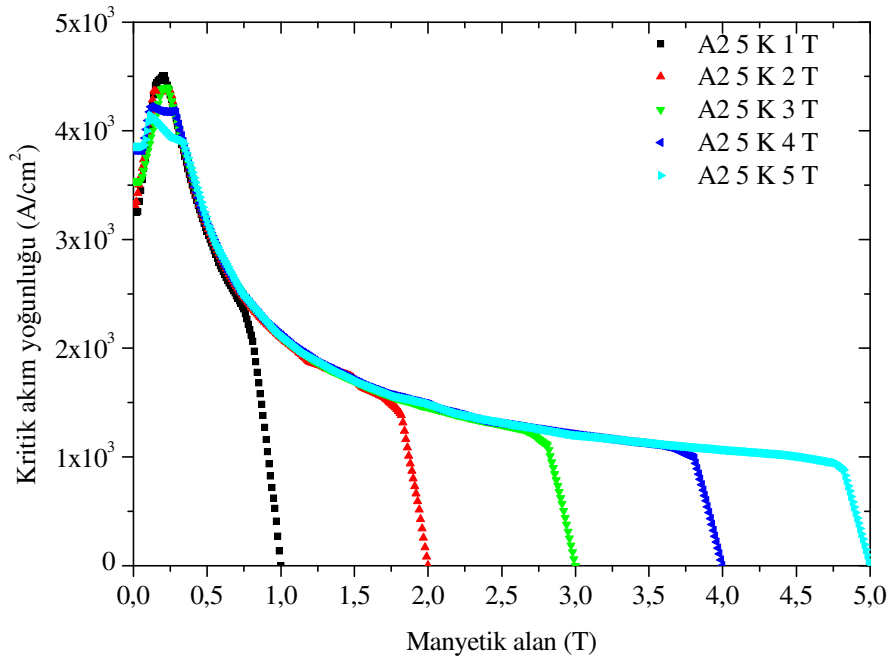
Şekil 128. A2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3$  T alana kadar J-H grafikleri



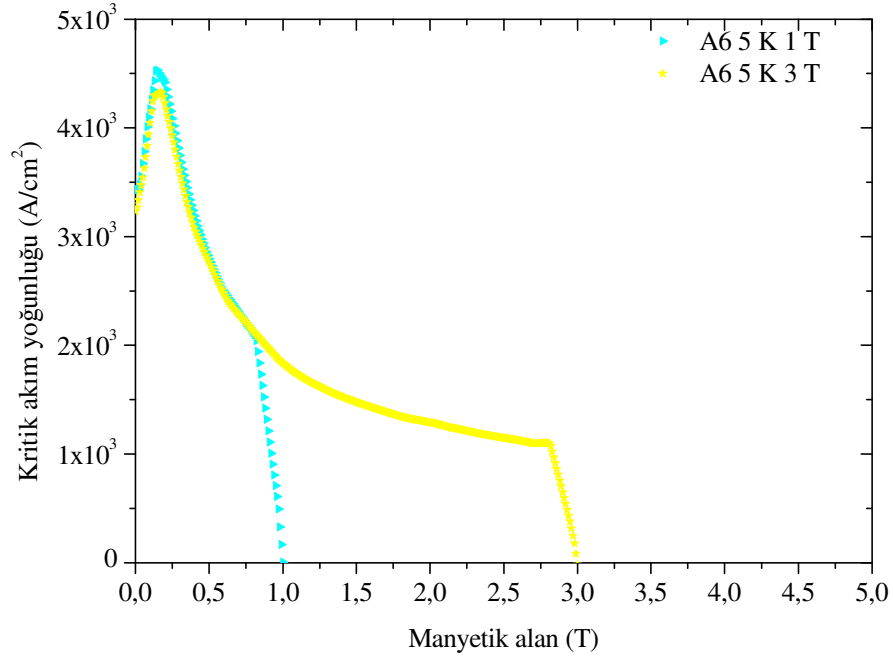
Şekil 129. A6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3$  T alana kadar J-H grafikleri



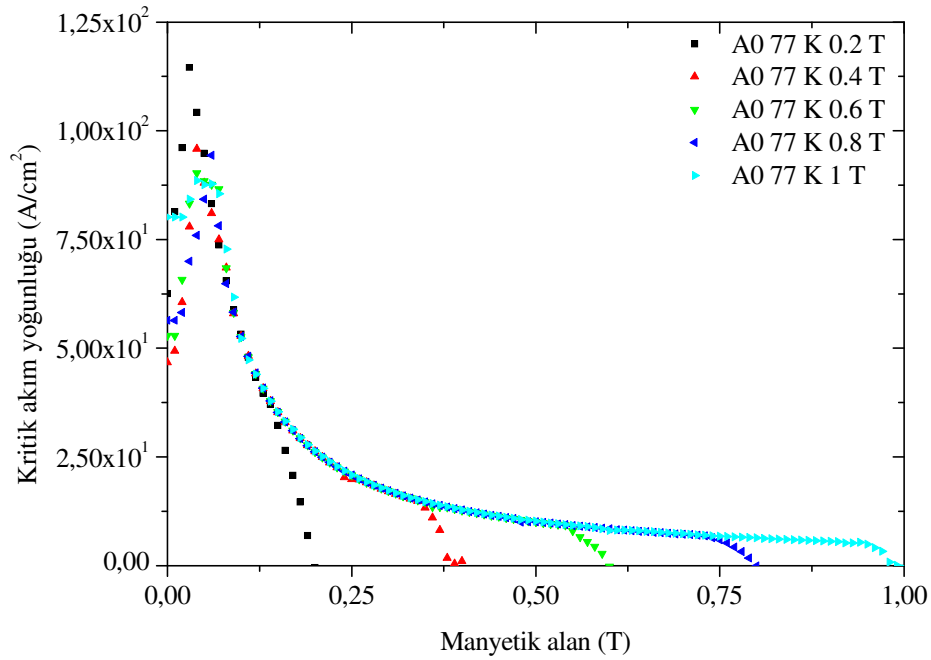
Şekil 130. A0 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri



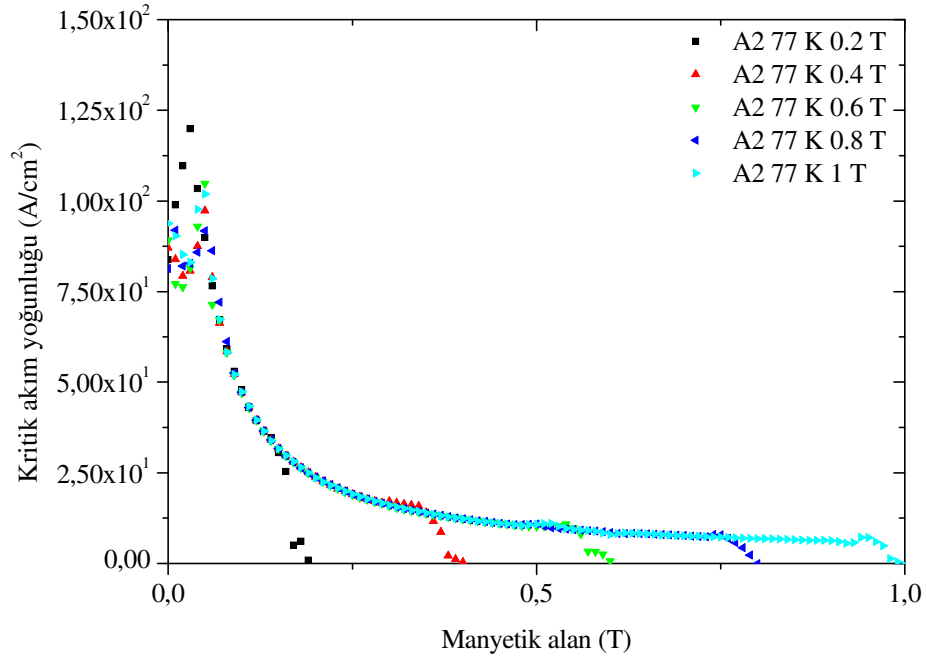
Şekil 131. A2 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri



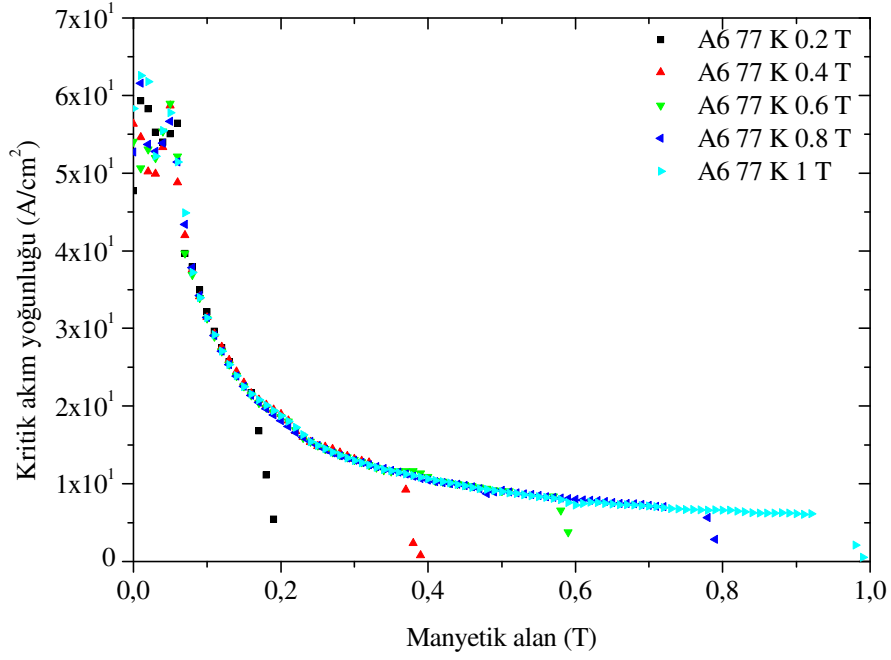
Şekil 132. A6 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1$  ve 3 T alana kadar J-H grafikleri



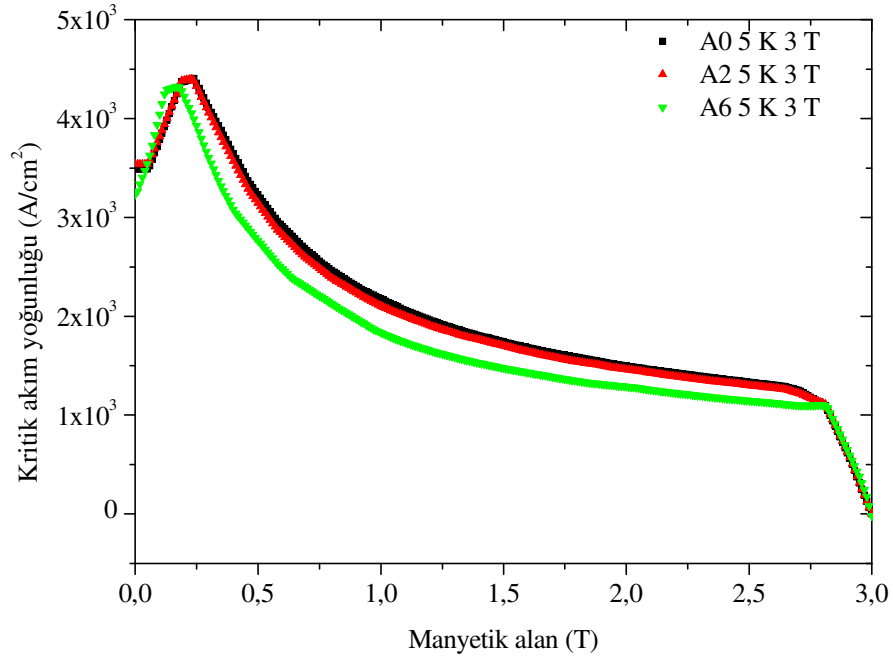
Şekil 133. A0 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



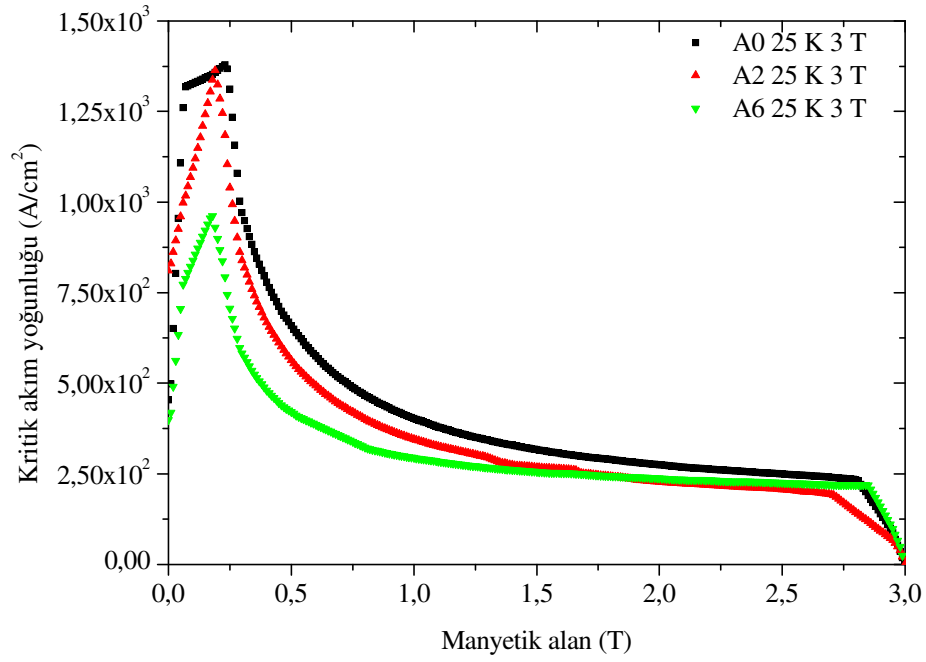
Şekil 134. A2 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



Şekil 135. A6 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri

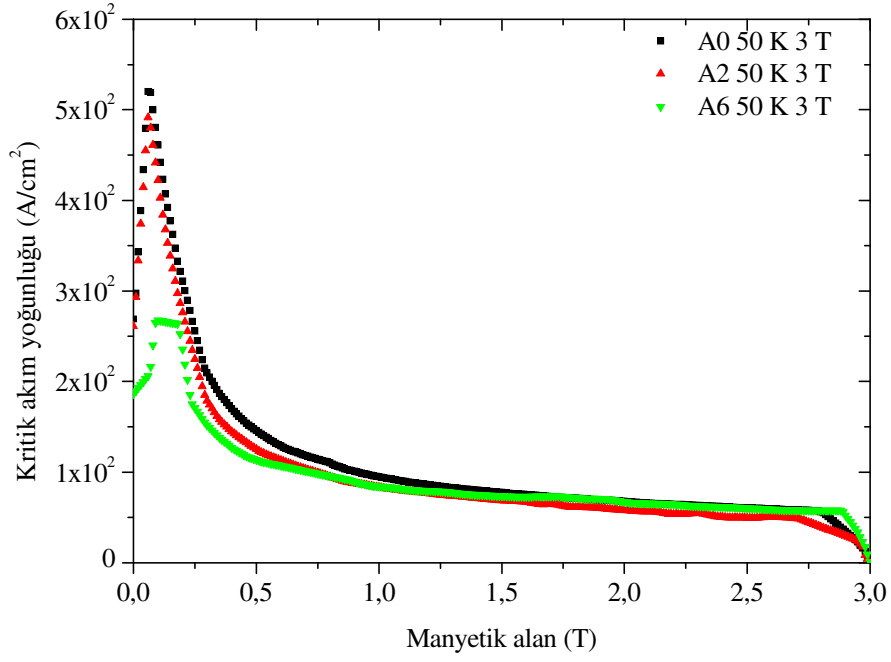


Şekil 136. 5 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri

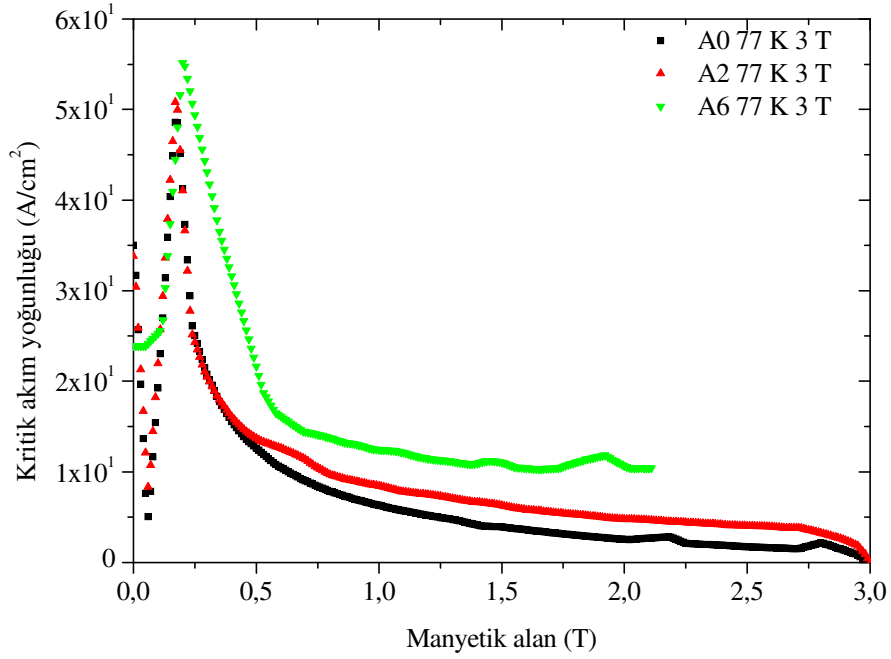


Şekil 137. 25 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri

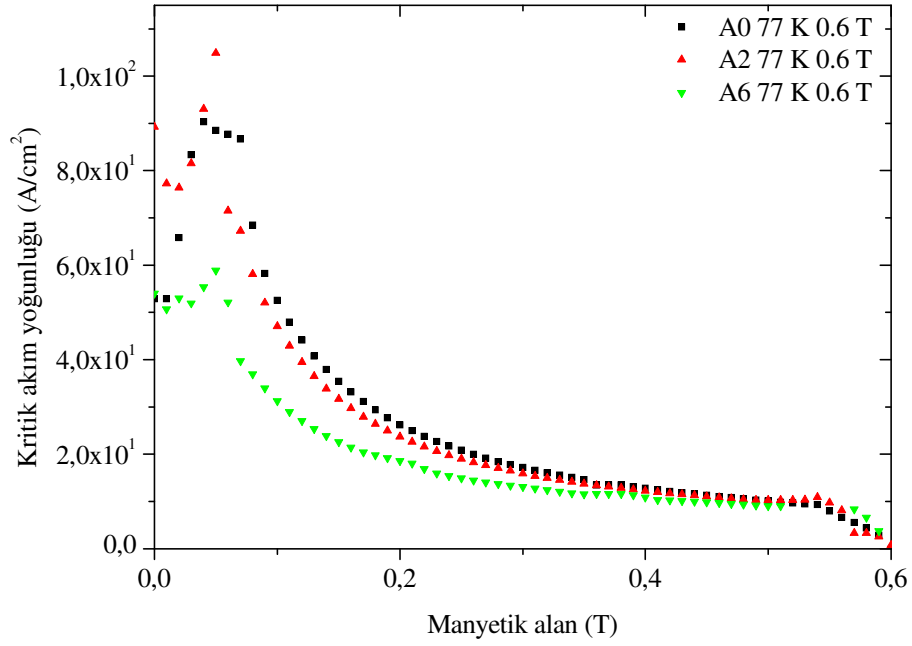




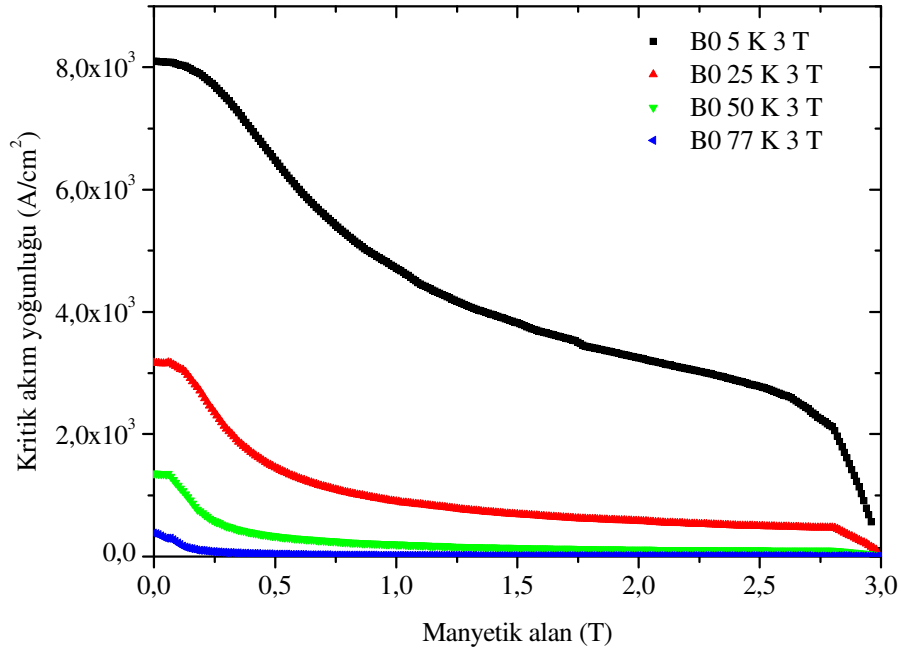
Şekil 138. 50 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri



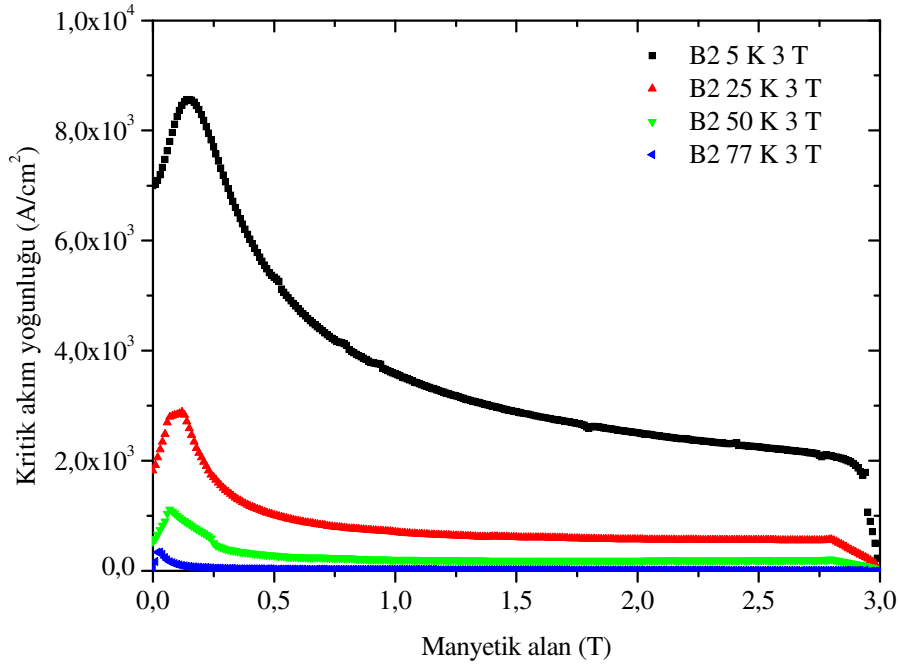
Şekil 139. 77 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri



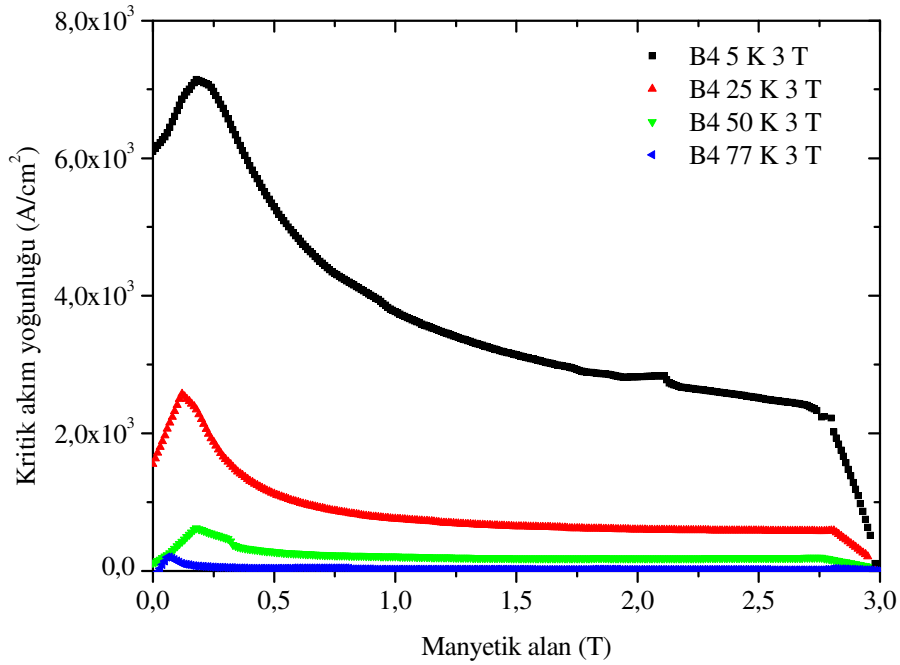
Şekil 140. 77 K'de  $H_{maks}=0,6$  T alana kadar A0, A2 ve A6 örneklerinin J-H grafikleri



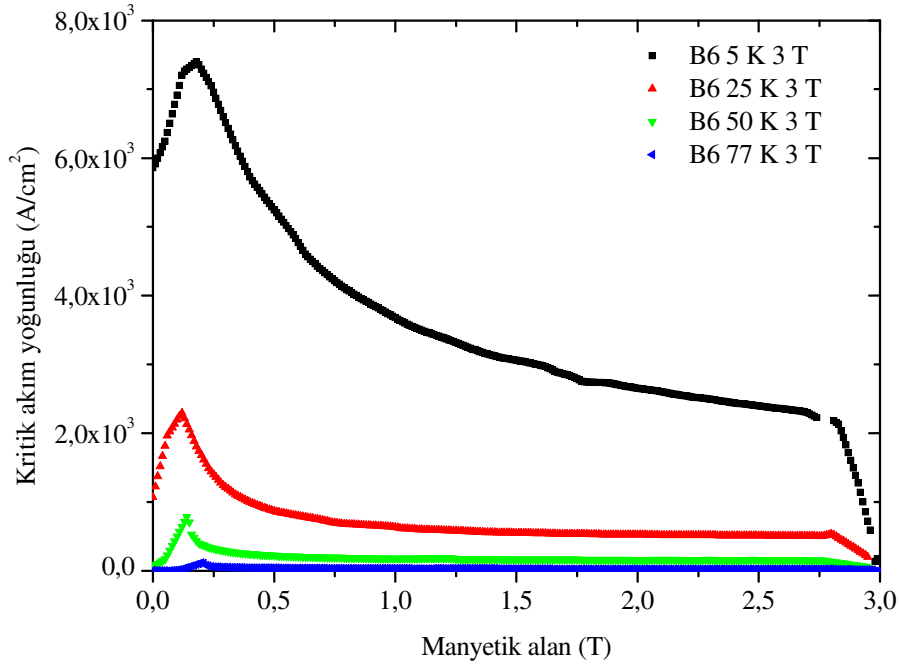
Şekil 141. B0 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3$  T alana kadar J-H grafikleri



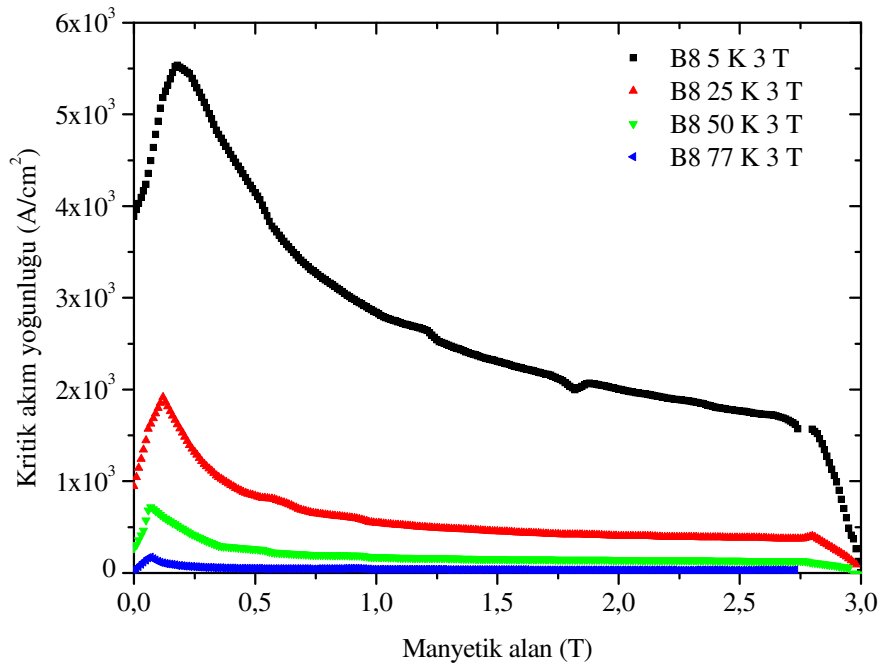
Şekil 142. B2 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3$  T alana kadar J-H grafikleri



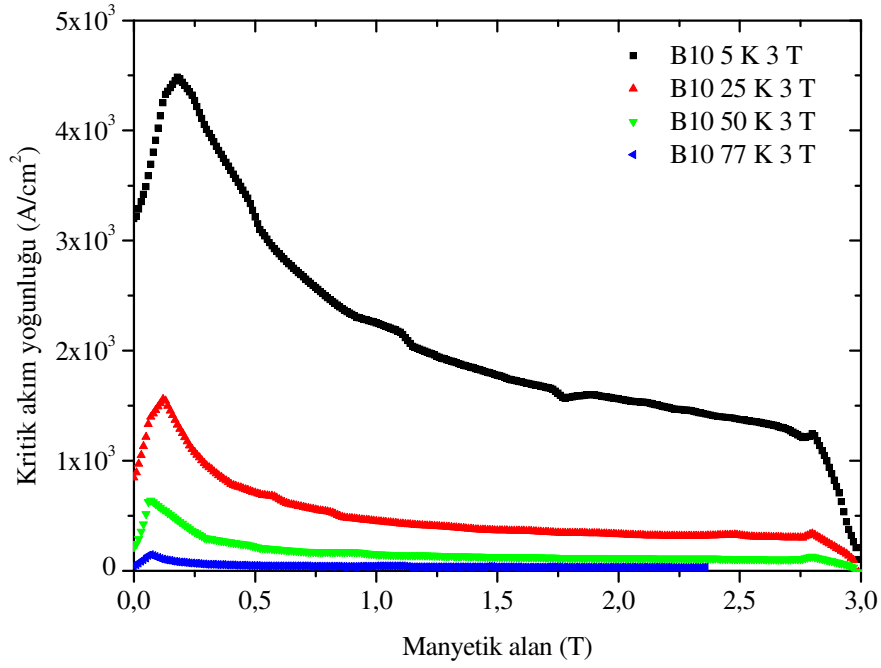
Şekil 143. B4 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3$  T alana kadar J-H grafikleri



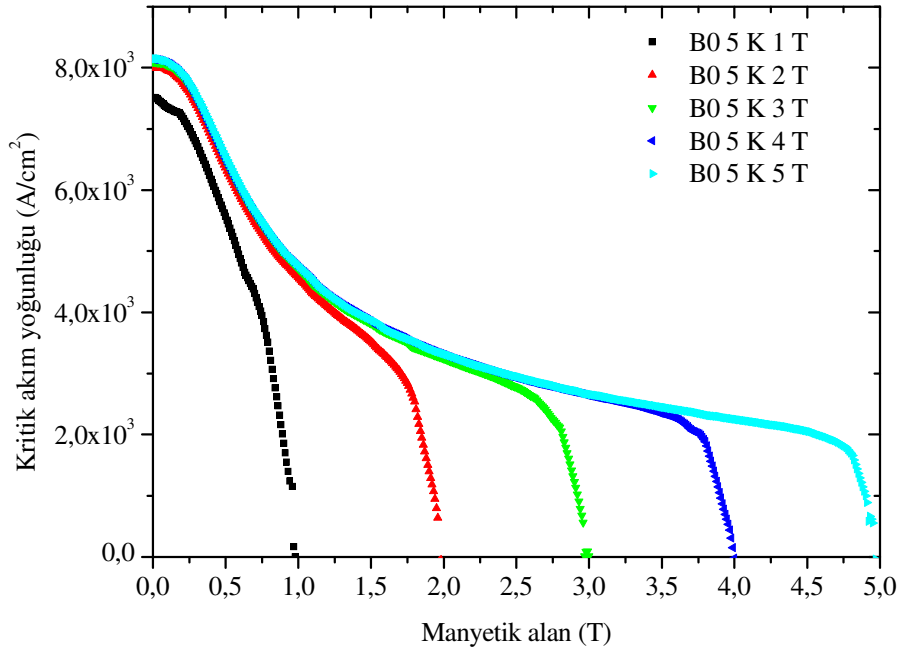
Şekil 144. B6 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3 T$  alana kadar J-H grafikleri



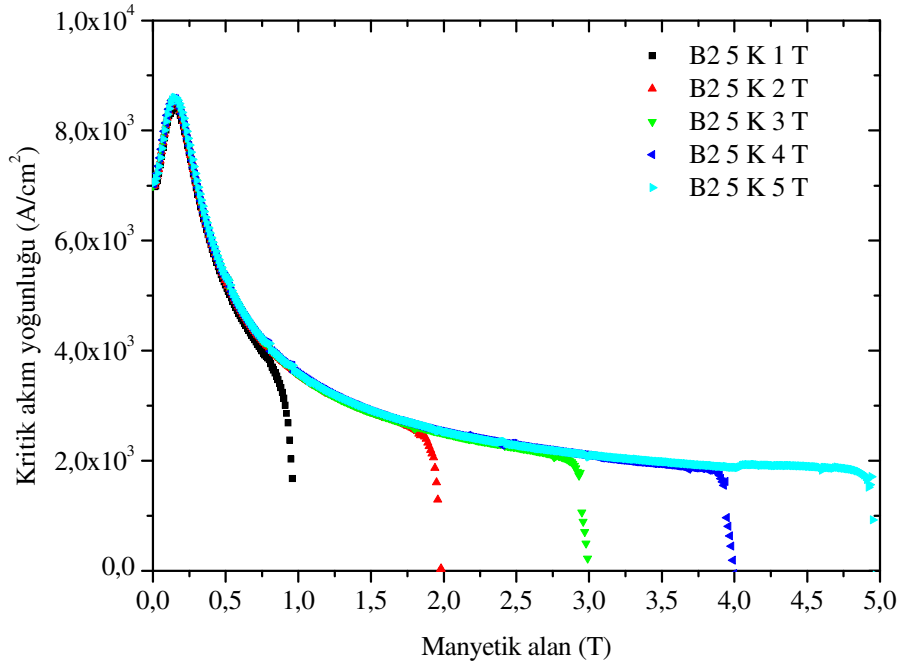
Şekil 145. B8 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3 T$  alana kadar J-H grafikleri



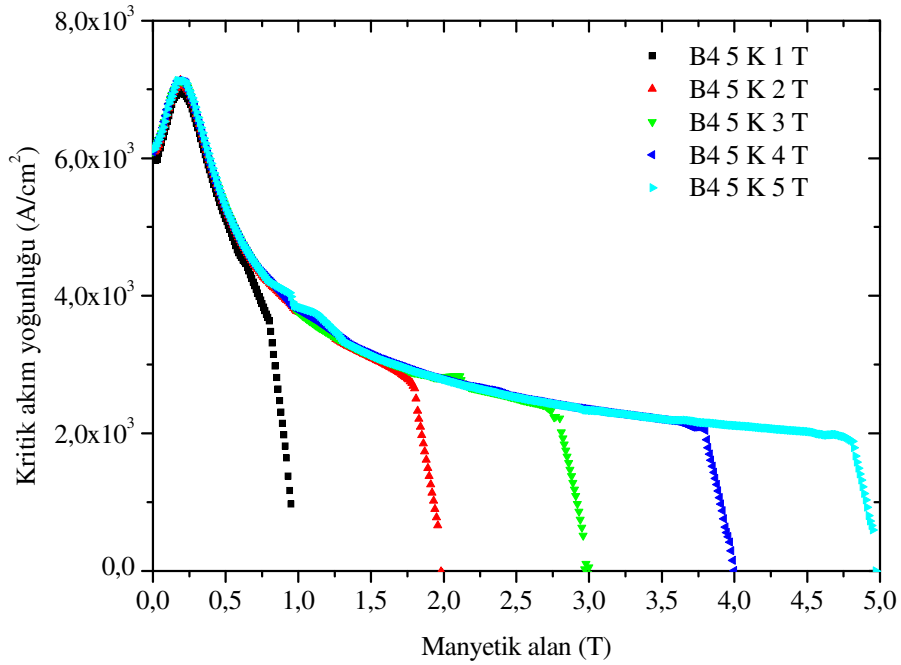
Şekil 146. B10 örneğinin 5, 25, 50 ve 77 K  $H_{maks}=3$  T alana kadar J-H grafikleri



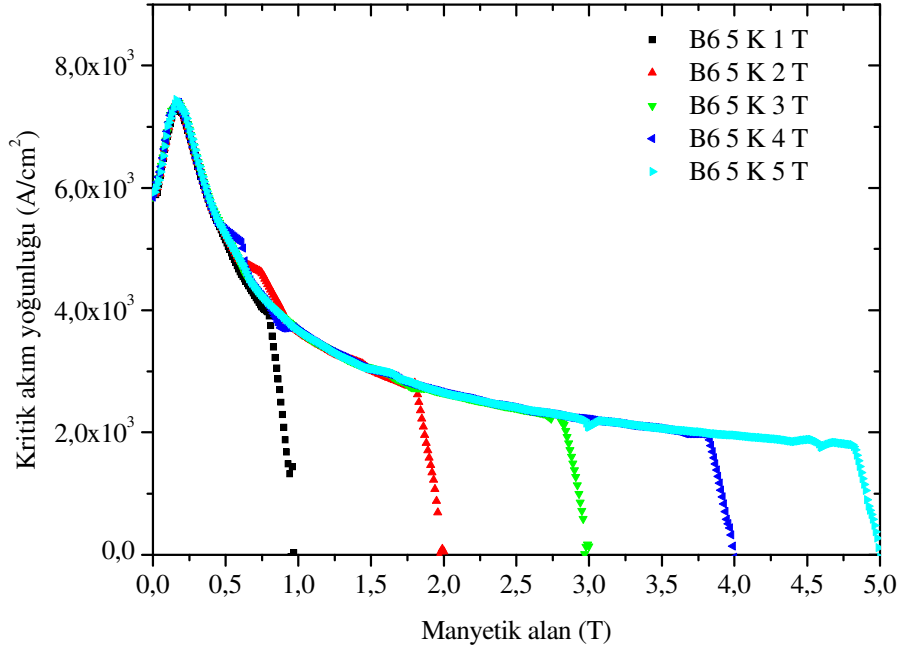
Şekil 147. B0 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri



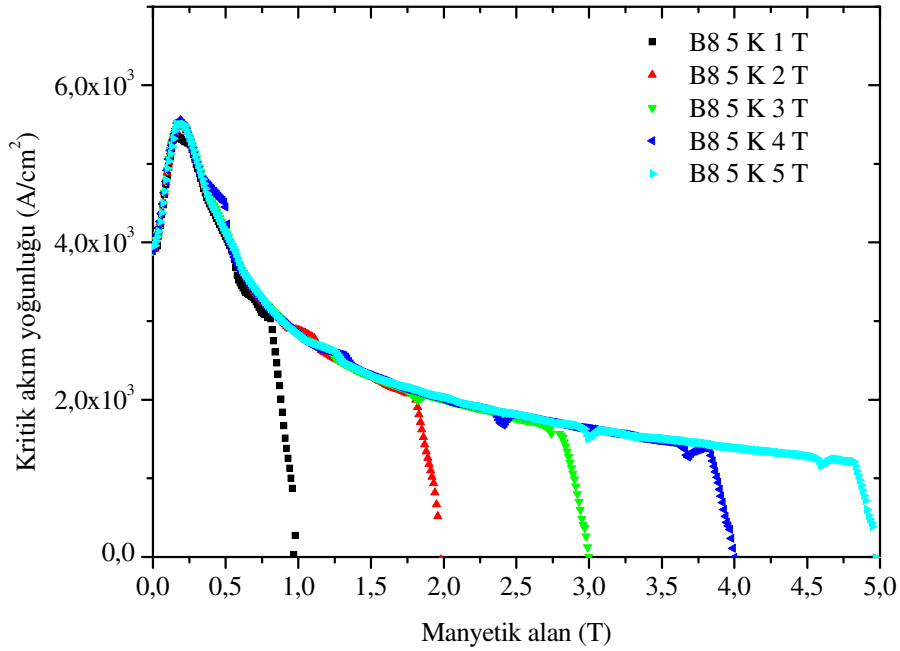
Şekil 148. B2 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri



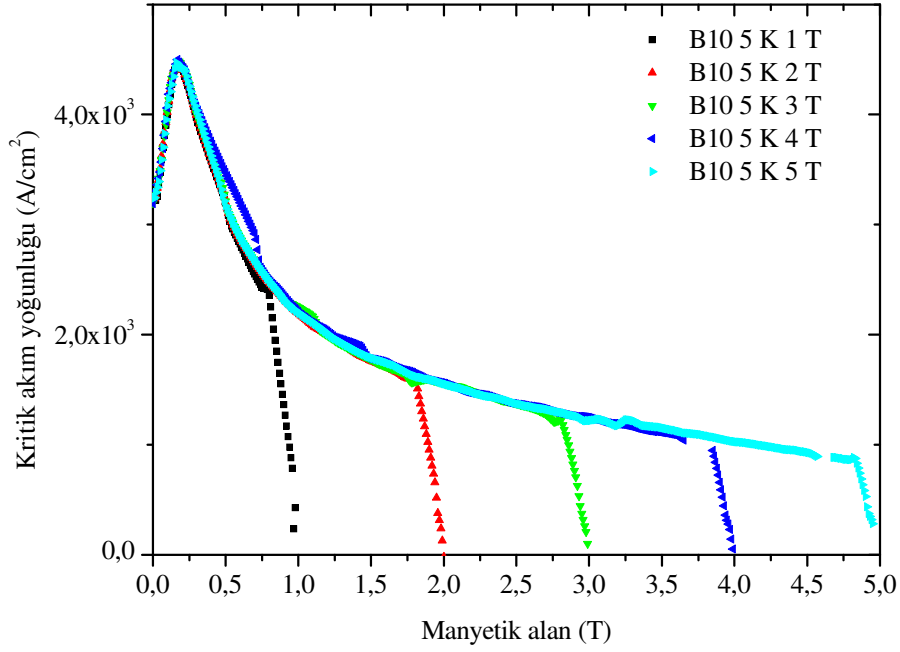
Şekil 149. B4 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri



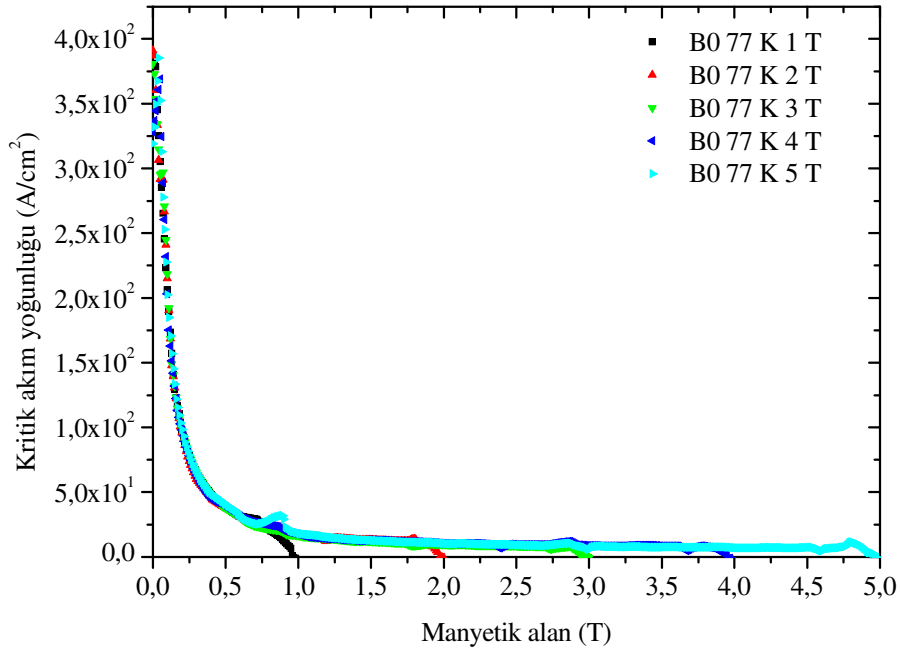
Şekil 150. B6 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri



Şekil 151. B8 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri

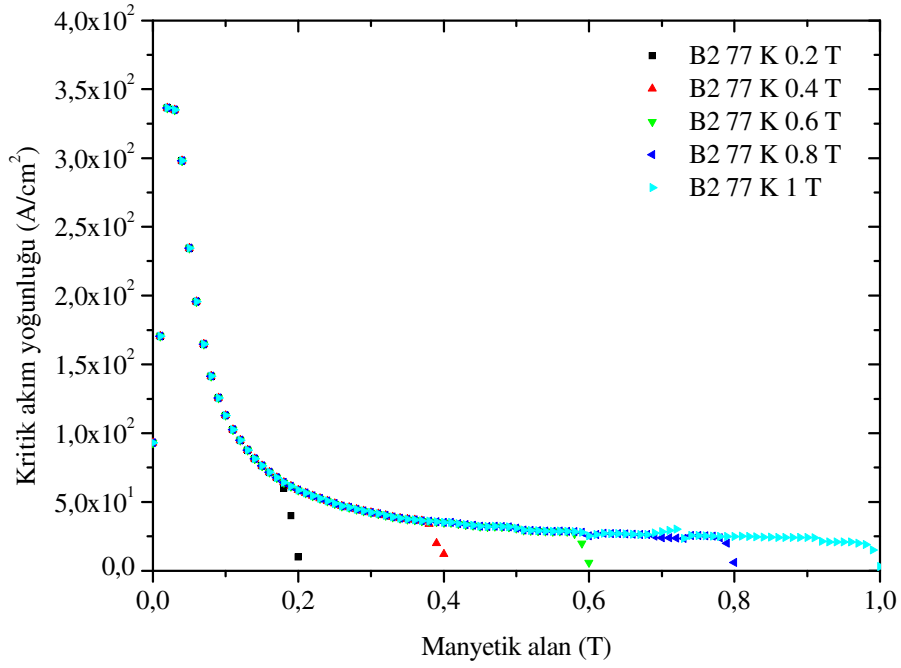


Şekil 152. B10 örneğinin 5 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri

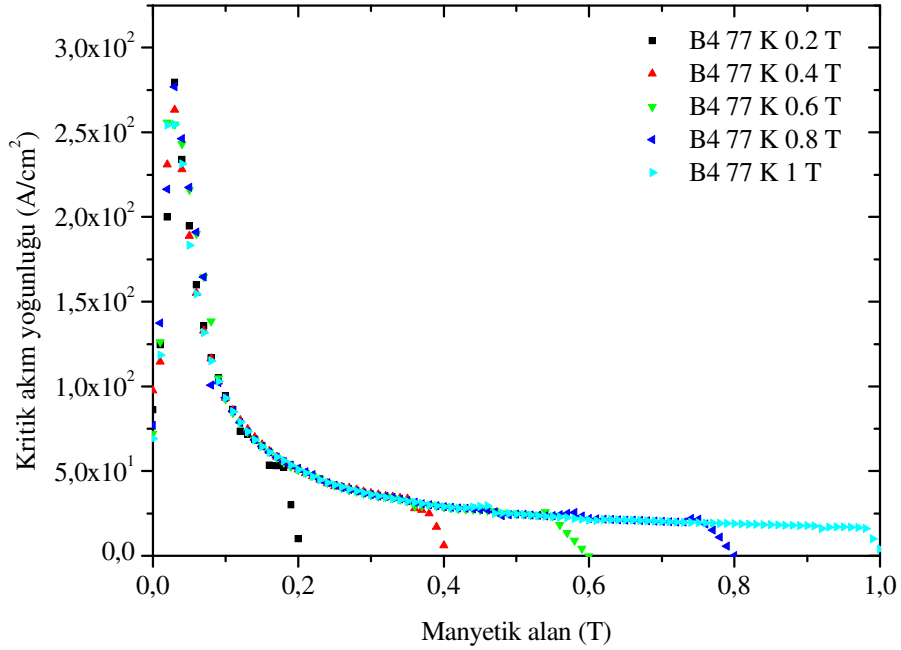


Şekil 153. B0 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=1, 2, 3, 4$  ve 5 T alana kadar J-H grafikleri

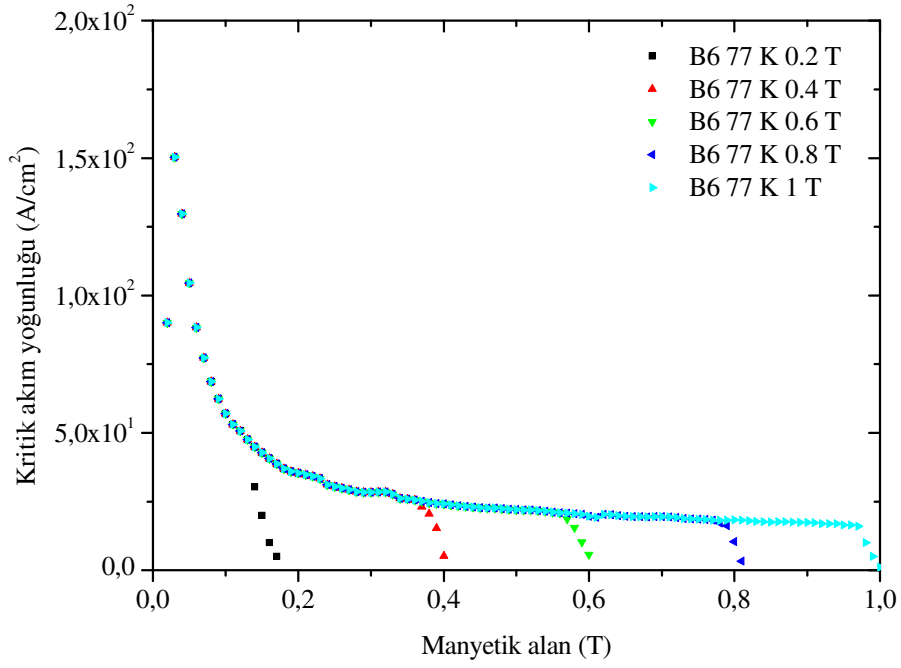




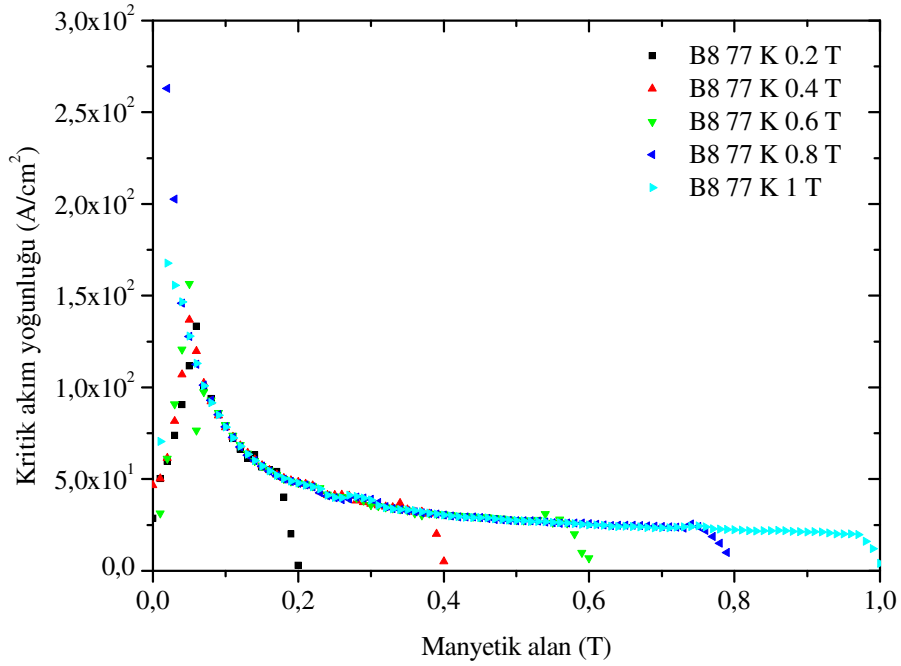
Şekil 154. B2 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



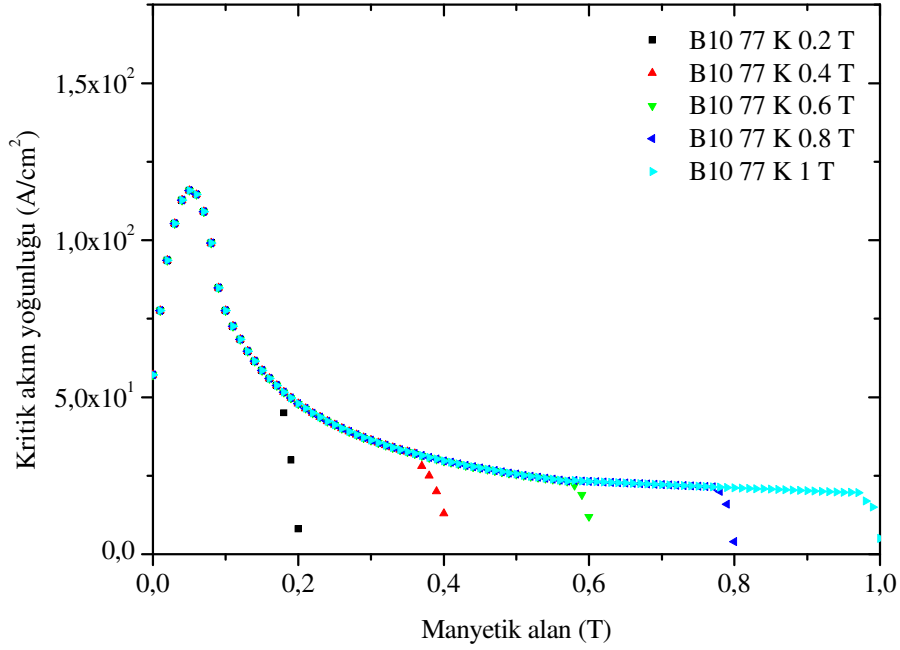
Şekil 155. B4 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



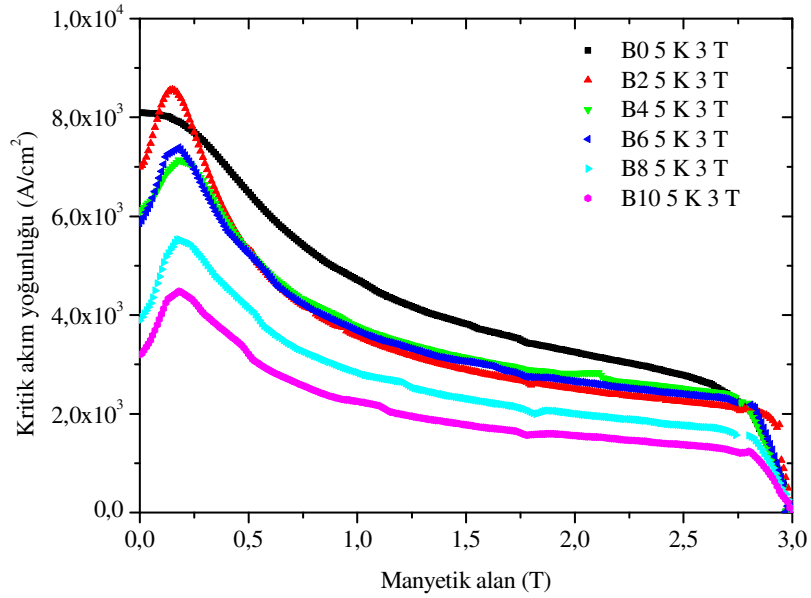
Şekil 156. B6 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



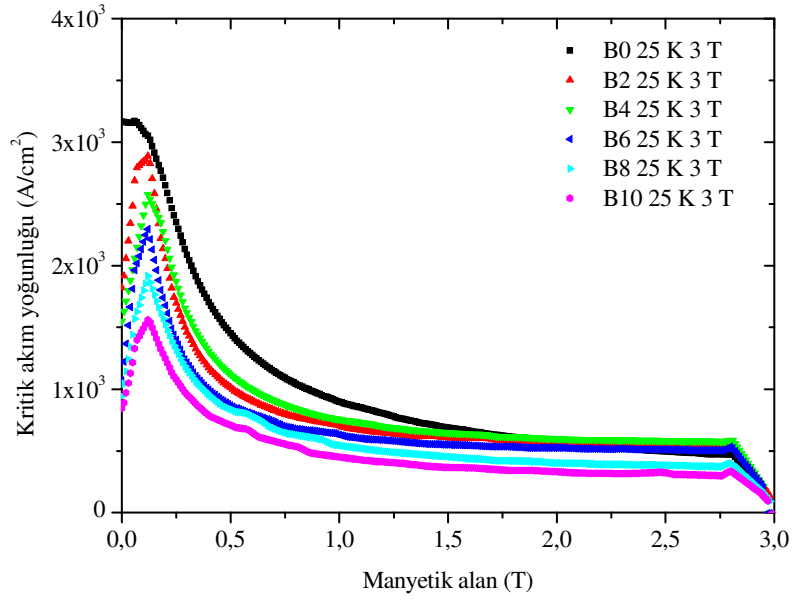
Şekil 157. B8 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



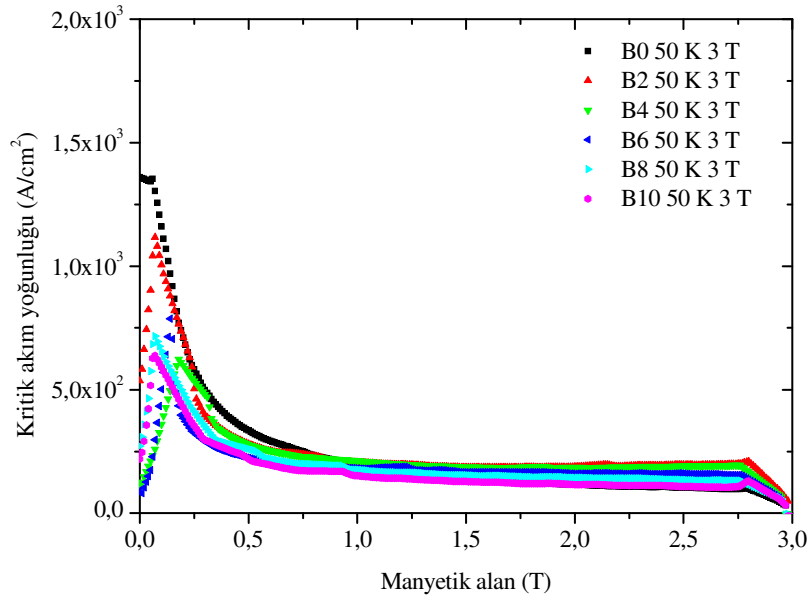
Şekil 158. B10 örneğinin 77 K'de  $H_{maks}=0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve 1 T alana kadar J-H grafikleri



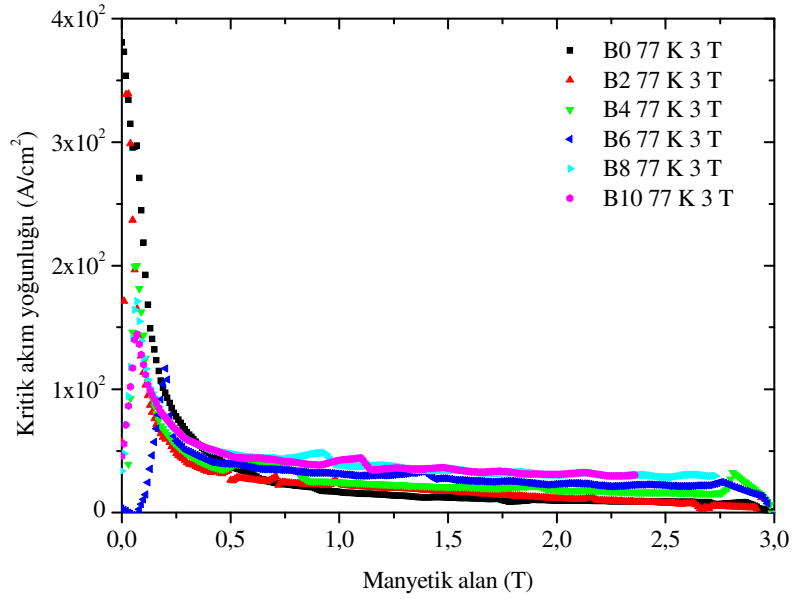
Şekil 159. 5 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri



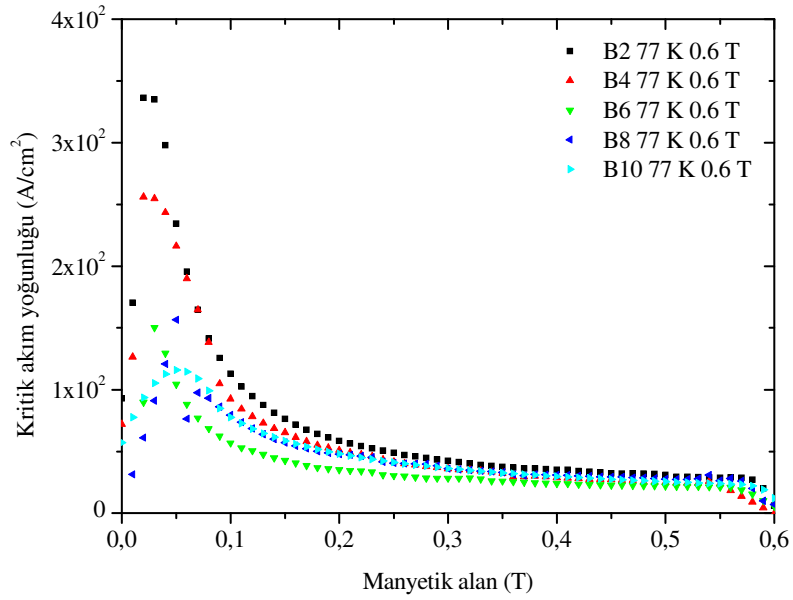
Şekil 160. 25 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri



Şekil 161. 50 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri



Şekil 162. 77 K'de  $H_{maks}=3$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri



Şekil 163. 77 K'de  $H_{maks}=0,6$  T alana kadar B0, B2, B4, B6, B8 ve B10 örneklerinin J-H grafikleri

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada üretilen iki seri örnekte Y123 yapısına yapılan katkıların üst kritik manyetik alana, tane içine girme kritik manyetik alana, aktivasyon enerjisine ve örgü parametrelerine etkileri incelendi. Yapılan katkıların iyonik yarıçaplarının Y atomunun iyonik yarıçapından farklı ( $r_{Yb}=0,858\text{Å}$ ,  $r_Y=0,900\text{Å}$  ve  $r_{Gd}=0,938\text{Å}$ ) olduğunda  $\text{CuO}_2$  düzlemleri arasındaki mesafeyi değiştirmekte olduğu ve bu değişikliğin bazı kritik parametreleri değiştirdiği gözlemlendi. Elde edilen ölçümler ve incelemeler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

1) I. seri örneklerde katkı oranı değiştikçe  $c$  örgü parametresi değişmektedir. Bu değişim ise katkıya göre orantısal değildir. Gd ve Yb atomlarının yapıya etkileri birbirlerine göre zıt ve farklı büyüklüktedir. Ayrıca katkı miktarına göre yapıdaki Y atomu oranı da değişmektedir. Bu değişim  $c$  örgü parametresini katkı miktarına göre orantısız değiştirmektedir.

2) I. seri örneklerde katkı miktarı değiştikçe mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik alan değeri, 83 T ile 113 T arasında değişmektedir. Bu değişim  $c$  örgü parametresinin değişimiyle orantılıdır.

3) I. seri örneklerde katkı miktarına göre aktivasyon enerjisindeki değişim  $c$  örgü parametresinin değişimiyle orantılıdır.

4) I. seri örneklerde sıfır katkılı (Y123) örneğin mutlak sıfır sıcaklıktaki üst kritik manyetik alanı 99 T iken,  $930\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sinterlenmiş Y123'ün mutlak sıfır sıcaklıktaki üst kritik manyetik alan değeri 120 T olarak verilmektedir. Bu çalışmadaki örnek ise  $890\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sinterlendi. Bu sıcaklığın seçilmesinin sebebi ise, tüm örneklerin sinterlenme sıcaklığının erime sıcaklığına ulaşmasını önlemektir. Ayrıca buradan sinterlenme sıcaklığının belirli bir değere kadar indirilmesi yapıdaki önemli parametrelerden biri olan üst kritik manyetik alan değerini azaltmaktadır.

5) II. seri örneklerde katkı miktarı değiştikçe  $c$  örgü parametresi orantısal olarak değişmektedir. Katkı 0,4 ve 0,6'larda  $c$  örgü parametresinden küçük sapmalar olmaktadır. Grafikten 0,5 değerindeki  $c$  örgü parametresi ara değer bulma yöntemiyle hesaplandığında, I. seride  $x=1,0$  katkısının  $c$  örgü parametresiyle uyum halinde olduğu görülmektedir. Bu uyum mutlak sıfır sıcaklığındaki üst kritik manyetik alan değerinde de görülmektedir. Bu sonuç, her iki grubun üretim şartlarının aynı olduğu göstermektedir.

6) II. seri örneklerde üst kritik manyetik alan değeri 73,7 T – 184,6 T arasında değişmektedir. Bu değişim yapıdaki Yb ve Gd oranından kaynaklandığı düşünülmektedir.

7) II. seri örneklerde  $x=0,0, 0,2$  ve  $0,4$  katkılarında oran arttıkça  $c$  örgü parametreleri artmakta fakat mutlak sıfır sıcaklıktaki üst kritik manyetik alan değerleri ise azalmaktadır.  $x=0,6$  ve daha yüksek katkılarda ise  $c$  örgü parametreleri arttıkça üst kritik manyetik alan değerleri artmaktadır.

8) II. seri örneklerde katkı arttıkça aktivasyon enerjileri azalmaktadır.

9) B6 örneğinde üst kritik manyetik alan değeri, en düşük değerde ve tane içi kritik manyetik alan değeriyle üst kritik manyetik alan değeri birbirlerine hayli yakındır. Dolayısıyla B6 örneğinde, süperiletken halde çok küçük manyetik alan dahi tane içine girebilmektedir.

10) I. seri örneklerin manyetizasyon ölçümlerinden elde edilen sonuçlar:

a) Katkı miktarı arttıkça, örnek diamanyetik özellikten paramanyetik özelliğe dönüşmektedir. Bu değişimin kaynağı, yapıda Gadolonyum atomunun artması ve süperiletken yapıya paramanyetik özellik katmasıdır

b) Aynı manyetik alanda, aynı örneğin sıcaklığı arttıkça manyetizasyon ilmeğindeki  $\Delta M$  değeri azalmaktadır.

c) Aynı sıcaklık ve manyetik alandaki örneklerin  $\Delta M$  değerlerindeki değişim kısmi de olsa  $c$  örgü parametresine göre doğru orantılı bir değişim sergilemektedir.

d) Sıcaklık azaldıkça aynı örneğin manyetizasyon ölçümlerinden paramanyetik özelliğinin arttığı görüldü.

e) Aynı örneğin aynı sıcaklıkta farklı  $H_{maks}$ 'larda manyetizasyonları karşılaştırıldığında, M-H ilmekleri birbirini tamamlamaktadır.

11) II. seri örneklerin manyetizasyon ölçümlerinden elde edilen sonuçlar:

a) Gd atomu artışından dolayı katkı miktarı arttıkça yapıda paramanyetik özellik daha baskın olmaktadır.

b) Aynı örneğin aynı manyetik alandaki  $\Delta M$  değeri, sıcaklık arttıkça azalmaktadır.

c) Aynı sıcaklık ve aynı manyetik alandaki örneklerin  $\Delta M$  değerleri, hemen hemen  $c$  örgü parametresine göre değişmektedir.

d) Aynı sıcaklık ve aynı manyetik alan altında katkıya göre paramanyetikliğin artışının,  $c$  örgü parametresinden farklılık göstermekte olup, hemen hemen katkıyla değişimi doğru orantılı olduğu görülmektedir.

e) Ayrıca ikinci seri örneklerden B0 örneği tamamen Yb123 olmasına rağmen, az da olsa yapıda paramanyetik özellik mevcuttur. Bu özellik, 50 ve 77 K sıcaklıklarında daha da baskındır.

f) M-H ilmeklerinde belirli bir manyetik alan değerine kadar  $\Delta M$  değeri artmakta ve bir tepe değerinden sonra manyetik alan arttıkça  $\Delta M$  değeri düşmektedir. Bunun nedeni olarak yapı içindeki taneler arası süperiletkenlik etkileşiminin zayıf olduğu ve düşük manyetik alanın ise bu etkileşimi arttırdığı düşünülmektedir. Manyetik alan değeri daha yüksek olduğu durumlarda ise, alan taneler arası süperiletkenlik etkileşimi ortadan kaldırmaktadır. Bu durum I. seri örneklerde de mevcut olup, kritik akım yoğunluğunda daha net görülmektedir.

g) Aynı örneğin aynı sıcaklıkta farklı  $H_{maks}$ 'larda manyetizasyonları karşılaştırıldığında, M-H ilmekleri birbirini tamamlamaktadır.

12) Kritik akım yoğunluğu, manyetik alan artarken belirli bir alan değerine kadar yükselmekte ve daha yüksek alanlarda ise düşmektedir. Kritik akım yoğunluğunun en yüksek olduğu manyetik alan değeri ise sıcaklık arttıkça azalmaktadır.



## 5. ÖNERİLER

Bu çalışmada,  $Y_{1-x}Yb_{x/2}Gd_{x/2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  ve  $Yb_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  iki seri örneklerinde  $x$ 'in katkısının ( $x=0,0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  ve  $1,0$ ) süperiletkenliğe etkileri çalışıldı. Bu çalışma sonucunda yapı içinde  $c$  örgü parametrelerinin kritik parametrelere etkileri ve katkıya göre  $c$  örgü parametresinin değişimi incelendi. Örgü parametresi  $c$ 'nin katkıya göre değişmeyip katkı yapılan atomların iyonik yarıçaplarına göre değiştiği görüldü. Bunun yanında, seride kalsinasyon ve sinterlenme sıcaklığının tayini serilerdeki en düşük erime sıcaklığından  $5^\circ$  daha düşük sıcaklık seçildi.

Dolayısıyla, bu çalışmanın devamı olarak da:

a) Katkı miktarı daha küçük değerlerde değiştirilerek, yukarıda anlatılan etkiler daha da net incelenebilir.

b) Katkıda  $Y_{1-x}Yb_{x(1-z)}Gd_{xz}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  şeklinde  $x$  ve  $z$  katkı miktarları incelenerek seri örnekler oluşturulabilir. Bu durumda her  $x$  katkısı için  $z$  katkıları oluşturulabilir ve  $x$  katkısına göre  $c$  parametresi doğrusal olarak değişen  $z$  katkı değerleri tayin edilebilir. Böylece bu  $z$  katkı değerlerinden  $Yb$  ve  $Gd$  atomlarının  $c$ 'ye etkileri de incelenebilir. Bunun yanında  $c$  örgü parametresi ile  $x$  katkı miktarı birbiriyle orantısallık sağlandığı her  $x$  katkısı için en uygun  $z$  katkısı elde edilebilir. Böylece diğer karakteristik özellikler de katkıyla orantılı oluşacak ve istenilen özelliğe sahip örnekler  $x$  ve  $z$  katkı değerleriyle elde edilmesi mümkün olabilir. Orantısallık sağlandıktan sonra ise istenilen üst kritik manyetik alana veya kritik akım yoğunluğuna sahip örneklerin tayini  $x$  ve  $z$  katkılarında hesaplanarak bulunabilir.

c) Kalsinasyon ve sinterlenmede birden çok sıcaklık tayin edilerek kalsinasyon ve sinterlenme sıcaklıklarının yapıya dolayısıyla süperiletkenliğe etkileri de çalışılabilir.

d) Örnek üretiminde sinterlenme sıcaklığı ve zaman değerleri değiştirilerek en uygun parametreler değiştirilebilir.

e) Benzer katkılar yapıp, kristal tekniği kullanılarak süperiletken özellikler incelenebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abrikosov, A.A., 1957. *J. Experim. Theoret. Phys. (USSR)*, 32, 1442, (translation: Soviet Phys., JETP, 5, 1174.).
- Anderson, P.W., 1962. Theory of flux creep in hard superconductors, *Phys. Rev. Lett.*, 9, 7, 309.
- Asokan K. ve Rao. K. V. R., 1999. Ni and Fe dopant sites in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  identified by XPS. *Phys. Status Solidi B*, 215, 591–596.
- Athur, S.P., Putman, P., Balachandran, U., Salama, K., 1998. Phase Formation and Melt-Processing of Yb-123, *J. Supercond.*, 11, 525.
- Awad, R., Aly, N. S., Ibrahim, I. H., Abou-Aly, A. I., Saad, A. I., 2001. Effect of magnetic field on electrical resistance of Tl-1223 doped by Zn and Ni. *Physica B*, 307, 72-77.
- Bardeen, J., Cooper, L.N. ve Schrieffer, J., 1957. Theory of Superconductivity, *Phys. Rev.*, 108, 1175-1204.
- Barns R. L. and Laudise R. A.. 1987. Stability of superconducting  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  in the presence of water. *App. Phys. Lett.*, 51, 1373–1375.
- Bean, C.P., 1962. Magnetization of hard superconductors, *Phys. Rev. Lett.*, 250.
- Bean, C.P., 1964. Magnetization of high-field superconductors, *Rev. Mod. Phys.*, 31.
- Bednorz, J.G. ve Müller, K.A., 1986. Possible High  $T_c$  Superconductivity in The Ba-La-Cu-O system, *Z. Phys. B, Condensed Matter*, 64, 189-193.
- Bock, J., Elschner, S., Herrmann, P.F., ve Rudolf. B., 1995. Centrifugal casting of BSCCO 2212 form parts and their first applications. *Appl. Supercond.*, 148, 67–72.
- Bolat, S., 2003.  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Re}_x\text{O}_y$  ( $x=0, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$  ve  $\text{Re}=\text{Yb, Sm, Nd}$ ) Süperiletkenlerinin Yapısal ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon.
- Buchel, W., 1991. Superconductivity Fundamentals and Application of Superconductivity, Plenum, New York.
- Campbell, A.M., 1982. A general treatment of AC losses in multifilamentary superconductors, *Cryogenics*, 3-16.
- Caneiro, A., Bonat, M., Fouletier, J., 1981. Measurement and regulation of oxygen content in selected gases using solid electrolyte cells. IV. Accurate preparation of  $\text{CO}_2$ -CO and  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{H}_2$  mixtures. *J. Appl. Electrochem.*, 11, 83.

- Cardwell, D. A., 1998. Processing and properties of large grain (RE)BCO. Mater. Sci. Eng. **B**, 53, 1–10.
- Chen, D.X., ve Goldfarb, R.B., 1989. Kim model for magnetization of type-II superconductors. J. Appl. Phys., 66, 2499.
- Chu, C.W., Bechtold, J., Gao, L., Hor, P.H., Huang, Z.J., Meng, R.L., Sun, Y.Y., Wang, Y.O. ve Hue, Y.Y., 1988. Three Phases in BiSrCaCuO Thin Films Synthesized by the Multilayer Deposition Method. Physical Rev. Lett., 60, 10, 941-946.
- Conder K, 2001. Oxygen Difussion in the Superconductors of the YBaCuO Family: Isotope Exchange Measurement and Model, Material Science and Engineering, 32, 41-102.
- Cyrot, M., ve Pavuna, D., 1992. Introduction to Superconductivity and High-Tc materials, World Scientific.
- Delamare, M.P., Walterm, H., Bringmann, B., Leenders, A., Freyhardt, H.C., 2000. Influence of the seed distance on the microstructure and the superconducting properties of grain boundaries in a multi-seeded melt growth monolith. Physica C, 329, 160.
- Díez, J. C., Angurel, L. A., Miao, H., Fernández, J. M. ve de la Fuente, G. F. 1998. Processing of textured BSCCO superconductors by laserinduced directional solidification. Supercond. Sci. Technol., 11, 101–106.
- Dzhafarov, T.D., Altunbaş, M., Varilci, A. ve Küçükömeroğlu, T., 1996. The Effect of Au Diffusion on Structural and Superconducting Properties of YBaCuO, Materials Lett., 25, 81-86.
- El Ali, A., Azez, K.A., Al-Omari, I.A., Shobaki, J., Hasan, M.K., Albiss, B.A., Khasawneh, Kh., Ziq, Kh. A., Salem, A.F., 2002. The paramagnetic controbution in magnetization behaviour of  $Y_{1-x}Gd_xBa_2Cu_3O_7$ , Physica B, 321, 320-323.
- Feibert, Gao, F.,G., McCall, Shepard, S. ve Crow J. E., 1996. Effects of Pr and Tb and Zn doping into  $YBa_2Cu_3O_7$  on magnetoresistivity and magnetic phase boundaries. J. Appl. Phys., 76, 5876–5878.
- Fujimoto, H., 2000. Technical issues of a high-Tc superconducting bulk magnet, Supercond. Sci. Technol., 13, 6, 827-829.
- Ginsberg D. M., 1994. Physical properties of high temperature superconductors, IV, World Scientific, Singapore.
- Ginzburg, V.L. ve Kirzhnits, D.A., 1982. High Temperature Superconductivity, New York ve London, Consultants Bureau.
- Ginzburg, V.L., and Landau, L.D., 1950. On the theory of superconductivity, Zhurnal Experimentalnoi i Teoreticheskoi Fisiki, 20, 1064, (Rusça)

- González, M. T. , 2003. On the electrical transport properties of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Superconductors textured by top seeded melt growth, Ph.D. Thesis, Física Pola Universidade de Santiago de Compostela.
- González. M. T., 1998. Medida de curvas características voltaje-intensidad, a muy bajos campos magnéticos, en muestras granulares de óxidos de cobre superconductores. Master's thesis, Universidade de Santiago de Compostela.
- Goto, T., Muira, T., Hayashi, T., 1997. Oxygen controlled melt growth of filamentary Nd123 oxide superconductor by solution spinning method. Jpn. J. Appl. Phys., 36, 909.
- Goto, T., Watanabe, K., Ban, E., 2003. Critical current density for melt-processed filamentary monolithic RE123 (RE=Nd, Sm, Eu, Gd) superconductors. Physica C., 388-389, 409-410.
- Hagen, C.W., Griessen, R., 1989. Distribution of activation energies for thermally activated flux motion in high-Tc superconductors: An inversion scheme. Phys. Rev. Lett., 62, 2857.
- Hughes, T., Yang, Y., Bednuz, C., and Power, A., 1997. Self-field AC loss of assemblies of Ag-sheathed  $\text{PbBi2223}$  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.
- Jin S. ve Chu. C. W., 1993. Present status and future prospects in bulk processing of high-Tc superconductors. in processing and properties of high-Tc superconductors, cilt 1, 431–478. World Scientific, Singapore.
- Jin, X., Xu, X.N., Zhu, J.S., Ji, H.L., Shen, G.J., Zhang, Y.T., Ding, S.Y., Yao, X.X., 1992. Oxygen Concentration and Activation Energy in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ , Supercond. Sci. Technol., 5, 244-247.
- Kim, D.H., Gray, K.E., Kampwirth, R.T., McKay, D.M., 1990. Possible origins of resistive tails and critical currents in high-temperature superconductors in a magnetic field. Phys. Rev. B, 42, 6249.
- Kim, Y.B., Hempstead, C.F., and Strnad, A.R., 1963. Flux creep in hard superconductors, Phys. Rev., 131, 2486.
- Kim, Y.B., Stephen, M.J., 1969. R.D. Parks (Ed.) Superconductivity, Marcel Dekker, New York, Cilt 2.
- Kishio, K., Kitazawa, K., Kanbe, S., Sugii, N., Tagaki, H., Uchida, S., Fueki, K. ve Tanaka, S., 1987. New High Temperature Superconducting Oxide  $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$  and  $(\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x)_2\text{CuO}_4$ , Chem. Lett., 429-432.
- Küçükömeroğlu, T., 1999. Direnç-Isıtmalı Hareketli-Akkor Bölge Yöntemiyle  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_y(2234)$  Camsı Çubukların Süperiletken Yapıya Dönüştürülmesi, Doktora, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon.

- Larbalestier, D., 2000. HTS Power Applications: Fundamentals to Wires, Short Course, Applied Superconductivity Conference, Virginia Beach.
- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutumi, M. ve Asano, T., Jpn. 1988. A New High- $T_c$  Oxide Superconductor without a Rare Earth Element. J. Appl. Phys., 27, 209-210.
- Manuela, P., Aguilonb, C. ve Senoussi, S., 1991. Exponential decay of critical current in Y-Ba-Cu-O: relationship with the pinning potential profile and its physical origin. Physica C, 177 281.
- Meissner, W. ve Ochsenfeld, R., 1933. Superconductivity, Nature, 132, 931-935
- Meng, R.L., Gao, L., Gautier-Picard, P., Ramizer, D., Sun, Y.Y., Chu, C.W., 1994. Growth and possible size limitation of quality single-grain  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.2}$ . Physica C, 232, 337-346.
- Miura, N., Nakagawa, H., Sekitani, T., Naito, M., Sato, H., Enomoto, Y., 2002. High-magnetic-field study of high- $T_c$  cuprates. Physica B, 319, 310.
- Mochida, T., Takahashi, M., Goshima, S., Sakai, N., Yoo, S.I., Murakami, M., 1997. A single-electron device and circuit Simulator. Superlattices Microstruct., 21, (Suppl.A) 37.
- Mukhopadhyay, S.M., Mahadev, N., Sengupta, S., 2000. Microstructural and spectroscopic analyses of a strongly-linked joint formed in a superconductor. Physica C, 329, 95.
- Murakami M., 1994. Melt-processing of high temperature superconductors. Prog. Mater. Sci., 38, 311-357.
- Murakami, M., 1992. Processing of bulk YBaCuO. Supercond. Sci. Technol., 5, 185
- Murakami, M., 1992a. Flux pinning of melt processed YBCO superconductors and their applications in studies of high temperature superconductors, Nova Sci. Pub., No: 9, New York.
- Murakami, M., Gotoh, S., Fujimoto, H., Yamaguchi, K., Koshizuka, N., Tanaka, S., 1991. Flux pinning and critical currents in melt processed YBaCuO superconductors. Supercond. Sci. Technol., 4, 43.
- Murakami, M., Yoo, S.I., Higuchi, T., Sakai, N., Wertz, J., Koshizuka, N., Tanaka, S., 1994. Flux Pinning in Melt-Grown  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  and  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  superconductors, Jpn. J. Appl. Phys., 33, 5, 715 - 717.
- Müller, K H., Andrikidis, C., Liu H.K., and Dou, S.X., 1995. AC hysteresis losses in monofilamentary Pb-Bi-Sr-Cu-O/Ag tapes, Physica C, 247, 74.
- Nagata, S., Kwasaki, M. et al., 1988. J. Ceram. Soc. Jpn., 96, 444.
- Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M., 2001. Processing of  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  bulk superconductor and its trapped magnetic field. Physica C, 357-360, 629-634.

- Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M., Hirabayashi, I., 2004. High critical current density in RE–Ba–Cu–O bulk superconductors with very fine RE<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> particles. Physica C, 412-414, 557-565.
- Neiman, R. L., Giapintzakis, J., Ginsberg D. M. ve Mochel J. M., 1995. Sign reversal of the Hall effect in YBa<sub>2</sub>(Cu<sub>1-x</sub>Co<sub>x</sub>)<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> single crystals. J. Supercond., 8, 383–389.
- Nishida, A., Taka, C., Shigeta, I., 2003. Effects of Y substitution on the temperature and field dependence of magnetic hystereses in Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>. Physica C, 392-396, 349-352.
- Nishida, A., Teshima, S., Taka, C., 2002. Magnetic properties of Y-substituted Y<sub>x</sub>Gd<sub>1-x</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>. Physica C, 378-381, 349-353.
- Norris, W.T., 1970. Calculation of hysteresis Loss in hard superconductors carrying ac loss: isolated conductors and edges of thin sheets, J. Phys. D, 3, 489.
- Onnes, H.K., 1911. Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden, 119-120.
- Palstra, T. T. M., Batlog, B., Schneemeyer, L. F., Waszczak, J. V., 1988. Phys. Rev. Lett., 61, 1962.
- Pomar. A., 1995. Conductividad, magnetoconductividad y diamagnetismo inducidos por fluctuaciones en los planos superconductores de cristales multiperíódicos de óxidos de cobre. PhD thesis, Universidade de Santiago de Compostela.
- Poole C. P. 2000. Handbook of superconductivity. Academic Press, San Diego.
- Pop, A. V., Ciurchea, D., Ilonca, Harabor, A., Deltour, R., 1997. Superconducting Properties in Bulk (Bi<sub>1,6</sub>Pb<sub>0,4</sub>)(Sr<sub>1,8</sub>Ba<sub>0,2</sub>)Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>Y</sub> System. Physica C, 282-287, 2365.
- Prester. M., 1998. Current transfer and initial dissipation in high-Tc superconductors. Supercond. Sci. Technol., 11, 333–357.
- Rose-Innes, A.C. ve Rhoderick, E.H., 1978. Introduction to Superconductivity, Pergamon Pres.
- Salama, K., Selvamanickan, V., 1992. Joining of high current bulk Y-Ba-Cu-O superconductors. Appl. Phys. Lett., 60, 898.
- Sawano, K., Morita, M., Tanaka, M., Sakai, T., Kimura, K., Takebayashi, S., Kimura, M., Miyamoto, K., 1991. Jpn. J. Appl. Phys., 30, 1157.
- Seeber, B., 1998. Handbook of Applied Superconductivity, Cilt 1, Genova Univ. IOP Publishing, Bristol.
- Segawa K. ve Ando Y., 2001. Zn-doping effect on the normal-state charge transport in untwinned YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> single crystals at low temperatures. Physica C, 30–33, 357-360.

- Sekitani, T., Miura, N., Ikeda, S., Matsuda, Y.H., Shiohara, Y., 2004. Upper critical field for optimally doped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , Physica B, 346-347, 319-324.
- Sheahan, T.P., 1994. Introduction to High-Temperature Superconductivity, New York, Plenum Pres.
- Sjöström, M., 2001. Hysteresis Modelling of High Temperature Superconductors, Ph.D. Tez No: 2372, Swiss Federal Institute of Technology – Lausanne.
- Skokov V. N., Koverda. V. P., 1993. Thermal multistability of thin YBCO films carrying direct current. Cryogenics, 33, 1072–1076.
- Speech, E.D., Sparks, C.J., Dhere, A.G., Brynestad, J., Cavin, O.B., Kroeger, D.M. ve Oye, H.A., 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.
- Sun, J. Z., Eom, C. B., Lairson, B., Bravman, J. C., Gabelle, T. H., Kapitulnik, 1989. Vortex motion and time dependent magnetic responses in high  $T_c$  superconductors. Physica C, 162, 687.
- Taka, C., Teshima, S., Nishida, A., 2002. Effects of Y substitution and oxygen deficiency on the superconducting transitions in  $\text{Y}_x\text{Gd}_{1-x}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Physica C, 378–381, 344–348.
- Takura, Y., Tagaki, H. ve Uchida, S., 1989. A Superconducting Copper Oxide Compounds with Electrons as the Charge Carriers, Nature, 337, 345-346.
- Tallon, J.L., Pooke, D.M., Buckley, R.G., Presland, M.R. ve Blunt, F.J., 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.
- Tarascon, J. M., Barboux, P., Miceli, P. F., Greene, L. H. ve Hull. G. W. 1988. Structural and physical properties of the metal (M) substituted  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{M}_x\text{O}_{7-y}$  perovskite. Phys. Rev. B, 37, 7458–7469.
- Tarascon, J.M., Greene, L.H., McKinnon, W.R., Hull, G.W. ve Geballe, T.H., 1987. Superconductivity at 40K in the Oxygen-Defect Perovskites  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-y}$ , Science, 235,1373-1376.
- Tarascon, J.M., McKinnon, W.R., Greene, L.H., Hull, G.W., Vogel, E.M., 1987. Oxygen and rare-earth doping of the 90-K superconducting perovskite  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Phys. Rev. B, 36, 226-229.
- Thinkam, M., 1996. Introduction to Superconductivity, Second Ed., McGraw-Hill, New York, 118.
- Tinkham, M., 1975. Intoduction to Superconductivity, New York, McGraw-Hill.

- Tixador, P., 1995. *Les Supraconducteurs*, Paris: Hermes.
- Tomimoto, K., Terasaki, I., Rykov, A. I., Mimura, T. ve Tajima. S., 1999. Impurity effects on the superconducting coherence length in Zn- or Ni-doped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$  single crystals. Phys. Rev. B, 60, 114–117.
- Tsurumi, S., Hikita, M., Iwata, T., Jpn.\_1987. High  $T_c$  Superconductivities of  $\text{A}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_6\text{O}_{14+y}$ . J. Appl. Phys., 26, 856 - 857.
- Vanderah, T.A., 1992. *Chemistry of Superconductor Materials*, Noyes Publications, California.
- Veal, B.W., Paulikas, A.P., Downey, J.W., Claus, H., Vandervoort, K., Tomlins, G., Shi, H., Jensen, M., Morss, L., 1989. Varied oxygen stoichiometry in  $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Physica C, 162-164, 97.
- Vedawyas M. ve Bhagwat A. 1998. Annealing studies of Zn and Fe doped epitaxially grown YBCO thin films. Solid State Commun., 105, 713–717.
- Verhaege, T. Herrmann, P. F., Bock, J., Cowey, L., Moulaert, G., Freyhardt, H. C., Usoskin, A., Paasi, J., ve Collet. M., 2000. European project on a self-limiting superconducting power link. Supercond. Sci. Technol., 13, 488–492.
- Vinokur, V.M., Feigel, M.V., Geshkenbein, V.B., Larkin, A.I, 1990. Resistivity of Hig- $T_c$  Superconductors in a vortex-liquid state, Phys. Rev. Lett., 65, 259.
- Werner, M., Sauerzopf, F.M., Weber, H.W., Veal, B.D., Licci, F., Winzer, K., Koblishka, M.R., 1994. Fishtails in 123-superconductors. Physica C, 235-240, 2833.
- Werner, M., Sauerzopf, F.M., Weber, H.W., Wisniewski, A., 2000. Fishtail effect in the magnetization of superconducting  $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  (R=Y,Nd,Yb) and  $\text{Y}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_8\text{O}_{16}$  single crystals. Phys. Rev. B, 61, 14795.
- Wilson, M.N., 1983. *Superconducting Magnet*, Oxford: Clarendon Pres.
- Wu, X.S. ve Gao, J., 1999. Supercundoctivity and Structural Changes in  $\text{Y}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{Ba}_{2-x}\text{Nd}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$  Cuprates with  $x \leq 0.50$ , Physica C, 313, 79-86.
- Xu, X.J., Fu, L., Wang, L.B., Zhang, Y.H., Fang, J., Cao, X.W., Li, K.B., Hisasi, S., 1999. Dependence of activation energy upon magnetic field and temperature in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  epitaxial thin film. Phys. Rev. B, 59, 608 - 612.
- Yan M. F., Barns R. L., O'Bryan H. M. Jr., Gallagher P. K., Sherwood R. C., ve Jin S., 1987. Water interaction with the superconducting  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  phase, App. Phys. Lett., 51, 532–534
- Yanmaz, E. 1992. Thesis submitted to the faculty of engineering of the University of Birmingham for the degree of doctor of philosophy (Ph. D).
- Yao, X., Oka, A., Izumi, T. ve Shiohara. Y., 2000. Crystal growth and superconductivity of Fe-doped YBCO single crystals. Physica C, 339, 99–105.



Yvon, K. ve François, M., Crystal Structures of High-Tc Oxides, 1989. Z. Physics, 76, 413-444.

Zhang, L., Zhu, X. B., Song, W. H., Ma, R. C., Liu, S. M., Du, J. J., Sun, Y. P. 2004. Resistivity-temperature characteristics of Y-deficient YBCO thin films derived By TFA-MOD method, Physica C, 415, 79-84.

## ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Sinop'ta doğdu. İlkokulu Sinop Sarıkum köyünde tamamladı. Orta ve liseyi Karabük'te tamamladı. 1994 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Bölümüne başladı ve 1998 yılında bitirdi. 1 yıllık İngilizce hazırlık kursundan sonra 1999 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2001'de K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek lisansını tamamladı. 2001 yılında doktora başlayan Şükrü ÇELİK, Ocak 2001 yılından itibaren K.T.Ü. Rize Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde Katıhal Fiziği Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak görev yapmakta olup, 2 yıllık evlidir.