

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

Y₂O₃ TABAKALI YBa₂Cu₃O_{7-x} BİLEŞİĞİNİN TERSİNMEZLİK ÇİZGİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Müh. Sedat KURNAZ

**HAZİRAN 2016
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Fizik Anabilim Dalında
Sedat KURNAZ Tarafından Hazırlanan

Y_2O_3 TABAKALI $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ BİLEŞİĞİNİN TERSİNMEZLİK ÇİZGİSİ




başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 17/ 05/ 2016 gün ve 1653 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Bekir ÖZÇELİK

Üye : Doç. Dr. Alev AYDINER

Üye : Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Çalışmalarım ve tezimin yazım aşamasında yardım, öneri ve desteğini esirgemedi beni yönlendiren ve yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Alev AYDINER'e, yardımlarını esirgemeyen Artvin Çoruh Üniversitesi'nden Sayın Yrd. Doç. Bakiye ÇAKIR'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca her türlü imkânı sağlayan K.T.Ü. Fizik Anabilim Dalı Başkanı sayın Prof. Dr. Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU'na teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen TBAG-1001 "107T751" nolu proje kapsamında sağlanan imkanlardan dolayı TÜBİTAK'a ve Karadeniz Teknik Üniversitesi tarafından desteklenen BAP "2008.111.001" nolu proje kapsamında sağlanan imkanlardan dolayı Karadeniz Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle bu günlere gelmemi sağlayan aileme en içten saygı, teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

Sedat KURNAZ

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ Y_2O_3 Tabakalı $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Bileşiğinin Tersinmezlik Çizgisi ” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Alev AYDINER'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

13/05/2016

Sedat KURNAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Süperiletkenliğe Ait Temel Bilgiler.....	4
1.2.1. Kritik Sıcaklık.....	4
1.2.2. Meissner-Ochsenfeld Etkisi	5
1.2.3. Kritik Akım Yoğunluğu.....	6
1.3. Süperiletkenin Manyetik Özellikleri	7
1.3.1. I. Tür Süperiletkenler	7
1.3.2. II. Tür Süperiletkenler.....	8
1.4. Akı Çivilenmesi.....	8
1.5. Tersinmezlik Çizgisi.....	10
1.6. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Bileşiğinin Faz Diyagramı.....	11
1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	12
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	15
2.1. Deneysel Çalışma.....	15
2.1.1. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Bileşiğinin Hazırlanması.....	15
2.1.2. Fiziksel Analiz.....	19
2.1.2.1. Düşük Sıcaklık Direnç Ölçümü.....	19
2.1.2.2. Düşük Sıcaklık Mıknatıslanma Ölçümü.....	20
2.2. Sayısal Çalışma.....	21

2.2.1.	Tersinmezlik Çizgisi (Irreversibility Line).....	21
2.2.1.1.	Özdirenç–Sıcaklık Ölçümlerinde Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$) ve Üst Kritik Manyetik Alan ($\mu_0 H_{c2}$).....	24
2.2.1.2.	Mıknatıslanma–Sıcaklık Ölçümlerinde Tersinmezlik Sıcaklığı (T_{irr}) ve Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$).....	24
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	26
3.1.	DeneySEL Çalışma.....	26
3.1.1.	Düşük Sıcaklık Özdirenç–Sıcaklık ($\rho-T$) Ölçümü.....	26
3.1.2.	Düşük Sıcaklık Mıknatıslanma–Sıcaklık ($M-T$) Ölçümü.....	30
3.2.	Sayısal Çalışma.....	36
3.2.1.	Özdirenç–Sıcaklık ($\rho-T$) Ölçümlerinde Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$) ve Üst Kritik Manyetik Alan ($\mu_0 H_{c2}$).....	36
3.2.2.	Mıknatıslanma–Sıcaklık ($M-T$) Ölçümlerinde Tersinmezlik Sıcaklığı (T_{irr}) ve Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$).....	43
4.	SONUÇLAR.....	52
5.	ÖNERİLER.....	53
6.	KAYNAKLAR.....	54
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

Y₂O₃ TABAKALI YBa₂Cu₃O_{7-x} BİLEŞİMİNİN TERSİNMEZLİK ÇİZGİSİ

Sedat KURNAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Alev AYDINER
2016, 58 Sayfa

Bu çalışmada, Eritme-Toz-Eritme-Büyütme [Melt-Powder-Melt-Growth, (MPMG)] yöntemi kullanılarak Y1040_tablet, Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinden 5 tane üretildi. Örneklerin üretiminde sıvı fazın fırını kirletmesini önlemek ve tane büyümesini desteklemek için pota üstüne Y₂O₃ tozu ya da tableti yerleştirildi. YBCO örneklerinde 5 T'ya kadar dc manyetik alanda (*c*-eksenine paralel) öz direnç-sıcaklık ($\rho-T$) ve mıknatıslanma-sıcaklık ($M-T$) ölçümleri yapıldı. Tersinmezlik alanı ($\mu_0 H_{irr}$) ve üst kritik manyetik alan ($\mu_0 H_{c2}$) normal durumdaki dirençlerin %10 ve %90'ı alınarak $\rho-T$ eğrilerinden elde edildi. $M-T$ ölçümlerinde sıfır alan soğutma (ZFC) ve alan soğutma (FC) işlemi yapılarak tersinmezlik sıcaklığı (T_{irr}) bulundu. Tersinmezlik çizgisi $\mu_0 H_{irr} \sim (1 - T_{irr}(H) / T_{irr}(0))^n$ denkleminde hesaplandı. Deneysel sonuçlara uyum eğrileri çizilerek, büyük akı sürüklenmesi ve vorteks cam modelleri tartışıldı. MPMG YBCO üretiminde en uygun büyüme sıcaklığının 1050-1060°C olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler : MPMG yöntemi, Y₂O₃ tabakası, Tersinmez sıcaklık, Tersinmez alan, Vorteks cam, Vorteks sıvı, Büyük akı sürüklenmesi,

Master Thesis

SUMMARY

IRREVERSIBILITY LINE OF Y_2O_3 LAYERED $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ COMPOUND

Sedat KURNAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Alev AYDINER
2016, 58 Pages

In this study, five kinds of YBCO samples using Melt-Powder-Melt-Growth (MPMG) method which are named Y1040_buffer, Y1050_empty, Y1050_powder, Y1050_buffer and Y1060_buffer were fabricated. The compacted powders were located on a crucible with a buffer layer of Y_2O_3 and a crucible with Y_2O_3 powder freely poured to avoid liquid to spread on the furnace plate and also to support crystal growth. YBCO samples were investigated by resistivity–temperature (ρ – T) and magnetization–temperature (M – T) measurements in dc magnetic fields (parallel to c –axis) up to 5 T. Irreversibility fields ($\mu_0 H_{irr}$) and upper critical fields ($\mu_0 H_{c2}$) were obtained using %10 and %90 criteria of the normal state resistivity value from ρ – T curves. M – T measurements were carried out using the zero field cooling (ZFC) and field cooling (FC) processes to get irreversible temperature (T_{irr}). Irreversibility lines were estimated from the equation $\mu_0 H_{irr} \sim (1 - T_{irr}(H) / T_{irr}(0))^n$. Fitting of results to giant flux creep and vortex glass models were discussed. At the fabrication of MPMG YBCO, optimized temperature for crystal growth was determined to be around 1050–1060°C.

Key Words : MPMG method Y_2O_3 layer, Irreversibility temperature, Irreversibility field, Vortex glass, Vortex liquid, Giant flux creep

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Süperiletkenlerin keşfedildikleri yılların süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları (URL-1, 2015).....	3
Şekil 1.2. Süperiletkenin sıcaklıkla değişimi (URL-2, 2015).....	4
Şekil 1.3. Süperiletken bir malzemeden manyetik alanın dışarılanması (URL-3, 2015).....	5
Şekil 1.4. I. tür (kırmızı çizgi) ve II. tür (mavi çizgi) süperiletkenlerde mıknatıslanma (M), manyetik alanla (H) değişimi (URL-4, 2015).....	7
Şekil 1.5. II. Tür süperiletkenlerde akımın etkisiyle akı çizgileri üzerinde oluşan Lorentz kuvveti (\vec{F}_L) (URL-5, 2015).....	9
Şekil 1.6. YBCO bileşiği için ikili faz diyagramı (Murakami, 1992).....	12
Şekil 2.1. Euroterm kontrollü Lenton marka kare fırın.....	16
Şekil 2.2. YBCO toz karışımının kalsinasyon işlemi şeması.....	16
Şekil 2.3. YBCO toz karışımının eritme ısıl işlemi şeması.....	17
Şekil 2.4. Bakır bir plaka ile vurulmak suretiyle hızlı bir şekilde soğutulan YBCO..	17
Şekil 2.5. GSL-1700-80X marka vakumlu yüksek sıcaklık tüp fırın.....	18
Şekil 2.6. YBCO örneklerinin ısıl işlem şeması.....	18
Şekil 2.7. Üretilen YBCO örneklerinin tavlanma ısıl işlem şeması.....	19
Şekil 2.8. Quantum Design PPMS Sistemi.....	20
Şekil 2.9. II. tür süperiletkenin faz diyagramı (Fisher, 1989).....	23
Şekil 3.1. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet örnekleri için 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alan altındaki $\rho-T$ eğrileri (Çakır, 2010).....	27
Şekil 3.2. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet örnekleri için 0, 1, 2, 3,4 ve 5 T manyetik alan altındaki $\rho-T$ eğrileri (Çakır, 2010).....	29
Şekil 3.3. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet örneklerinin 0,01 T manyetik alandaki $M-T$ eğrileri.....	31
Şekil 3.4. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlardaki $M-T$ eğrileri.....	32
Şekil 3.5. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet örneklerinin 0,01T manyetik alandaki $M-T$ eğrileri.....	33
Şekil 3.6. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3,4 ve 5 T manyetik alanlardaki $M-T$ eğrileri.....	34

Şekil 3.7. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet için μ_0H_{irr} , μ_0H_{c2} , tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge.....	37
Şekil 3.8. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet için μ_0H_{irr} , μ_0H_{c2} , tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge.....	40
Şekil 3.9. (a) Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve (b) Y1040_tablet, Y1050_tablet, Y1060_tablet için μ_0H_{irr} değerleri ve tersinmezlik çizgileri.....	42
Şekil 3.10. (a) Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve (b) Y1040_tablet, Y1050_tablet, Y1060_tablet örnekleri için 1 T'daki T_{irr} değerinin bulunması.....	44
Şekil 3.11. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (b) Y1050_tablet için T_{irr} , $T_{c,onset}$ (Tablo 3.1) (Çakır,2010), tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge.....	46
Şekil 3.12. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet ve için T_{irr} , $T_{c,onset}$ (Tablo 3.2) (Çakır,2010), tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge.....	47
Şekil 3.13. (a) Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve (b) Y1040_tablet, Y1050_tablet, Y1060_tablet örnekleri için T_{irr} değerleri ve tersinmezlik çizgileri.....	49
Şekil 3.14.(a) Y1050_tablet ve (b)Y1060_tablet için $\rho-T$ ve $M-T$ ölçümlerinden elde edilen tersinmezlik çizgileri.....	50

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Başlangıç kompozisyonu hazırlamasında kullanılan toz bileşikler.....	15
Tablo 3.1. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alan altındaki $T_{c,onset}$, $T_{c,offset}$ ve ΔT değerleri (Çakır, 2010).....	28
Tablo 3.2. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin 0, 1, 2, 3, 4 ve 5T manyetik alan altındaki $T_{c,onset}$, $T_{c,offset}$ ve ΔT değerleri (Çakır, 2010)	30
Tablo 3.3. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinde $\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanları için 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T'ya karşılık gelen sıcaklık değerleri.....	36
Tablo 3.4. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (<i>giant flux creep</i>) modelinin parametreleri ($T_{irr}(K)$ değerleri Tablo 3.1'deki örneklerin 0 T için T_{irr} değerleridir).....	38
Tablo 3.5. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinde $\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanları için 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T'ya karşılık gelen sıcaklık değerleri.....	39
Tablo 3.6. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (<i>giant flux creep</i>) modelinin parametreleri ($T_{irr}(K)$ değerleri Tablo 3.2'deki örneklerin 0 T için T_{irr} değerleridir).....	39
Tablo 3.7. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlardaki T_{irr} değerleri.....	43
Tablo 3.8. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlardaki T_{irr} değerleri.....	44
Tablo 3.9. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (<i>giant flux creep</i>) modelinin parametreleri ($T_c(K)$ değerleri Tablo 3.1'deki örneklerin 0 T için $T_{c,onset}$ değerleridir).....	45
Tablo 3.10. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (<i>giant flux creep</i>) modelinin parametreleri ($T_c(K)$ değerleri Tablo 3.2'deki örneklerin 0 T için $T_{c,onset}$ değerleridir).....	45

SEMBOLLER DİZİNİ

a, b, c	: Örgü parametreleri
\vec{B}	: Manyetik indüksiyon
$\vec{B}_{dış}$: Dış manyetik indüksiyon
$\vec{B}_{iç}$: İç manyetik indüksiyon
\vec{F}_L	: Lorentz kuvveti
\vec{F}_P	: Çivileme kuvveti
\vec{J}	: Akım yoğunluğu
\vec{J}_c	: Kritik akım yoğunluğu
\vec{J}_s	: Perdeleme akımı
\vec{J}_t	: İletim akımı
M	: Miknatıslanma
M_{FC}	: Alan soğutmada miknatıslanma değeri
$M_{remanent}$: Kalıcı miknatıslanma
M_{ZFC}	: Sıfır alan soğutmada miknatıslanma değeri
T	: Sıcaklık
T_c	: Kritik sıcaklık
T_{irr}	: Tersinmezlik sıcaklığı
$T_{c,offset}$: Süperiletkenlik geçişinin bittiği sıcaklık
$T_{c,onset}$: Süperiletkenlik geçişinin başladığı sıcaklık
ΔM	: Miknatıslanma eğrisinin genişliği
κ	: Ginzburg-Landau parametresi
λ	: Nüfuz derinliği
$\mu_0 H$: Manyetik alan
$\mu_0 H_c$: Kritik manyetik alan
$\mu_0 H_{c1}$: Alt kritik manyetik alan
$\mu_0 H_{c2}$: Üst kritik manyetik alan
$\mu_0 H_{irr}$: Tersinmezlik alanı
ξ	: Eş uyum uzunluğu
ρ	: Özdirenç

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Süperiletkenliğin keşif tarihi olan 1911 yılından bu zamana kadar gerek metal, gerek alaşım, gerekse bileşik olmak üzere binlerce süperiletken malzeme keşfedilmiş ve her geçen gün de bir yenisi daha eklenmektedir.

Keşfin öncüsü olan Heike Kammerlingh Onnes, 1911 yılında deneylerinde kullanmak üzere kaynama sıcaklığı 4,2 K olan sıvılaştırılmış helyum ile düşük sıcaklık bölgelerinde metallerin elektriksel özelliklerini incelemeye başladı. Oda sıcaklığının altına inildiğinde metallerin direncinin azalacağı yıllardır biliniyordu. Fakat mutlak sıcaklığa gidildiğinde metallerin direncinin ne olacağı tartışılan bir konu idi. Onnes, çok saf bir civa telden küçük bir akım geçirmenin yanında, sıvı helyum kullanarak sıcaklığını düşürdükleri civanın direncindeki değişimi gözliyorken, 4,17 K'de civanın direncinin birden yok olduğunu gözledi. Onnes'e göre civa, alışılmadık bir elektriksel özelliğe sahip yeni bir duruma geçiyordu. Bu yeni duruma, süperiletkenlik adını verdi (Onnes, 1911). H. K. Onnes, süperiletkenliğin keşfi ile 1913 yılında Fizik dalında Nobel ödülünü kazandı.

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

1930'lara gelindiğinde birçok element düşük sıcaklık altında süperiletkenlik gösteriyordu. Ama elektriksel direncin sıfır olması tek başına süperiletkenliği tanımlamada yeterli değildi. 1933 yılında Walther Meissner ve Robert Ochsenfeld, süperiletkenlerin mükemmel iletken olmalarının yanında diyamanyetik özellik gösterdiğini keşfettiler (Meissner ve Ochsenfeld, 1933). Yani; manyetik alan içine konulan bir süperiletkenin kritik sıcaklığının altına kadar soğutulduğunda, manyetik akıyı dışarıladığını tespit ettiler ve süperiletkenden manyetik alanın dışarlanmasına *Meissner-Ochsenfeld* etkisi denilmektedir.

1935 yılında Frintz ve Heinz London kardeşler tarafından Maxwell denklemlerine dayalı olarak Meissner etkisi London denklemleri ile açıklandı (London ve London, 1935). 1950 yılında Ginzburg ve Landau, ikinci dereceden faz geçişi yapan sistemlerin termodinamik özelliklerini açıklamayı hedefleyen makroskobik bir teori geliştirdi (Ginzburg ve Landau, 1950).

Süperiletkenliğin mikroskobik teorisi ise John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer tarafından 1957 yılında BCS teorisiyle açıklandı (Bardeen vd., 1957). BCS teorisi tek bir sistem oluşturacak şekilde ortak hareket eden Cooper çiftleri olarak bilinen zıt momentumlu elektron çiftleri oluşturmasına dayanır. Bu teori ile 1972 yılında J. Bardeen, L. Cooper ve R. Schrieffer Nobel fizik ödülü almışlardır.

1986 yılında George Bednorz ve Alex Müller, La-Ba-Cu-O sisteminde 30 K'de süperiletkenliği keşfettiler (Bednorz ve Müller, 1986) ve aynı yıl Bednorz ve Müller, Nobel ödülü aldılar. $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ sistemine basınç uygulanmasıyla geçiş sıcaklığı 57 K'e yükseltildi (Chu vd., 1987). Wu ve arkadaşları, Y-Ba-Cu-O sisteminde süperiletken geçiş sıcaklığı 92 K olarak keşfedildi (Wu vd., 1987).

77 K'in üzerinde süperiletkenliğin keşfi, sıvı helyum yerine sıvı azot kullanılmasını sağladı. Sıvı azotun daha ucuz ve kolay bulunması nedeniyle süperiletkenlik üzerine araştırmalar yaygınlaştı. 1988'de Maeda ve arkadaşları, Bi-Sr-Ca-Cu-O sisteminde 105 K civarında süperiletkenliğe geçiş gözlemlendi (Maeda vd., 1988).

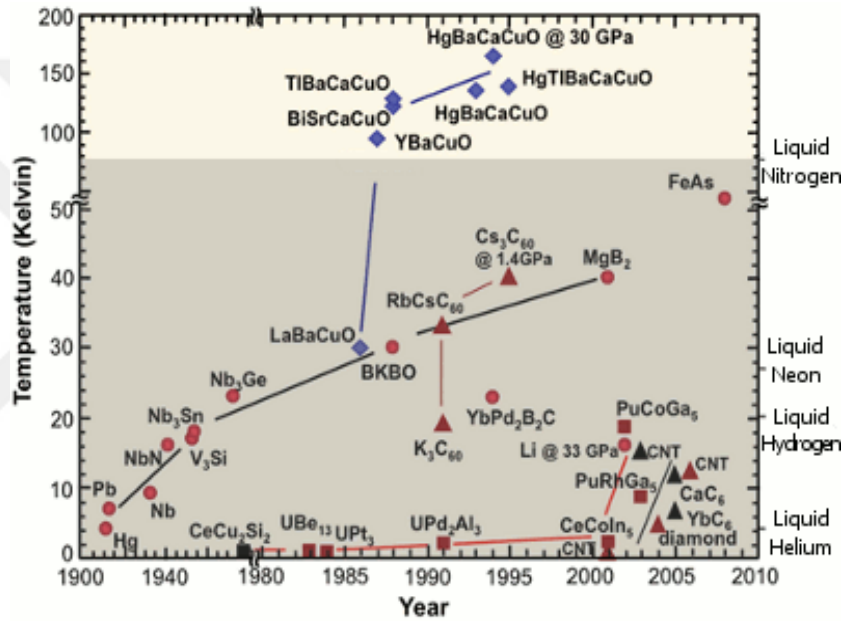
Tl-Ba-Cu-O sisteminde geçiş sıcaklığını 120 K olarak buldu (Sheng, 1988). 1993'de Schilling ve arkadaşları, Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminde 130 K'in üstünde süperiletkenliği gözledi (Schilling vd., 1993). Chu ve arkadaşları tarafından Hg-Ba-Ca-Cu-O sisteminin yüksek basınç altında geçiş sıcaklığının 153 K'e yükseldiği bulundu (Chu vd., 1993).

2001 yılında Akimitsu tarafından MgB_2 bileşiğinin 39 K'de süperiletken olduğu açıklanmıştır (Akimitsu vd., 2001). Bunun üzerine bor türü metal alaşımlar, özellikle de MgB_2 malzemesi üzerine yoğun çalışmalar yapılmıştır. MgB_2 bileşiğinin süperiletkenlik özelliğinin keşfedilmesinden sonra yapılan teorik ve deneysel çalışmalar, BeB_2 , CaB_2 gibi geçiş metali diborürlerinin, $\text{Mg}_{1-x}\text{Li}_x\text{B}_2$, $\text{Mg}_{1-x}\text{Na}_x\text{B}_2$, $\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{B}_2$ gibi boşluk katkılanmış sistemlerin ve AgB_2 , AuB_2 şeklindeki soy metal diborürlerin MgB_2 'deki gibi yüksek süperiletkenliğe geçiş sıcaklık (T_c) değerlerine sahip olup olmadıkları yönünde yapılmıştır (Buzza ve Yamashita, 2001). Elde edilen sonuçlar içinde MgB_2 , bor alaşımları arasında en yüksek T_c değerine sahiptir.

2008 yılında Hosono ve arkadaşları, $\text{La}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)\text{FeAs}$ bileşiği için kritik sıcaklığı 26 K olan yeni bir yüksek sıcaklık süperiletken ailesi keşfettiler (Hosono vd., 2008). Bu alanda yapılan yoğun çalışmalar neticesinde çeşitli yapısal özelliklere sahip demir tabanlı süperiletken malzemeler bulunmuştur.

2014 yılında ise $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ 'nin kristal yapısı kızılötesi lazer ışığının kısa darbeleri kullanılarak pikosaniye mertebesinde oda sıcaklığında süperiletken özelliği göstermiştir (Mankowsky vd., 2014). Son yıllarda, oda sıcaklığında süperiletken özellikler gösteren malzemeler konusunda çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Süperiletkenliğin tarihsel gelişimi Ginzburg tarafından (Ginzburg, 2000), 1911-1941 yılları arasında düşük sıcaklık süperiletkenliğinin keşfi ve ilgili çalışmalar, 1942-1986 yılları arasında süperiletkenlikle ilgili teoriler, 1987 yılından sonrada yüksek sıcaklık süperiletkenleri üzerindeki çalışmalar olarak kısımlara ayrılmıştır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Süperiletkenlerin keşfedildikleri yılların süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları (URL-1, 2015).

Süperiletken malzemelerin elektrik ve manyetik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar, teknolojinin ilerlemesi konusunda büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, günümüzde süperiletkenlik konusunda çalışmalar son hızla devam etmektedir.

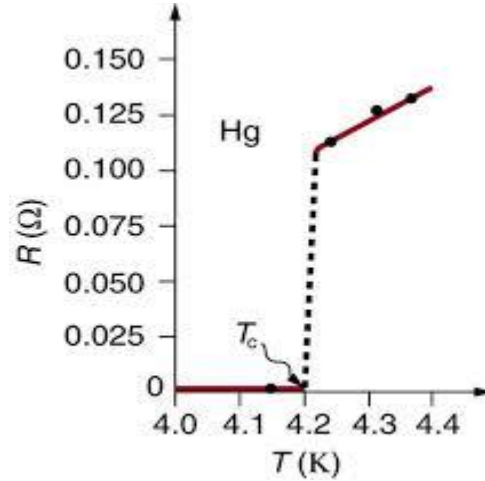
1.2. Süperiletkenliğe Ait Temel Bilgiler

1.2.1. Kritik Sıcaklık

Süperiletkenliğin belirleyici özelliğinden biri de kritik sıcaklıktır. Süperiletkenler için kritik sıcaklık (T_c), bir metalin elektriksel direncinin sıfıra düştüğü sıcaklık olarak tanımlanır.

Bu düşüş oldukça ani ve oldukça da keskindir ki, sanki bir maddenin faz değişimine benzer. Bu süperiletkenliğe geçiş fazı BCS teorisi ile açıklanmaktadır. Yani; kritik sıcaklık değerinin üstünde örneğin içindeki elektron akışı, maddenin yapısını oluşturan kristal örgüleriyle çarpışması sonucu engellenir ve direnç oluşur. Kritik sıcaklık değerinin altında ise kristal örgüsü, elektronları engellemek yerine, onların hareketine destek olur ve direnç sıfır olur (Şekil 1.3).

Soğuma sırasında süperiletkenlik durumuna geçiş, eğer örnek saf ve fiziksel olarak mükemmel ise oldukça keskin olabilir. Örneğin, iyi bir galyum örneğinde geçiş 10^{-5} K sıcaklık aralığında meydana gelmektedir. Eğer örnek kusurlar veya safsızlıklara sahipse geçiş önemli ölçüde genişleyebilir (Rose ve Rhoderick, 1980).



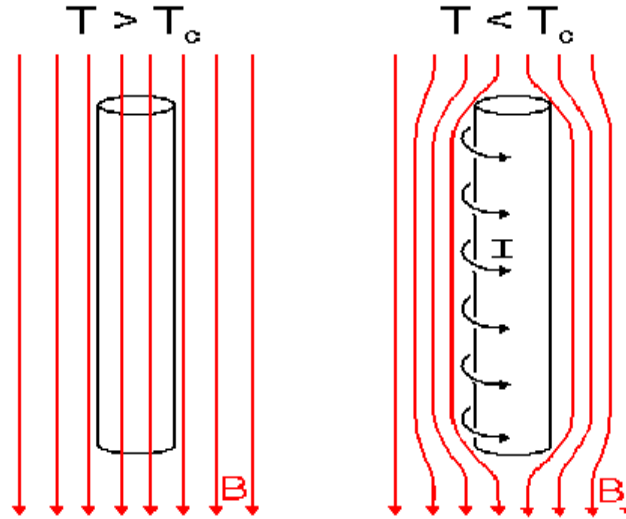
Şekil 1.2. Süperiletkenin sıcaklıkla değişimi (URL-2, 2015).

1.2.2. Meissner-Ochsenfeld Etkisi

1933 yılında Meissner ve Ochsenfeld, zayıf bir manyetik alanda kritik sıcaklık (T_c) altında soğutulan bir metal, süperiletken olduğunda, madde içinde her noktada $B=0$ olacak şekilde manyetik alanı dışarıladığını keşfettiler. Bu durum *Meissner-Ochsenfeld* etkisi olarak adlandırılır (Meissner ve Ochsenfeld, 1933).

Dışarılanma olayı, tamamen süperiletkenin mükemmel bir diyamanyetik davranış sergilemesinden dolayıdır. Bu olayda dışarıdan uygulanan manyetik alana ($\vec{B}_{dış}$) karşı, mükemmel diyamanyetik özelliğinden dolayı dışarıdaki manyetik alanı yok edecek yönde, Lenz yasası gereği, yüzey akımı oluşur. Oluşan yüzey akımı (I) ise dışarıdaki manyetik alanı yok edecek yönde iç manyetik alan ($\vec{B}_{iç}$) oluşturur. Bu akım, aynı zamanda dış manyetik alanı süperiletkenin içine girmemesi için bükür.

Şekil 1.2'de T_c 'nin üstünde yer alan bir T sıcaklığında süperiletkenlik özelliği göstermemesinden dolayı $\vec{B}_{dış}$ 'in örnek içerisine girdiği görülmektedir. T_c 'nin altında yer alan bir T sıcaklığında süperiletkenlik özelliği göstermesinden dolayı, $\vec{B}_{dış}$ dışarılanarak yüzey akımı oluşur.



Şekil 1.3. Süperiletken bir malzemeden manyetik alanın dışarılanması (URL-3, 2015).

Malzeme içerisinde

$$\vec{B} = \vec{B}_{dis} + \vec{B}_{ic} = 0 \quad (1.1)$$

olur ve dış manyetik alanın dışarılanması olayına *Meissner-Ochsenfeld* etkisi denir.

1.2.3. Kritik Akım Yoğunluğu

Süperiletkenlik konusunda yapılan çalışmalarda süperiletken boyunca geçirilen akım miktarının bir üst limiti olduğu keşfedildi. Bu akım miktarı, kritik akım yoğunluğu (J_c) olarak tanımlanır. Başka bir deyişle kritik akım, verilen bazı sıcaklık ve manyetik alanlarda süperiletkenlik sergileyen bir süperiletken boyunca akan maksimum akımdır.

Süperiletken boyunca akan akım yoğunluğuna iki katkı vardır. Örneğin, bir pil gibi bazı dış kaynaktan kaynaklanan bir akım yoğunluğu bir süperiletken tel boyunca geçirildiği düşünülün. Bu akım yoğunluğu, iletim akım yoğunluğu olarak adlandırılır. Akım yoğunluğu, yükü telin dışına ve içine transfer eder. Eğer tel, uygulanan bir manyetik alan içinde ise perdeleme akım yoğunluğu adı verilen akım yoğunlukları metal içindeki akıyı yok etmek için dolanırlar. Bu perdeleme akım yoğunluğu iletim akımı yoğunluğu ile birleştirilmiştir ve akım yoğunluğu (\vec{J}), iletim akımı yoğunluğu (*transport current density*, \vec{J}_t) ve perdeleme akım yoğunluğundan (*screening current density*, \vec{J}_s) doğan bileşenlerinin toplamı şeklinde düşünülebilir.

$$\vec{J} = \vec{J}_t + \vec{J}_s \quad (1.2)$$

Eğer toplam akım yoğunluğu, \vec{J}_c ' yi aşarsa süperiletkenlik yok olur.

Bir akım yoğunluğu süperiletken üzerinden akarsa yüzeyde bir \vec{B} akı yoğunluğu ve bununla ilişkili olarak, alan şiddeti \vec{H} ($= \vec{B} / \mu_0$) oluşacaktır. Bir süperiletken üzerindeki toplam akım yoğunluğu önemli ölçüde büyükse, yüzeydeki akım yoğunluğu kritik değer \vec{J}_c 'ye ulaşacaktır ve yüzeydeki manyetik alan şiddeti \vec{H}_c değerine sahip olacaktır (Rose ve Rhoderick, 1980).

1.3. Süperiletkenlerin Manyetik Özellikleri

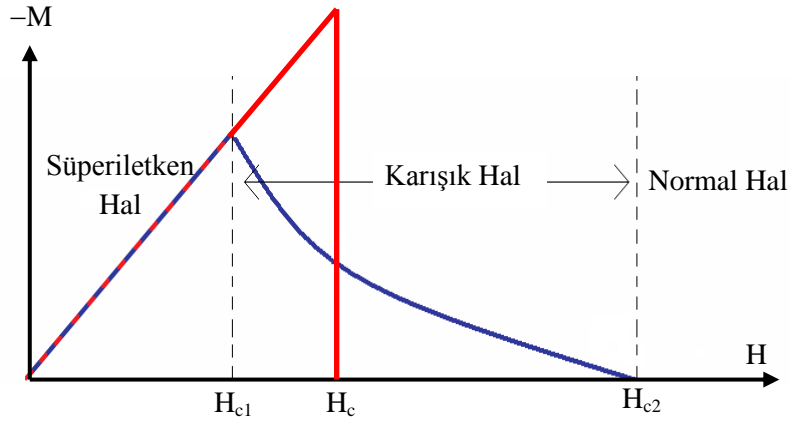
Süperiletkenliğin keşfinden 1950 yıllarına gelene kadar süperiletkenlerin tek tip olduğu düşünülüyordu. Ginzburg-Landau Teorisi ile süperiletkenlerin manyetik alandaki davranışlarına göre I. ve II. tür süperiletkenler olarak iki gruba ayrıldığı gösterilmiştir (Ginzburg ve Landau, 1950). Bir süperiletkenin hangi gruba gireceği ise Ginzburg-Landau parametresi $\kappa = \lambda/\xi$ 'nin $1/\sqrt{2}$ değerinden küçük (I. tür süperiletken) ya da büyük (II. tür süperiletken) olmasına göre değişir. Burada λ , süperiletken içindeki manyetik alanının nüfuz derinliği ve ξ ise 0'dan n 'ye kadar değişen Cooper çifti yoğunluğunun eş uyum uzunluğudur.

1.3.1. I. Tür Süperiletkenler

Oda sıcaklığında iletkenlik gösteren, süperiletken halden normal hale dönünceye kadar manyetik akıyı, yüzeyindeki ince bir nüfuz derinliği hariç, tamamen dışarlayan malzemeler I.tür süperiletkenlerdir. Vanadyum (V) ve Niyobyum (Nb) hariç bütün metaller ve bunların alaşımları I. tür süperiletkenlerdir. Süperiletken hale gelmek için düşük sıcaklıklar gereklidir ve süperiletken durumunda çok keskin bir geçiş ve mükemmel diyamanyetizma sergilerler.

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi örnek bir $\mu_0 H_c$ değerinde süperiletken hale keskin bir geçiş yapar ve bu değer in hemen üstünde normal hale geçer. Bunlara ek olarak, $\mu_0 H$ manyetik alanı artarken malzemenin manyetik alanı değişmez ve $\vec{B} = 0$ olur. $\mu_0 H$ manyetik alanı $\mu_0 H_c$ değerini aştığı zaman malzeme normal hale döneceğinden, alan malzeme içine nüfuz eder ve $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ olur. Bir süperiletkenin mıknatıslanmasının, μ_0 boşluğun manyetik geçirgenlik katsayısı, M birim hacimdeki manyetik moment veya mıknatıslanma olmak üzere matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H}_0 + \vec{M}) \quad (1.3)$$



Şekil 1.4. I. tür (kırmızı çizgi) ve II. tür (mavi çizgi) süperiletkenlerde mıknatıslanmanın (M), manyetik alanla (H) değişimi (URL-4, 2016).

1.3.2. II. Tür Süperiletkenler

II. tür süperiletkenler, $\mu_0 H_{c1}$ alt kritik alanı ve $\mu_0 H_{c2}$ üst kritik alanı olmak üzere iki alanla karakterize olur. $\mu_0 H_{c1}$ 'in altında süperiletken I. tür süperiletken gibi davranarak manyetik alanın örnek içine nüfuz etmesini engelleyen ve örnek yüzeyinde akan Meissner akımları durumundadır. Manyetik alan $\mu_0 H_{c1}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ arasında bir değerde ise manyetik alan vorteksler olarak adlandırılan küçük mikroskobik lifçik (filament) halinde süperiletken içine nüfuz edebilir. Bir vorteks, Cooper çifti yoğunluğunun sıfır olduğu normal bir merkezden oluşur ve bu merkez sürekli bir süper akımın aktığı süperiletken bir bölgeyle çevrelenmiştir. Alan daha da artırılırsa örnek içindeki vorteks (girdap) sayısı artar ve üst kritik alan $\mu_0 H_{c2}$ 'de komşu vortekslerin merkezleri örtüşür ve örnek normal duruma geçer (Şekil 1.4) (Müller ve Ustinov, 1997).

1.4. Akı Çivilemesi

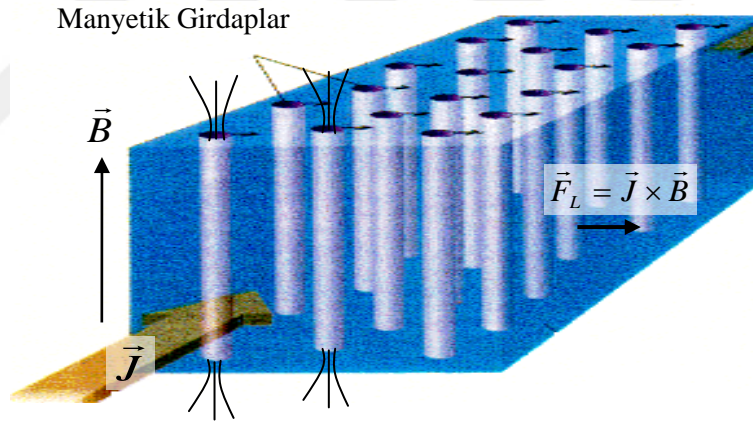
II. tür süperiletkenlerde alt kritik alandan ($\mu_0 H_{c1}$) daha büyük alanlar, kuantumlanmış akı tüpleri şeklinde süperiletken içine girerler. II. tür süperiletkenlerin en önemli özelliklerinden birisi, büyük şiddetteki manyetik alan altında dahi, ihmal edilecek kadar küçük dirençle büyük akım taşıyabilme yetenekleridir.

Uygulanan akım karışık hal durumunda süperiletkenden geçtiğinde, Lorentz kuvveti (\vec{F}_L) vorteks üzerine etki eder (Şekil 1.5). Süperiletken malzemelerde akı çizgilerinin

çivileme” veya sabitlendiği “çivileme” (pinning) merkezleri vardır. Malzemeyi karakterize eden birim hacim başına çivileme kuvveti (\vec{F}_p) örnekte çivileme merkezleri olarak görev yapan dislokasyonlar, gözenekler, tane sınırları, safsızlıklar vb. gibi malzeme özelliğini etkileyen çeşitli kusur yoğunluklarıyla orantılı olarak değişir. Böyle bir kusur vortekslerin serbest hareketini engeller (sınırlar), yani “çivileme” yapar. Uygulanan akım yoğunluğu, kritik akım yoğunluğundan büyük olduğunda Lorentz kuvveti

$$\vec{F}_L = \vec{J} \times \vec{B} \quad (1.4)$$

çivileme kuvveti \vec{F}_p ’yi yener ve bu durumda akı çizgileri hareket eder ve enerji kaybı meydana gelir. Denklem (1.4)’e göre çivileme etkisi şiddetlendikçe, çivileme kuvveti ve dolayısı ile kritik akım yoğunluğu artar.



Şekil 1.5. II. Tür süperiletkenlerde akımın etkisiyle akı çizgileri üzerinde oluşan Lorentz kuvveti (\vec{F}_L) (URL-5, 2016).

Çivileme kuvveti; sıcaklığa, akı çizgisi yoğunluğuna ve çivileme bölgesinin doğasına bağlıdır. Olaya, örnek içerisindeki akı çizgisi yoğunluğu açısından bakarsak; uygulanan manyetik alan, $\mu_0 H_0 > \mu_0 H_{c1}$ olacak şekilde arttırıldığı zaman, akı çizgilerinin hareketi, çivileme merkezlerinin varlığından dolayı engellenecek ve örnekte akı yoğunluğu gradyenti oluşacaktır. Bu kritik gradyentin büyüklüğü, çivileme kuvveti \vec{F}_p ile Lorentz kuvveti \vec{F}_L arasındaki denge ile ilişkilidir. Maxwell-Amper denklemi, $curl \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$

dikkate alındığında, akı yoğunluğundaki kritik gradyent, kritik bir akım yoğunluğuna (J_c) eşlik edecektir.

Vorteks çivilenmesi (*vortex pinning*) arttıkça; vortekslerin hareketinden ileri gelen enerji kaybı azalır ve vorteksler harekete başlamadan önce örnekten geçirilebilecek maksimum akım yoğunluğu (J_c) artar. Aynı zamanda kalıcı veya tuzaklanan mıknatıslanma ($M_{remanent}$) artar. Mıknatıslanma histeresizi genişler ve bu mıknatıs yapımında önemli bir özelliktir. Tersinmezlik alanı $\mu_0 H_{irr}$ artar (Çelebi, 2004).

1.5. Tersinmezlik Çizgisi

Tersinmezlik çizgisi, büyük anizotropi ve kısa eş uyum uzunluğuna sahip II. tür yüksek sıcaklık oksit süperiletkenlerde görülür.

II. tür süperiletkenlerde manyetik akılar, örgü kusurlarında ve safsızlık bölgelerinde çivilecek ve bu bölgelerde vortekslerin hareket etmelerini önleyen çivileme merkezleri oluşacaktır. Çivileme merkezlerinin davranışlarını kusurlar, katkılamalar, termal etkiler, Lorentz kuvveti, çivileme kuvveti, sıcaklık ve manyetik alan etkilemektedir. Bu karışık davranışı anlamak için tersinmezlik çizgisi, yol gösterici bir rol oynamaktadır.

Tersinmezlik çizgisi, vortekslerin davranışını ve mıknatıslanma davranışı konusunda bilgi verir. II. tür süperiletlerde akı çivilenmesinin olmadığı durumda malzeme ideal mıknatıslanma sergiler. Yani; süperiletken bir malzemede, dışarıdan uygulanan manyetik alanın arttırılıp, azalması sonucunda aynı mıknatıslanma-alan ($M-\mu_0 H$) davranışı görülür ve tersinir davranış sergiler. Fakat akı çivilenmesi olması durumunda ise, aynı $M-\mu_0 H$ davranışı görülemeyecektir. Çünkü, uygulanan manyetik alan $\mu_0 H_{c2}$ değerini aştıktan sonra malzeme tamamen süperiletken olmayan davranış sergiler. Uygulanan manyetik alan azaltılıp tersinmezlik alanının ($\mu_0 H_{irr}$) altına indiğinde, malzemede tuzaklanan akıdan dolayı kalıcı bir mıknatıslanma oluşacak ve $M-\mu_0 H$ davranışı tersinmez davranışa sebep olacaktır. Malzeme tersinmezlik çizgisinin altında ($\mu_0 H < \mu_0 H_{irr}$) tersinmez davranış sergilerken, üstünde ($\mu_0 H_{irr} < \mu_0 H < \mu_0 H_{c2}$) tersinir davranış sergiler.

Tersinmezlik çizgisinin altında vorteksi harekete geçirmek için ısısal etkiler ve Lorentz kuvveti, çivileme kuvvetine göre baskın davranış sergilemeyerek vorteksin çivilenmesine neden olur. Tersinmezlik çizgisinin üstünde ise ısısal etkiler ve Lorentz kuvveti daha baskın hale gelerek, vorteksin serbestçe hareket (akı sürüklenmesi) etmesine

neden olur. Akı çizgilerinin ısıl olarak kazandığı enerji sonucu çivilenme durumunun tersinmezliğe yol açacağı belirtilmiştir (Brandt, 1991).

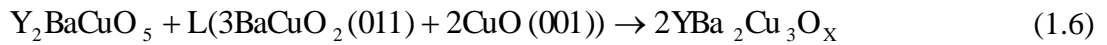
Tersinmezlik çizgisi ayrıca, vortekslerin bulunduğu faz hakkında da bilgi verir. Vorteks, tersinmezlik çizgisinin altında “vorteks cam” veya “vorteks katı” fazında bulunurken, tersinmezlik çizgisinin üstünde “vorteks sıvı” fazında bulunacaktır. Tersinmezlik çizgisinin vorteks örgüsünün erimesi ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir (Fisher vd., 1991). Akı örgüsünün erimesi gerçek bir faz geçiştir. Bu faz geçişi ile kritik sıcaklığa yakın sıcaklıklarda lineer ve lineer olmayan direnç değerleri görülecektir.

1.6. $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Bileşiğinin Faz Diyagramı

YBCO sisteminde iki tür peritektik reaksiyon bulunmaktadır: 1200°C 'nin üzerinde YBCO bileşiği yüksek sıcaklıklarda ayrışarak Y_2O_3+L (L: sıvı faz) bölgesini oluşturur ve sıcaklık azaltıldığında bu iki faz peritektik olarak yeniden birleşerek Y_2BaCuO_5 (211) fazını oluşturur.



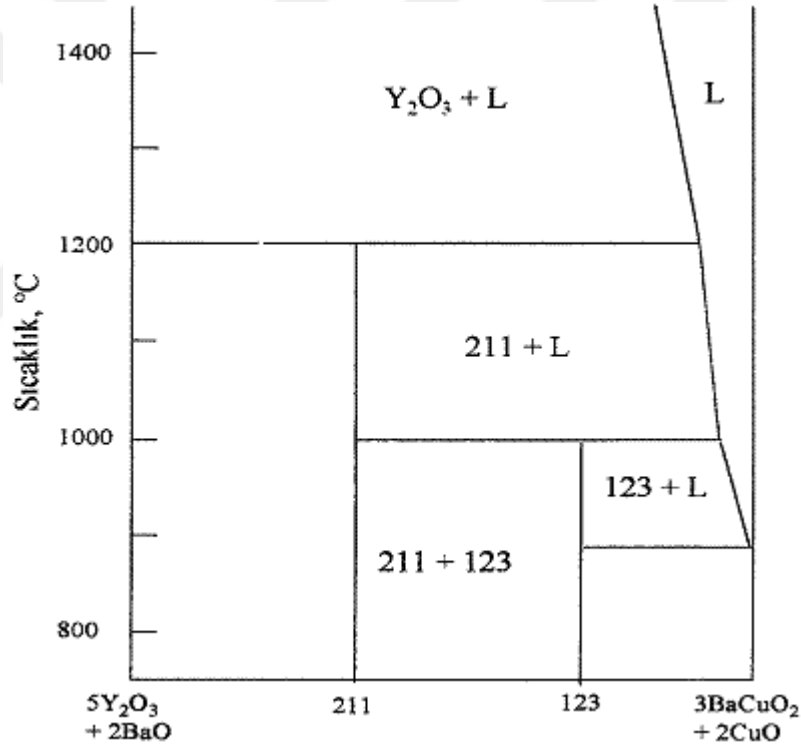
Sıcaklık 1000°C dolaylarına geldiğinde 211 fazı sıvıyla tekrar reaksiyona girerek 123 fazını oluşturur. Diğer bir deyişle 211 fazı peritektik reaksiyon sonucunda 123 fazı içinde tuzaklanır (Şekil 1.6).



YBCO süperiletkeni oluştuktan sonra fiziksel özelliklerinin iyi olması için 123 fazı içinde tuzaklanan sıvı fazının yapı içerisine homojen bir şekilde dağılması gerekir. Bu durumun gerçekleşmesi için küçük boyutlu 211 parçacıkları yapı içerisinde homojen olarak dağılmalıdır.

Eritme-Yönlendirme-Büyütme [Melt-Textured-Growth (MTG)] yönteminde örnek peritektik sıcaklığa doğru yavaşça soğutulur ve bunun sonucunda oldukça yoğun kıvamlı bir örnek elde edilir. Bununla beraber birçok durumda süperiletken fazın teması çok zayıftır. 123 fazının büyümesi için hem 211 hem de sıvı bölge oluşturulmalıdır. Bu nedenle

211 dağılımı düzgün olmadığı zaman, tepkime 211'in yoğunluğunun az olduğu bölgede sürekli ilerleyemez. 211+L bölgesindeki örnek yavaşça soğutulursa 211 daha büyük ve süperiletken fazın zayıf temasıyla sonuçlanacak düzgün olmayan bir dağılımla büyür. Eğer örnek nispeten yüksek bir sıcaklıkta belli bir zaman periyodunda eritilir ve yavaş soğutulmadan sonraki peritektik sıcaklığı hızlı bir şekilde geçerse, Y_2O_3 parçacıkları katılaştırılmış sıvı faz ve amorf fazdan oluşur. O zaman hızlı soğutulan plakalar 211 fazını üreten sıvıyla Y_2O_3 'in tepkimeye girdiği 211+L bölgesi yeniden ısıtılır. 211 fazı Y_2O_3 çekirdekleri olduğu için Y_2O_3 dağılımı kontrol edilirse 211 fazının kontrol edilmesi mümkündür (Murakami, 1992). Son yapıdaki küçük boyutlu 211'in homojen olarak dağılması için plakalar iyice öğütülmelidir (Çakır, 2010).



Şekil 1.6. YBCO bileşiği için ikili faz diyagramı (Murakami, 1992).

1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Wu ve arkadaşları tarafından Y-Ba-Cu-O sisteminin 92 K'in altına soğutulduğunda süperiletken faza geçtiği belirlenmiş (Wu vd.,1987) ve o tarihten bu yana kablosuz enerji depolama sistemleri, maglev treni, süperiletken motorlar, jeneratörler, güç kabloları ve külçe mıknatıslar gibi teknolojik uygulamalar için birçok çalışma yapılmıştır.

İyi özelliklere sahip süperiletkenin makro ve mikro yapısında süperiletkenliği bozan etkenlerin en az oranda olması önemli bir etkidir. Bu da, üretim aşamasında kullanılan yöntem ile fark göstermektedir. Teknolojik uygulamalar için büyük tanelere sahip örnekler ihtiyacı duyulmaktadır. Bu yüzden örneğin üretim aşaması mümkün olduğu kadar basit olmalı, maliyeti düşük olmalı ve yüksek verime sahip olmalıdır. Bu özellikler göz önüne alındığında Eritme–Yönlendirme–Büyütme [Melt–Textured–Growth (MTG)] yöntemi uygun seçeneklerden biridir.

II. tür süperiletkenlerde üretilen kristal kusursuz ise akı hareket eder ve direnç meydana gelir. Fakat, kristal kusurlar içerirse akı hareketi önlenir. Akı hareketinin önlenmesi, yüksek kritik akım yoğunluğunu artırmasının yanı sıra manyetik alana ve sıcaklığa dayanıklı üstün özellikli süperiletkenlerin üretiminde önemli rol oynamaktadır. Bu yüzden çivileme mekanizmasını anlamaya ve çivileme merkezlerinin sayısını yeterince arttırmaya yönelik çalışmalar oldukça fazladır (Matsushita vd., 1985).

YBCO bileşiklerinin elde edilme sürecinin bir parçası olan hızlı soğutma işlemi ile oluşan ikincil 211 fazlarının etkin bir çivileme merkezi olarak çalıştığı bilinmektedir (Murakami vd., 1991). 211 fazı Y_2O_3 çekirdeklerinden oluştuğu için Y_2O_3 dağılımı kontrol edilirse 211 fazının kontrol edilmesi mümkündür (Murakami, 1992). Bir altlık üzerine yerleştirilen Y_2O_3 tabakasının $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 'nin büyütülmesinde etkili olduğu bilinmektedir (Hasegawa vd., 2000). Ayrıca külçe YBCO ve ince filminin oksijen içeriği o malzemenin süperiletkenlik özelliğiyle ilgili çok önemli bir parametredir (Zheng vd., 2003; Diko vd., 2008).

YBCO tek kristallerinde T_c 'ye yakın sıcaklıklarda doğrusal olmayan manyetik davranış gözlenmiş, doğrusal olmayan manyetik davranışın ana kaynağının akı sürüklenmesi ile açıklanabileceği önerilmiştir (Xenikos ve Lemberger, 1990).

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerdeki karmaşık çivileme davranışını, doğrusal olmayan manyetik davranışı ve termal aktivasyon etkisini anlamak için büyük akı sürüklenmesi (giant flux creep) modeli önerilmiştir (Yeshurun ve Malozemoff, 1988). Bu modele göre, yüksek sıcaklık süperiletkenlere özel n üstel parametresi tanımlanır. Tek kristal YBCO için $n \sim 1,5$ 'dir (Valladares vd., 2012; Yeshurun ve Malozemoff, 1988).

II. tür süperiletkenlerde termal dalgalanmalar vorteks örgünün erimesini önlemekte ve iki ayrı vorteks fazın (vorteks cam, vorteks sıvı) oluşmasına sebep olmaktadır. Örneğin süperiletkenin ısı işlemi esnasında yapılan hızlı (ani) soğutmanın neden olduğu termal

dalgalanma örneğın çok daha kompleks bir faz diyagramının ve 211 ikincil fazının oluşmasına yol açmaktadır (Vinokur vd., 1998).

Vorteks örgüsündeki faz geçişı için tersinmezlik çizgisi sınır çizgisidir ve bu geçiş vorteks cam (vorteks glass) modeli ile açıklanmaya çalışılmıştır (Fisher, 1989).

Bu çalışmada, YBCO süperiletken örneklerinde altlık olarak kullanılan Y_2O_3 'ın yüksek sıcaklık süperiletkenlerdeki karmaşık çivileme davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi ve tersinmezlik çizgisi belirlenerek vortekslerin davranışı hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, seçilen bir üretim sıcaklığında pota ile örnek arasında Y_2O_3 'ın kullanılmadığı, toz ve tablet olarak kullanıldığı külçe süperiletkenler MPMG yöntemi ile üretildi. Daha sonra Y_2O_3 'ın tablet olarak kullanıldığı üç farklı sıcaklık için süperiletken külçe üretimi MPMG yöntemi ile yapıldı. Bu işlemlerle literatüre aşağıdaki bilimsel yenilikler ile katkı sağlandı:

- 1) Literatürde mıknatıslanma–sıcaklık ($M-T$) eğrilerinde büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) ve vorteks cam (*vorteks glass*) modeli birçok malzeme türü için çalışılmış, fakat Y_2O_3 tabakalı MPMG YBCO süperiletkeni için çalışılmamıştır. Bu çalışmada ise Y_2O_3 tabakası farklı şekillerde uygulanarak vortekslerin davranışı hakkında bilgi edinilmiştir.
- 2) Literatürde mıknatıslanma–sıcaklık ($M-T$) eğrilerine büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modeli uygulanmasına rağmen YBCO için öz direnç–sıcaklık ($\rho-T$) eğrilerine uygulanmamıştır. Bu çalışmada ise büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modeli her iki ölçüm türüne de uygulanarak, karşılaştırılmaları sağlanmıştır.

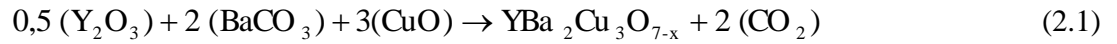
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Çalışma¹

Bu çalışmada, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Araştırma Laboratuvarı'nda TÜBİTAK TBAG-1001 “107T751” nolu proje kapsamında Eritme–Toz–Eritme–Büyütme [Melt–Powder–Melt–Growth (MPMG)] yöntemi kullanılarak üretilen YBCO örnekleri kullanıldı. Örneğin üretim süreci aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1. YBa₂Cu₃O_{7-x} Bileşiğinin Hazırlanması

YBa₂Cu₃O_{7-x} bileşiğini elde etmek için kullanılan Y₂O₃, BaCO₃ ve CuO tozlarının miktarları Denklem (2.1)'deki kimyasal tepkime yardımıyla hesaplandı ve 0,1 mg hassasiyetli elektronik teraziyle tartıldı. Ardından akik taşından yapılmış havan yardımıyla tozların birbiri içerisinde homojen bir şekilde karışması sağlandı.



Bileşik için kullanılan tozların molekül ağırlıkları ve saflık dereceleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1. Başlangıç kompozisyonu hazırlamasında kullanılan toz bileşikler

Tozun Adı	Sembolü	Saflık Derecesi (%)	Molekül Ağırlığı (a.u)
İtriyum Oksit	Y ₂ O ₃	99,99	225,81
Baryum Karbonat	BaCO ₃	99,999	197,35
Bakır Oksit	CuO	99,99	79,54

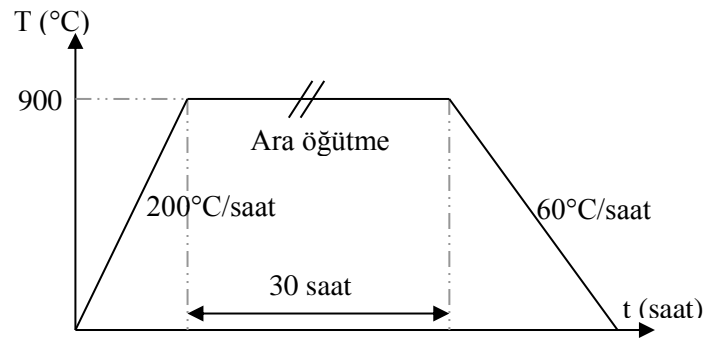
Akik taşından yapılmış havan içinde bir süre elde karıştırılan başlangıç tozları daha homojen bir karışım elde etmek amacıyla öğütme aletinde 1 saat öğütüldü. Öğütme

¹ “Deneysel Çalışma” başlığı (alt başlıklarıyla birlikte), (Çakır, 2010) kaynağı kullanılarak hazırlandı.

sonrasında toz karışım, alümina (Al_2O_3) pota içerisine konularak ana fazı oluşturacak ikili ve üçlü fazların oluştuğu kalsinasyon işlemi (toz karışımının ilk termo-kimyasal işlemini oluşturan ilk reaksiyon) için kare fırın içerisine yerleştirildi (Şekil 2.1). Fırın $200^\circ C/saat$ hızla $900^\circ C$ 'a ısıtıldı ve bu sıcaklıkta 30 saat süreyle bekletildi. Karışımın homojenliğini arttırmak için ilk 15 saat sonunda fırından alındı ve külçe haline gelen koyu gri renkli karışım havan tokmağıyla toz haline getirildi ve 1 saat süreyle ara öğütme işlemi yapılarak tekrar fırına yerleştirildi. 30 saatlik süre sonunda fırın $1^\circ C/dak.$ hızla oda sıcaklığına soğutuldu (Şekil 2.2). Kalsinasyon işlemi tamamlandıktan sonra külçeleşen karışım, havanda tekrar dövülerek toz haline getirilmesinin ardından 1 saat süreyle öğütüldü.



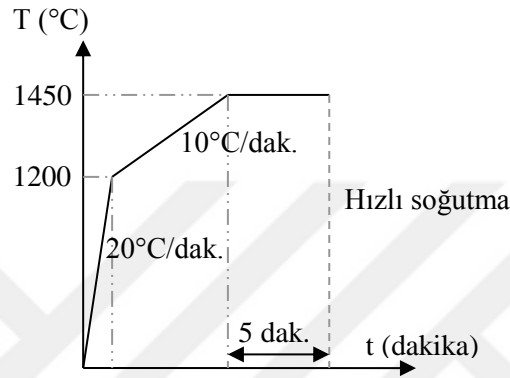
Şekil 2.1. Euroterm kontrollü Lenton marka kare fırın



Şekil 2.2. YBCO toz karışımının kalsinasyon işlemi şeması

Kalsinasyon sonrasında tamamen yeşil renk alan tozlar platin bir potaya konularak eritme işlemi için kare fırına yerleştirildi. Tozlar $20^\circ C/dak.$ hızla $1200^\circ C$ 'ye, $10^\circ C/dak.$ hızla $1450^\circ C$ 'ye çıkarıldı ve bu sıcaklıkta 5 dakika bekletildi (Şekil 2.3). 5 dakika sonunda

fırının kapağı açılarak içindeki erimiş toz, bakır bir levhaya dökülüp, erime esnasındaki faz durumunu korumak için üzerine bakır bir plaka ile vurulmak suretiyle hızlı soğutma (*quench*) yapıldı (Şekil 2.4). Bu işlem sonunda küçük plakalar haline gelen tozlar havanda elle ezilerek toz haline getirildi ve tekrar 1 saat süreyle agatta öğütüldü. Elde edilen küçük boyutlu tozlardan 4 gram tartılarak presleme aleti kullanılarak 1 dakika uygulama süresiyle 3 ton/cm^2 ($\sim 300 \text{ MPa}$) basınç altında 13 mm çapında tabletler basıldı.



Şekil 2.3. YBCO toz karışımının eritme ısıl işlemi şeması



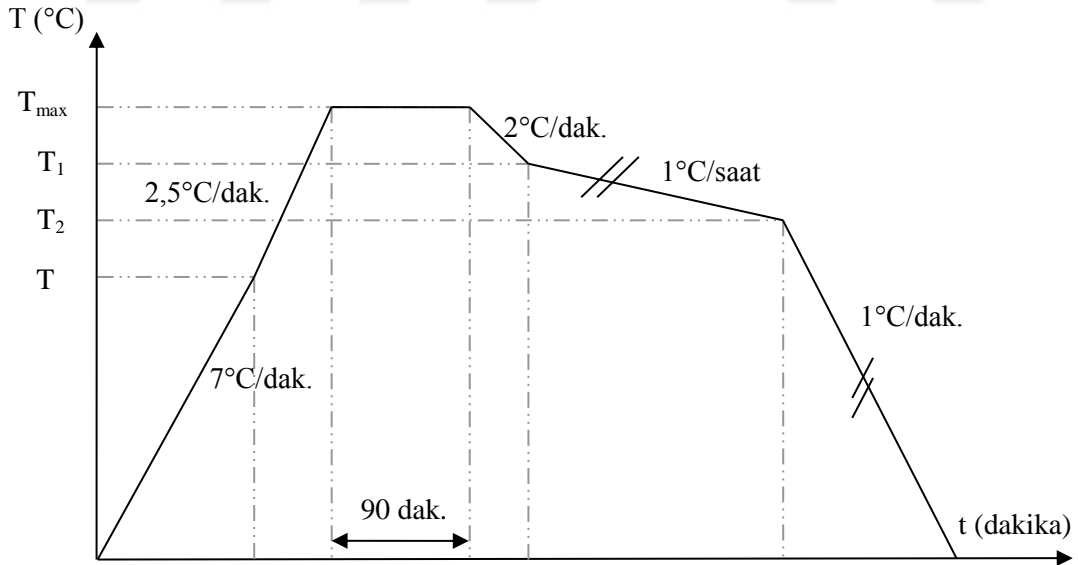
Şekil 2.4. Bakır bir plaka ile vurulmak suretiyle hızlı bir şekilde soğutulan YBCO

Elde edilen tabletler bir pota içerisine konularak tüp fırına yerleştirildi (Şekil 2.5). Şekil 2.6'da hazırlanan YBCO örneklerine uygulanan ısıl işlem şeması görülmektedir. Fırına yerleştirilen örnekler önce 7°C/dak. hızla T sıcaklığına ve daha sonra $2,5^\circ\text{C/dak.}$ hızla T_{maks} sıcaklığına ısıtıldı. Bu sıcaklıkta 90 dakika bekletildikten sonra 2°C/dak. hızla 50°C soğutuldu (T_1 sıcaklığı). Bu aşamadan sonra 1°C/saat hızla 50°C daha soğutuldu (T_2 sıcaklığı) ve ardından 1°C/dak hızla oda sıcaklığına soğutuldu. T_{maks} sıcaklıkları 1040,

1050 ve 1060°C olan örnekler kolaylık olması açısından Y1040_tablet, Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve Y1060_tablet olarak adlandırıldı. Bu örnekler için; T değerleri sırasıyla 890, 900, 900, 900 ve 910°C, T_1 değerleri sırasıyla 990, 1000, 1000, 1000 ve 1010°C, T_2 değerleri sırasıyla 940, 950, 950, 950 ve 960°C'dir.



Şekil 2.5. GSL-1700-80X marka vakumlu yüksek sıcaklık tüp fırın

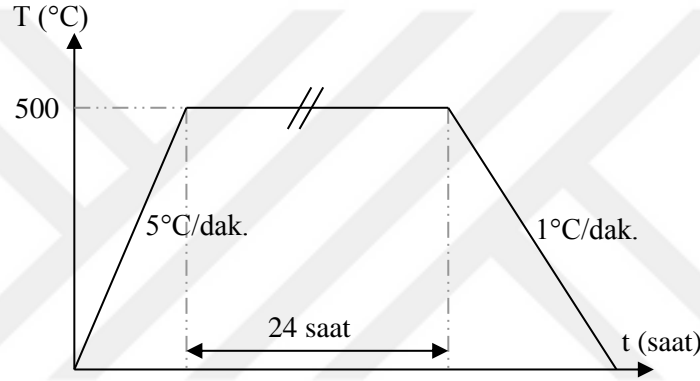


Şekil 2.6. YBCO örneklerinin ısıl işlem şeması

Y1050_boş örneği platin bir plaka üzerine yerleştirilerek üretildi. Dışarıdan Y_2O_3 katkısı yoktur ve platin tabakadan hiçbir katkılama gelmemektedir. Daha sonra Y_2O_3 tozunun etkisini incelemek için pota içerisine erime sıcaklığı 2410°C olan Y_2O_3 tozu

serpilerek Y1050_toz örneği üretildi. Ayrıca Y_2O_3 'den yapılmış tabletin bulunduğu durumun mu yoksa Y_2O_3 tozunun mu daha iyi olduğunu görmek için tablet kullanılarak, Y1050_tablet örneği üretildi. Daha sonra kristal büyütmede uygun sıcaklığın belirlenmesi için Y1040_tablet ve Y1060_tablet örnekleri üretildi. Bu örnekler yüksek sıcaklığa dayanıklı bir potaya yerleştirilmeden önce alta Y_2O_3 tozundan yapılmış yaklaşık 1 mm kalınlıklı bir tablet yerleştirildi.

Kristal büyütme işleminden sonra üretilen tek kristal YBCO örneği Şekil 2.7'deki ısıtım işlem şemasında görüldüğü gibi 500°C 'de 24 saat süreyle saniyede 300 ml/dak. hızla akan oksijen gazı atmosferinde tavlandı.



Şekil 2.7. Üretilen YBCO örneklerinin tavlama ısıtım işlem şeması

2.1.2. Fiziksel Analiz

2.1.2.1. Düşük Sıcaklık Direnç Ölçümü

Özdirenç–sıcaklık değişimleri, standart dört nokta yöntemiyle, Şekil 2.8'deki Quantum Design PPPS sistemi ile 40-100 K aralığında yapıldı. Kalınlığı 1,5 mm dikdörtgen şeklinde kesilen örneklere, yüksek iletkenliğe sahip gümüş boya kullanılarak, ince bakır tellerle dört tane kontak yapıldı. Ölçüm hatalarını en aza indirmek için kontaklar arasındaki mesafenin eşit olmasına dikkat edildi. Örnek üzerine gümüş boya ile yapıştırılan dış iki bakır telden sabit bir akım geçirildi ve içteki iki bakır tel arasından gerilim ölçüldü.

Örneklerin özdirenç ölçümü, 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlarda ve 40–100 K sıcaklık aralığında sıfır altında soğutma (*Zero-Field-Cooled, ZFC*) durumunda yapıldı. ZFC işleminde, örnek alan uygulanmadan soğutuldu ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının

altında alan uygulanmaya başlandı ve alan altında ısıtıldı. Ölçüm, ısıtma esnasında alındı. Manyetik alan, Şekil 2.8’de görülen sıvı helyum tankı içindeki Nd süperiletken telden oluşan bobine akım uygulanmasıyla elde edilmektedir. Ölçümlerde uygulanan akım 5 mA olup sıcaklık artış hızı ise 4 K/dak.’dır.



Şekil 2.8. Quantum Design PPMS Sistem

2.1.2.2. Düşük Sıcaklık Mıknatıslanma Ölçümü

Mıknatıslanma ölçümleri “Quantum Design PPMS” sisteminin VSM modülü kullanılarak yapıldı. Mıknatıslanma–sıcaklık ölçümleri 4 K/dak. hızında ve 40-100 K sıcaklık aralığında manyetik alan örneklerin *c*-eksenlerine paralel olacak şekilde, 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanları uygulanarak, hem sıfır alan altında soğutma (*Zero-Field-Cooled, ZFC*) hem de alan altında soğutma (*Field-Cooled, FC*) durumunda yapıldı. ZFC işleminde, örnek alan uygulanmadan soğutuldu ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının altında alan uygulanmaya başlandı ve alan altında ısıtıldı. FC işleminde ise, örnek manyetik alan altında soğutuldu ve ısıtma işlemi sırasında da alan uygulanmaya devam edildi. Her iki işlemde de ölçüm, ısıtma esnasında alındı.

2.2. Sayısal Çalışma

2.2.1. Tersinmezlik Çizgisi (Irreversibility Line)

II. tür süperiletkenlerde $\mu_0 H_{c1}$ 'den itibaren manyetik alanın artmasına bağlı olarak, akı çizgileri süperiletken örnek içine nüfuz eder. Fakat akı çizgileri süperiletkenin tüm alanına rastgele yayılmaz ve süperakımlar tarafından sıkıştırılarak belirli bölgelerde toplanırlar. Böylece, süperakımlarla çevrelenmiş akı çizgileri adı verdiğimiz vorteksler meydana gelir. Her bir vorteks, süperakımlar tarafından çevrelenmiş bir normal bölgeye sahiptir ve manyetik alanın normal bölgeye nüfuz etmesine izin verir.

Vortekslerin olduğu bölgelere nüfuz eden bir manyetik alan olması sebebiyle bu bölgeler süperiletken özelliği göstermezken (süperelektron yoğunluğu yaklaşık sıfır), vortekslerin dışında kalan bölgeler ise süperiletken halde bulunur. Bu durumda, vorteks durumu hem süperiletken halin hem de normal halin bulunduğu karışık faz olarak da ifade edilir.

II. tür süperiletkenlerde akı çizgilerinin hareket etmesi ile büyük değerlerde dirençler görülecektir. Yeterince büyük bir akım, vortekslerin akıma dik bir yönde hareketine neden olur. Bu da, akımın zamanla değişimine neden olacak ve direnç meydana gelecektir. Safsızlıklar ekleyerek, vorteksleri bir yere çivilemek ve hareketlerini engellemek, karışık durumdaki bir süperiletken için sıfır direnç oluşturmak mümkün olabilir (Demirdiş, 2008).

İdeal II. tür süperiletkenler için mıknatıslanma davranışı tersinir bir özelliğe sahip iken, gerçekte yapısal kusurlar ve safsızlıklardan dolayı ideal bir mıknatıslanma davranışı sergileyememektedir. Çünkü $\mu_0 H_{c1}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ aralığında akı kısmen örneğe nüfuz edecek ve ardından kaldırıldığında bir miktar akı kalacaktır. Kalan akı, tuzaklanan akı olarak tanımlanır ve örneğe giren akıdan daha küçüktür. Tuzaklanan akımın kaynağı yapısal kusurlar ve safsızlıklar olup, ideal mıknatıslanma davranışı sergilememesine neden olacaktır.

Süperiletkenin ideal mıknatıslanma davranışı sergilemesi için tersinmezlik sıcaklığı (T_{irr}) ve tersinmezlik alanı ($\mu_0 H_{irr}$) bir sınır özelliği göstermektedir. $T_{irr} < T < T_{c,onset}$ ve $\mu_0 H_{irr} < \mu_0 H < \mu_0 H_{c2}$ arasında mıknatıslanma davranışı tersinir özellik gösterirken, düşük sıcaklık ve alanlara gidildikçe tuzaklanan akıdan dolayı tersinmez özellik gösterecektir.

Tersinmezlik sıcaklığı (T_{irr}) ve tersinmezlik alanı ($\mu_0 H_{irr}$), II. tür süperiletkenlerde karışık durumda görülen ve vorteksler hakkında bilgi veren sıcaklık ve alan değerleridir.

Bu değerlerin alan-sıcaklık düzleminde ($\mu_0 H-T$) çizilmesine tersinmezlik çizgisi (*irreversibility line*) denir.

Tersinmezlik çizgisi, Denklem (2.2)'deki formül kullanılarak çizilir.

$$\mu_0 H_{irr}(T) = \mu_0 H_0 \left(1 - \frac{T_{irr}(H)}{T_{irr}(0)} \right)^n \quad (2.2)$$

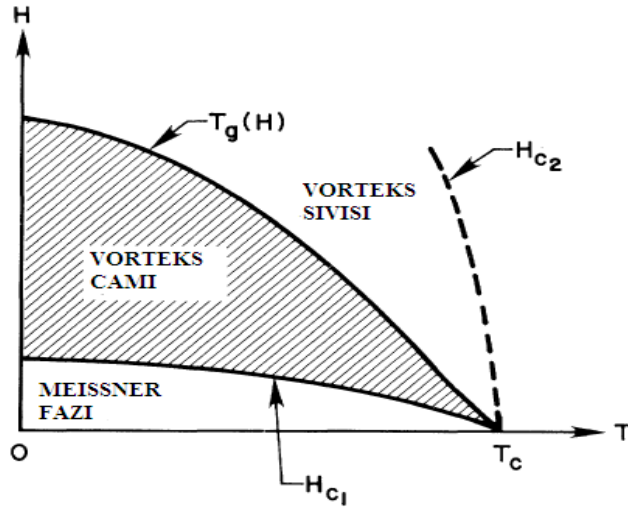
Burada $\mu_0 H_0$, 0 K'deki manyetik alan, $T_{irr}(0)$; 0 Tesla'daki tersinmez sıcaklık, n ise üstel parametredir ve her yüksek sıcaklık süperiletkeni için farklı değer alır. Tek kristal YBCO için $n \sim 1,5$ olup, büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modeli ve vorteks cam (vortex glass) modeli ile açıklanır (Yeshurun ve Malozemoff, 1988; Viera ve Schaf, 2003; Valladares vd., 2012). Polikristal YBCO için ise, literatürde, n üstel parametresi 1,3 ile 1,7 aralığındadır.

1988 yılında Yeshurun ve Malozemoff (Yeshurun ve Malozemoff, 1988) tarafından öne sürülen model, Anderson ve Kim (Anderson ve Kim, 1964) tarafından öne sürülen *akı sürüklenmesi* modelini temel almıştır. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerdeki karmaşık çivileme davranışını ve vorteks örgüsündeki termal aktivasyon etkisini anlayabilmek için, manyetik alana ve sıcaklığa bağlı olarak büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep, gfc*) modelini öne sürdüler. Bu modele göre vorteksler; eğer Lorentz kuvveti çivileme kuvvetinden büyük ise çivileme bariyerinin üstünde serbest olarak hareket edecektir. Burada çivilenme bariyeri, tersinmezlik çizgisidir. İki modeldeki temel fark, yüksek sıcaklıklarda termal aktivasyonun, mekanik titreşimin ve iletim akım yoğunluğunun çivilenme kuvvetine göre daha baskın hale gelmesidir.

Büyük akı sürüklenmesine göre tersinmezlik çizgisi, $\mu_0 H-T$ faz diyagramı için önemlidir. II. tür süperiletkenlerde vorteksler, hareket etmelerini önleyen örgü kusurlarında ve safsızlık bölgelerinde çivilenirler. Tersinmezlik çizgisinin altında, vorteksler çivilenmiş olur. Tersinmezlik çizgisinin üstünde vorteksler çivileme kuvvetini aşarak serbest olarak hareket edecek olup, kritik akım yoğunluğu (J_c) sıfır olacaktır. $T_{c,onset}$ 'den büyük sıcaklıklarda ise vortekslerin aşırı hareketliliği ve birbiriyle etkileşimlerinden dolayı artık malzeme süperiletken özellik göstermeyecektir. $T_c(H)$ ile $T_{irr}(H)$ arasındaki bölgeye tersinir bölge denir ve bu bölgede çivileme kuvveti gözardı edilebilir (Pena vd., 2013).

1989 yılında Fisher, tersinmezlik çizgisinden faydalanarak yüksek T_c süperiletken oksitlerdeki örgü kusurlarını dikkate alarak vorteks cam (*vorteks glass*) veya vorteks katı

(*vortex solid*) modelini öne sürdü (Fisher, 1989). II. tür süperiletkendeki karışık durumda malzeme içerisindeki vorteksler, safsızlıklar ve örgü kusurları yok ise, bir örgü gibi düzgün sıralanarak vorteks örgüsünü (Abrikosov örgüsü) oluştururlar. Eğer süperiletken, safsızlıklara ve örgü kusurlarına sahipse, bu bölgeler vorteksleri çekecek ve bu bölgeler yapı içerisinde rastgele yerlerde olduklarından dolayı vorteks örgüsünün düzenli yapısını bozarak vorteks camı oluşmasına neden olacaktır. Düşük sıcaklıklarda, vorteksler çok az bir enerjiye sahiptir. Aynı zamanda, çivilenme merkezleri ve vorteksler arasındaki itici etkileşme termal dalgalanmayı göz ardı etmemize neden olur. Sıcaklık artmaya başladıkça, vorteksler ısı enerjisi kazanacak ve denge konumları etrafında titreşim hareketi yapmaya başlayıp, termal dalgalanma baskın hale gelecektir. Sıcaklık yeterli düzeye ulaştığında düzenli vorteks örgüsü bozulup, eriyecektir ve bunun sonucunda vorteks sıvısı (*vortex liquid*) oluşacaktır. $\mu_0 H-T$ faz diyagramında vorteks örgüsü arasındaki geçiş sıcaklığı, vorteks cam sıcaklığı (*vorteks glass temperature, T_g*) olarak tanımlanır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. II. tür süperiletkenin faz diyagramı (Fisher, 1989).

T_g , tersinmezlik sıcaklığı ile de tanımlanabilir. Eğer vorteksler hareket ederlerse, bunun sonucunda süperiletken malzeme bir elektriksel dirence sahip olacak ve süperiletken durumdan normal duruma geçiş başlamış olacaktır. Aynı zamanda, bu durum teknik uygulamalar için olumsuzluk yaratacaktır (Demirdiş, 2008). Burada tersinmezlik çizgisi, vortekslerin hangi fazda olduğunu tanımlamada önemli bir parametredir.

2.2.1.1. Özdirenç–Sıcaklık Ölçümlerinde Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$) ve Üst Kritik Manyetik Alan ($\mu_0 H_{c2}$)

Özdirenç–sıcaklık eğrilerinden tersinmezlik alanı ($\mu_0 H_{irr}$) ve üst kritik manyetik alan ($\mu_0 H_{c2}$),

$$\rho(\mu_0 H_{irr}, T) = 0,1 \rho_n \quad (2.3)$$

$$\rho(\mu_0 H_{c2}, T) = 0,9 \rho_n \quad (2.4)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanır. Burada uygulanan farklı manyetik alanlar altında süperiletkenliğe geçişin başladığı sıcaklık olan $T_{c,onset}$ sıcaklığındaki özdirençin %10 ve %90'ına karşılık gelen sıcaklık değeri, $\mu_0 H-T$ düzleminde tersinmezlik alanının ve üst kritik manyetik alanın sıcaklıklarına karşılık gelir ve yukarıdaki denklemlere göre hesaplanır (Yıldırım vd., 2012; Doğruer vd., 2013; Kumakura vd., 2005). Burada ρ_n , $T_{c,onset}$ sıcaklığındaki özdirenç; $\mu_0 H_{irr}$, tersinmezlik alanı; $\mu_0 H_{c2}$, üst kritik manyetik alandır.

Denklem (2.3)'ten bulunan tersinmezlik alanına karşılık gelen sıcaklık değerleri, $\mu_0 H-T$ düzleminde çizilir ve Denklem (2.2)'ye göre $\mu_0 H_0$ ve n parametreleri hesaplanarak uyum eğrisi elde edilir ve her bir tersinmez sıcaklık değerlerine karşılık yeni tersinmezlik alan değerleri elde edilir. Denklem (2.3)'ten bulunan sıcaklık değerleri ile Denklem (2.2)'den elde edilen parametreler ($\mu_0 H$, n ve T_c) kullanılarak, $\mu_0 H-T$ düzleminde bir eğri çizilir ve tersinmezlik çizgisi adını alır.

Tersinmezlik çizgisi çizilirken, Denklem (2.2)'de yer alan n üstel parametresi hesaplanmıştı. Denklem (2.4)'ten üst kritik manyetik alana karşılık gelen sıcaklık değerleri ve Denklem (2.2)'den bulunan n üstel parametresi kullanılarak, deneysel olarak bulunan üst kritik manyetik alan değerlerine göre bir uyum eğrisi çizilir.

Çizilen iki eğriye göre vortekslerin davranışı konusunda bilgi edinilir.

2.2.1.2. Mıknatıslanma–Sıcaklık Ölçümlerinde Tersinmezlik Sıcaklığı (T_{irr}) ve Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$)

Tersinmezlik sıcaklığını hesaplamak için uygulanan manyetik alan altında alansız (sıfır alan) soğutma (ZFC) işlemi yapılarak, belirlenen alan uygulandı ve sıcaklığın değişmesi ile ölçülen mıknatıslanma değerleri M_{ZFC} olarak kaydedilir. Alanlı soğutma (FC) işlemi yapılarak, belirlenen alanların uygulanmasıyla birlikte sıcaklığın değişimine göre

ölçülen mıknatıslanma değerleri M_{FC} olarak kaydedilir. Aynı sıcaklık değerlerindeki FC ve ZFC mıknatıslanma değerlerinin farkı (ΔM) alınır.

$$\Delta M(T) = M_{FC}(T) - M_{ZFC}(T) \quad (2.5)$$

Mıknatıslanma farkının sıcaklıkla değişimi, mıknatıslanma–sıcaklık ($M-T$) düzleminde çizilir. Çizilen eğri, azalan bir davranış sergileyeceği için mıknatıslanma farkının sıfır ($\Delta M = 0$) olduğu değere karşılık gelen sıcaklık değeri, tersinmezlik sıcaklığıdır (T_{irr}) (Macedo vd., 2014). Böylece uygulanan her bir manyetik alana karşı bir tersinmezlik sıcaklık değeri elde edilmiş olur. $\mu_0 H-T$ düzleminde deneysel olarak bulunan tersinmezlik sıcaklık ve uygulanan manyetik alan değerleri çizilir. Denklem (2.2) kullanılarak $\mu_0 H_0$ ve n parametreleri hesaplanarak uyum eğrisi elde edilir. Bu eğri tersinmezlik çizgisi olarak adlandırılır.

$T_{c,onset}$ sıcaklıklarına karşılık gelen manyetik alan değerleri ve Denklem (2.2)'den hesaplanan n üstel parametresi kullanılarak, uyum eğrisi çizilir. Çizilen iki eğriye göre vortekslerin davranışı konusunda bilgi edinilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Deneysel Çalışma

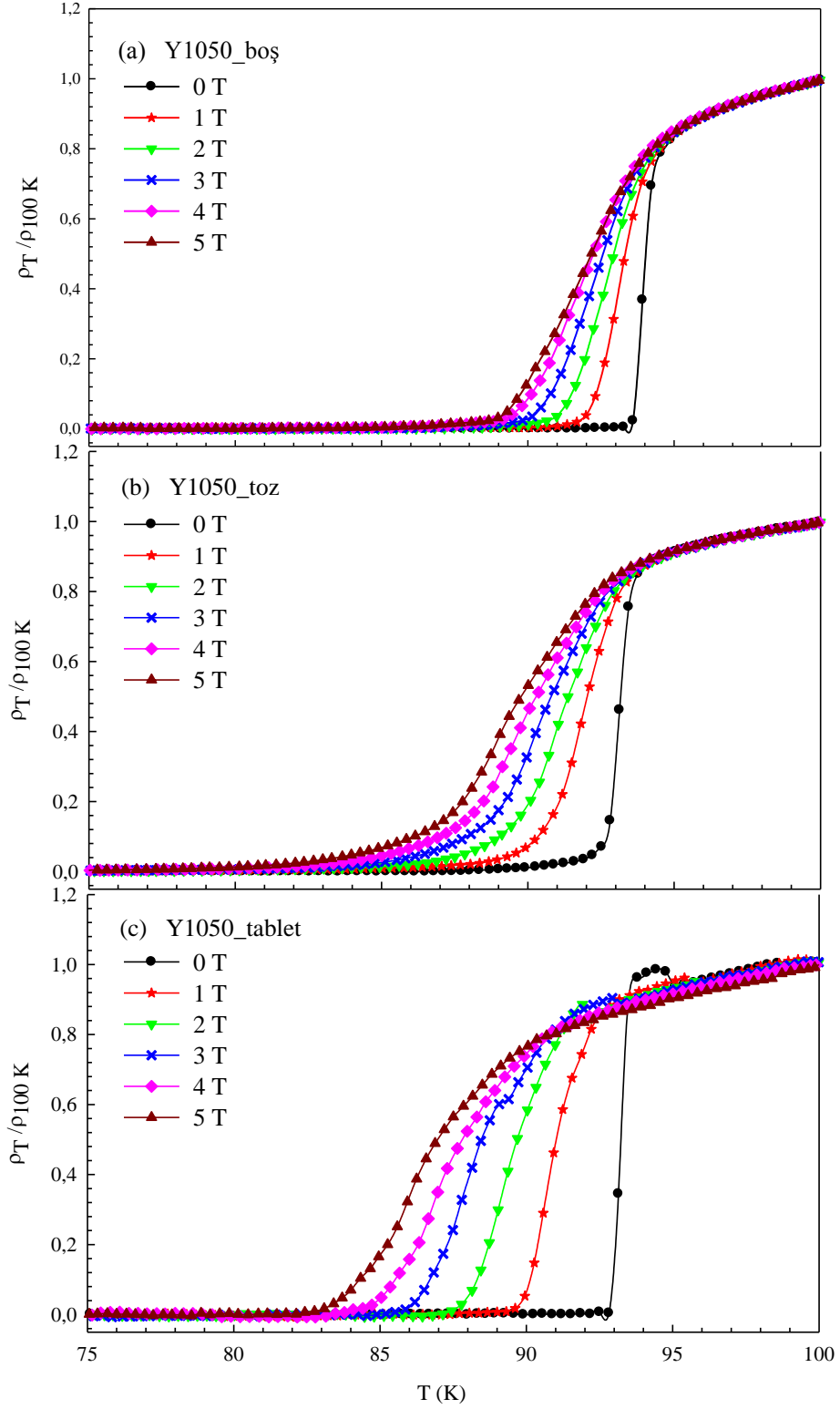
3.1.1. Düşük Sıcaklık Özdirenç–Sıcaklık ($\rho-T$) Ölçümü²

Üretilen örneklerin $\rho-T$ ölçümleri 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlarda sıfır alan altında soğutma (*Zero-Field-Cooled, ZFC*) işleminde yapıldı. ZFC işleminde, örnek alan uygulanmadan soğutuldu ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının altında alan uygulanmaya başlandı ve alan altında ısıtıldı. Ölçüm, ısıtma esnasında 40–100 K sıcaklık aralığında yapıldı.

Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin $\rho-T$ eğrileri Şekil 3.1’de görülmektedir. Y1050_boş örneğinin üretiminde örnek platin bir plaka üzerine Y_2O_3 ilavesi olmadan yerleştirilirken, Y1050_toz örneğinde alümina (Al_2O_3) potanın üzerine Y_2O_3 tozu serpildi. Y1050_tablet örneğinde ise potanın üzerine Y_2O_3 tozundan yapılmış yaklaşık 1 mm kalınlıklı bir tablet yerleştirildi. Platin plakadan ve Al_2O_3 potadan YBCO örneklerine bir katkı gelmemektedir. Bu üç örnek çıplak gözle incelendiğinde Y1050_tablet örneğinin yaklaşık 8 mm civarında tek taneye sahip olduğu görüldü. Ölçümlerde kullanılan örnekler, üretilen külçe örneklerden kesilerek elde edildi ve örneğin tamamını temsil etmemektedir. Her üç örnek için de 0 T manyetik alanda, süperiletkenliğe geçiş eğrileri oldukça diktir. Süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının keskinliği taneler arası iyi bağlantıya bağlıdır (Mohanta ve Behera, 2009) ve keskin süperiletken geçişi, kristalin iyi kalitede olduğunun bir göstergesidir (Sharma vd. 2013). Şekil 3.1’de görüldüğü gibi artan manyetik alanla $T_{c,offset}$ düşük sıcaklıklara kaymaktadır. 5 T manyetik alanda bile süperiletkenliğe geçiş sıcaklık aralığının (ΔT) sadece ~9 K olduğu görülmektedir (Tablo 3.1). Genişlemenin az olması, örneğin manyetik alana karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir. Çünkü uygulanan manyetik alan önce tane sınırlarındaki zayıf bölgeleri normal hale getirdikten sonra tane içine girerek süperiletkenliği bozar (Şekil 3.1). Hızlı soğutma işlemi ile oluşan ikincil 211 fazları etkin bir çivileme merkezi olarak bilinmesine (Murakami vd., 1991) rağmen, ΔT aralığını genişlettiği için ikincil 211 fazlarının çivileme

² Bu bölümde verilen deney sonuçları (Çakır, 2010) kaynağından alınmıştır.

merkezi olarak görev yapmadığı, ayrıca; taneler arası teması daha da zayıflattığı görülmektedir.



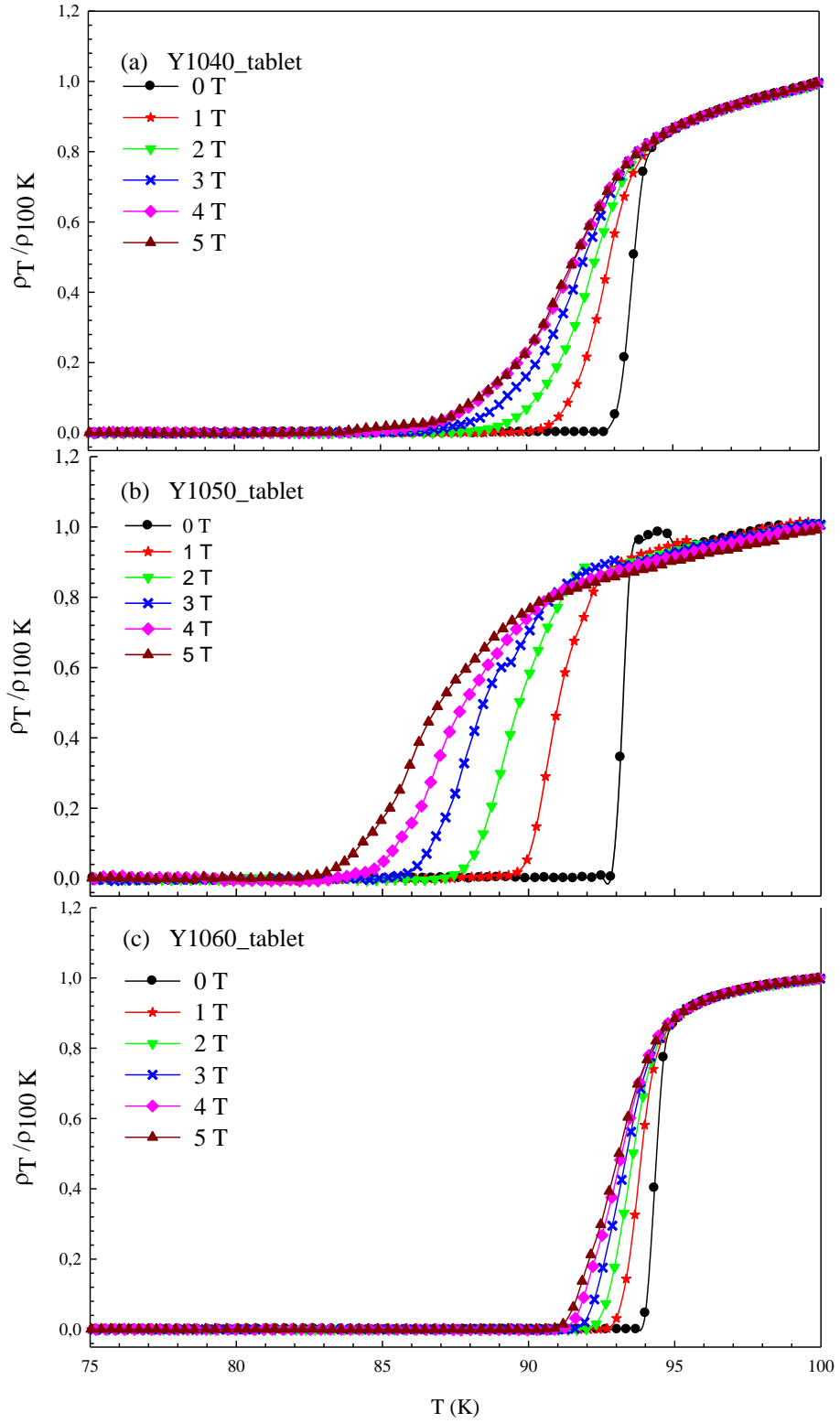
Şekil 3.1. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet örnekleri için 0,1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alan altındaki $\rho-T$ eğrileri (Çakır, 2010).

Tablo 3.1. Y1050_ boş Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alan altındaki $T_{c,onset}$, $T_{c,offset}$ ve ΔT değerleri (Çakır, 2010).

		0 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
Y1050_boş	$T_{c,onset}$ (K)	94,54	94,22	94,17	94,02	93,96	93,80
	$T_{c,offset}$ (K)	93,59	91,67	90,64	89,82	88,82	88,91
	ΔT (K)	0,95	2,55	3,53	4,20	5,14	4,82
Y1050_toz	$T_{c,onset}$ (K)	93,77	93,37	93,28	93,10	92,92	92,60
	$T_{c,offset}$ (K)	91,59	88,66	86,87	85,82	84,66	83,66
	ΔT (K)	2,18	5,11	6,41	7,28	8,26	8,94
Y1050_tablet	$T_{c,onset}$ (K)	93,45	93,04	91,62	91,41	91,08	90,70
	$T_{c,offset}$ (K)	92,92	89,74	87,50	85,87	83,62	82,78
	ΔT (K)	0,53	3,30	4,12	5,54	7,46	7,92

Y_2O_3 ilavesi olmadan üretilen Y1050_boş örneği iyi özellikler gösterirken, Y_2O_3 tabakasının Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinde taneler arası bağlantıyı ve manyetik alana karşı dayanıklılığı azalttığı görülmektedir. Ayrıca, geçiş sıcaklığı aralığında (ΔT) genişleme ve $T_{c,offset}$ değerlerindeki azalma etkin ve homojen olan çivilenme merkezlerinin oluşmadığını göstermektedir.

Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin $\rho-T$ eğrileri Şekil 3.2'de görülmektedir. Örnekler, Y_2O_3 tozundan yapılmış yaklaşık 1 mm kalınlıklı tablet üzerine yerleştirilerek üretildi. Bütün örnekler 0 T manyetik alanda keskin bir süperiletkenliğe geçişe sahiptir ve en yüksek süperiletkenliğe geçiş sıcaklığı, Y1060_tablet örneğinde görülmektedir. Çünkü Y1060_tablet örneğinde $1060^\circ C$ 'deki kristal büyüme sıcaklığında ikincil 211 fazları örnek içine daha homojen dağılarak etkin çivileme merkezleri oluşturacaktır. Artan manyetik alanla birlikte $T_{c,offset}$ değerleri düşük sıcaklıklara kaymasına rağmen geçiş aralığı (ΔT) fazla geniş değildir (Tablo 3.2). Manyetik alana karşı en dayanıklı ve en dar geçiş aralığına sahip örnek de Y1060_tablet örneğidir. Büyük taneli ve aralarındaki teması çok iyi olan bir süperiletken örnek üretimi için Y1060_tablet örneğinin üretim şartlarının uygun olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.2. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet örnekleri için 0, 1, 2, 3,4 ve 5 T manyetik alan altındaki $\rho-T$ eğrileri (Çakır, 2010).

Tablo 3.2. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin 0, 1, 2, 3, 4 ve 5T manyetik alan altındaki $T_{c,onset}$, $T_{c,offset}$ ve ΔT değerleri (Çakır, 2010).

		0 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
Y1040_tablet	$T_{c,onset}$ (K)	94,31	94,27	93,91	93,83	93,79	93,73
	$T_{c,offset}$ (K)	92,65	90,48	89,02	87,48	86,51	86,50
	ΔT (K)	1,66	3,79	4,89	6,35	7,28	7,23
Y1050_tablet	$T_{c,onset}$ (K)	93,45	93,04	91,62	91,41	91,08	90,70
	$T_{c,offset}$ (K)	92,92	89,74	87,50	85,87	83,62	82,78
	ΔT (K)	0,53	3,30	4,12	5,54	7,46	7,92
Y1060_tablet	$T_{c,onset}$ (K)	94,93	94,90	94,84	94,80	94,77	94,41
	$T_{c,offset}$ (K)	93,68	92,68	91,98	91,58	91,24	90,90
	ΔT (K)	1,27	2,22	2,87	3,22	3,53	3,78

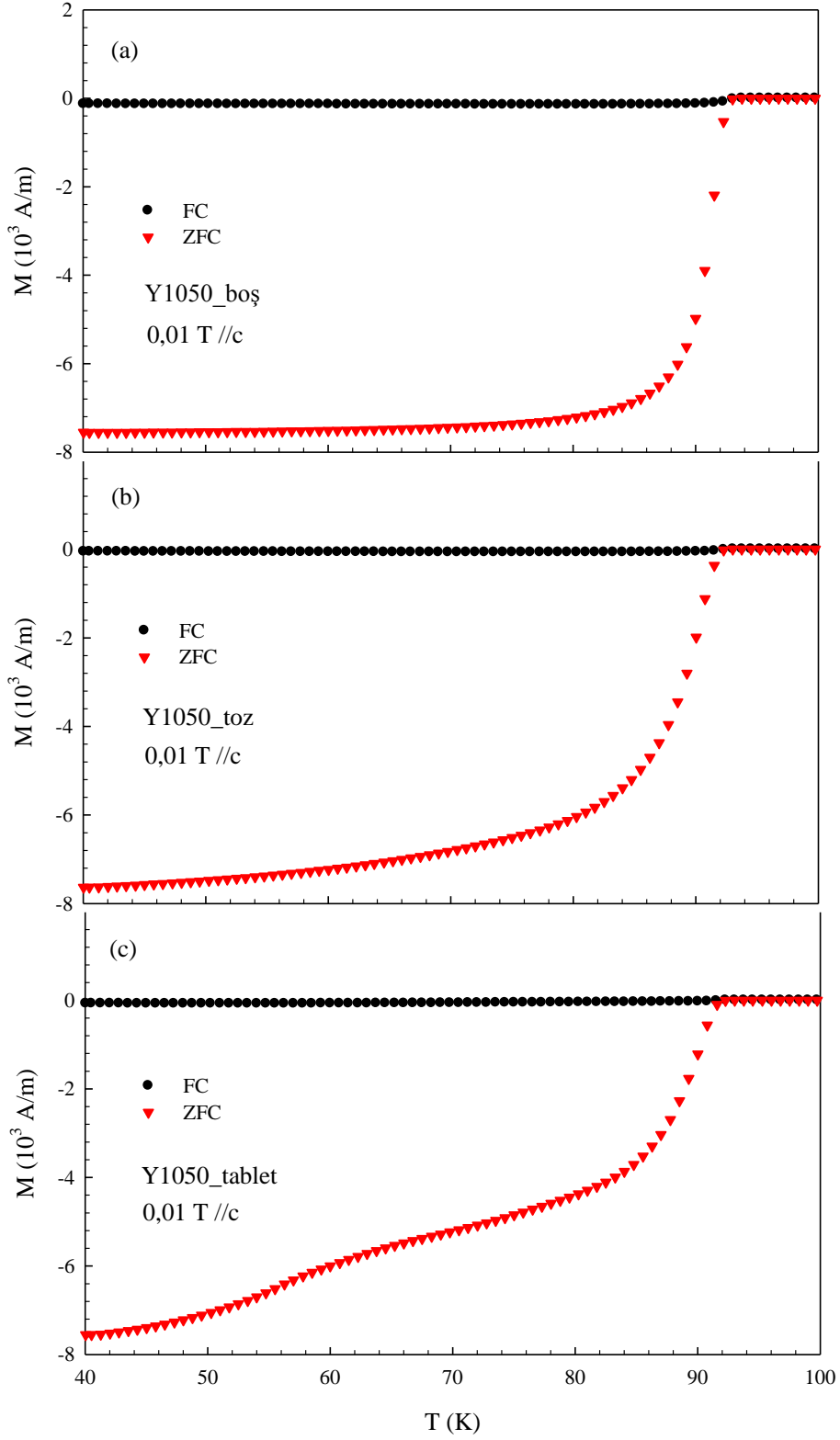
3.1.2. Düşük Sıcaklık Mıknatıslanma–Sıcaklık ($M-T$) Ölçümü

Üretilen örneklerin mıknatıslanma-sıcaklık ölçümleri 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlarda iki şekilde yapıldı: sıfır alan altında soğutma (*Zero-Field-Cooled, ZFC*) ve alan altında soğutma (*Field-Cooled, FC*). ZFC işleminde, örnek alan uygulanmadan soğutuldu ve süperiletkenliğe geçiş sıcaklığının altında alan uygulanmaya başlandı ve alan altında ısıtıldı. FC işleminde ise örnek manyetik alan altında soğutuldu ve ısıtma işlemi sırasında da alan uygulanmaya devam edildi. Her iki işlemde de ölçüm, ısıtma sırasında 40–100 K sıcaklık aralığında yapıldı.

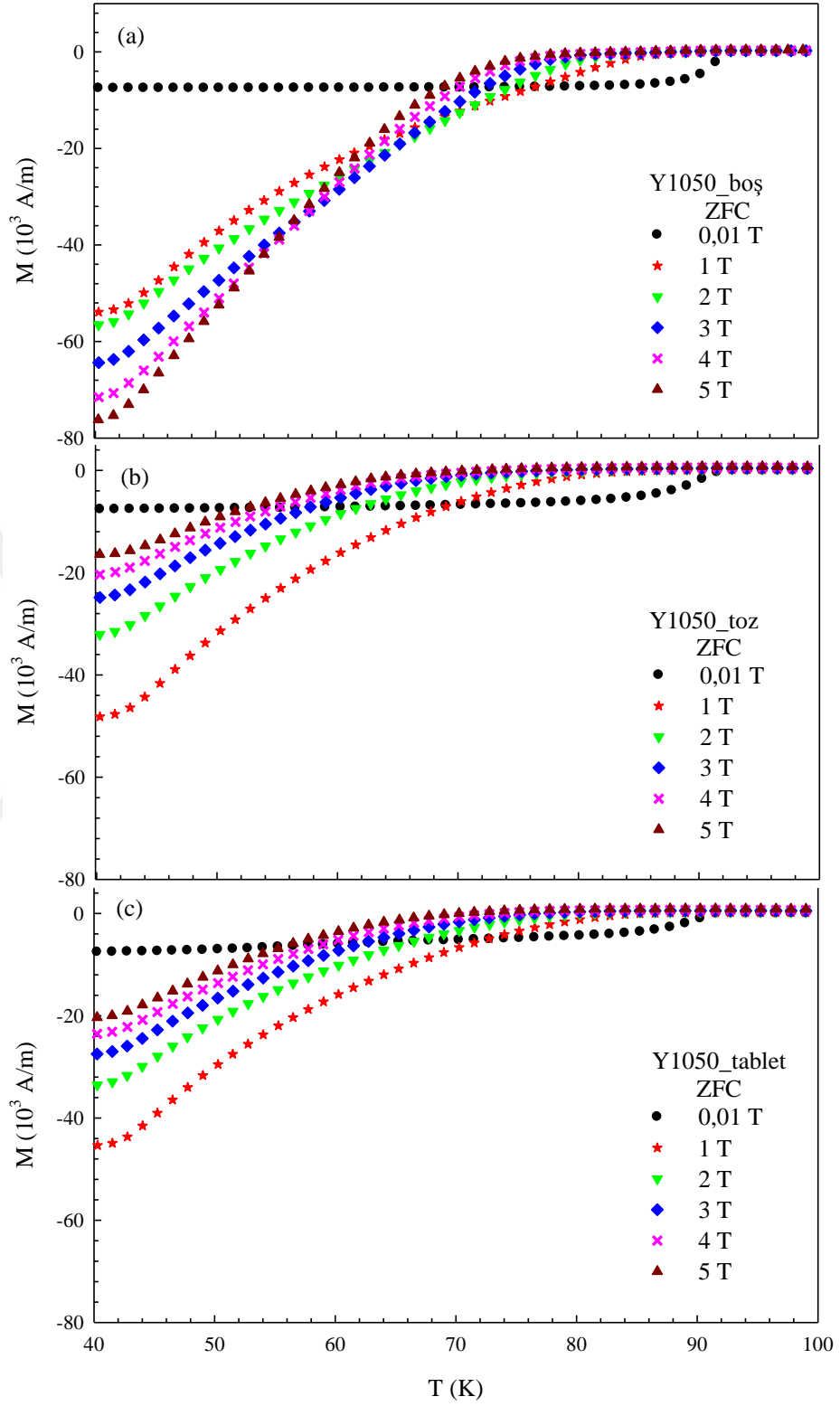
1050°C sıcaklıkta platin plaka üzerinde üretilen Y1050_boş, potanın üzerine Y_2O_3 tozu serpilerek üretilen Y1050_toz ve potanın üzerine Y_2O_3 tozundan yapılmış yaklaşık 1 mm kalınlıkta Y_2O_3 tableti konularak üretilen Y1050_tablet örneklerinin FC ve ZFC işlemlerinde 0,01 T manyetik alandaki $M-T$ eğrileri Şekil 3.3'te ve ZFC işlemi uygulanarak 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alan altındaki $M-T$ eğrileri ise Şekil 3.4'te görülmektedir.

Pota üzerine Y_2O_3 tozundan yapılmış yaklaşık 1 mm kalınlıkta Y_2O_3 tableti konularak, 1040, 1050 ve 1060°C sıcaklıklarda üretilen sırasıyla Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin FC ve ZFC işlemlerinde 0,01 T manyetik

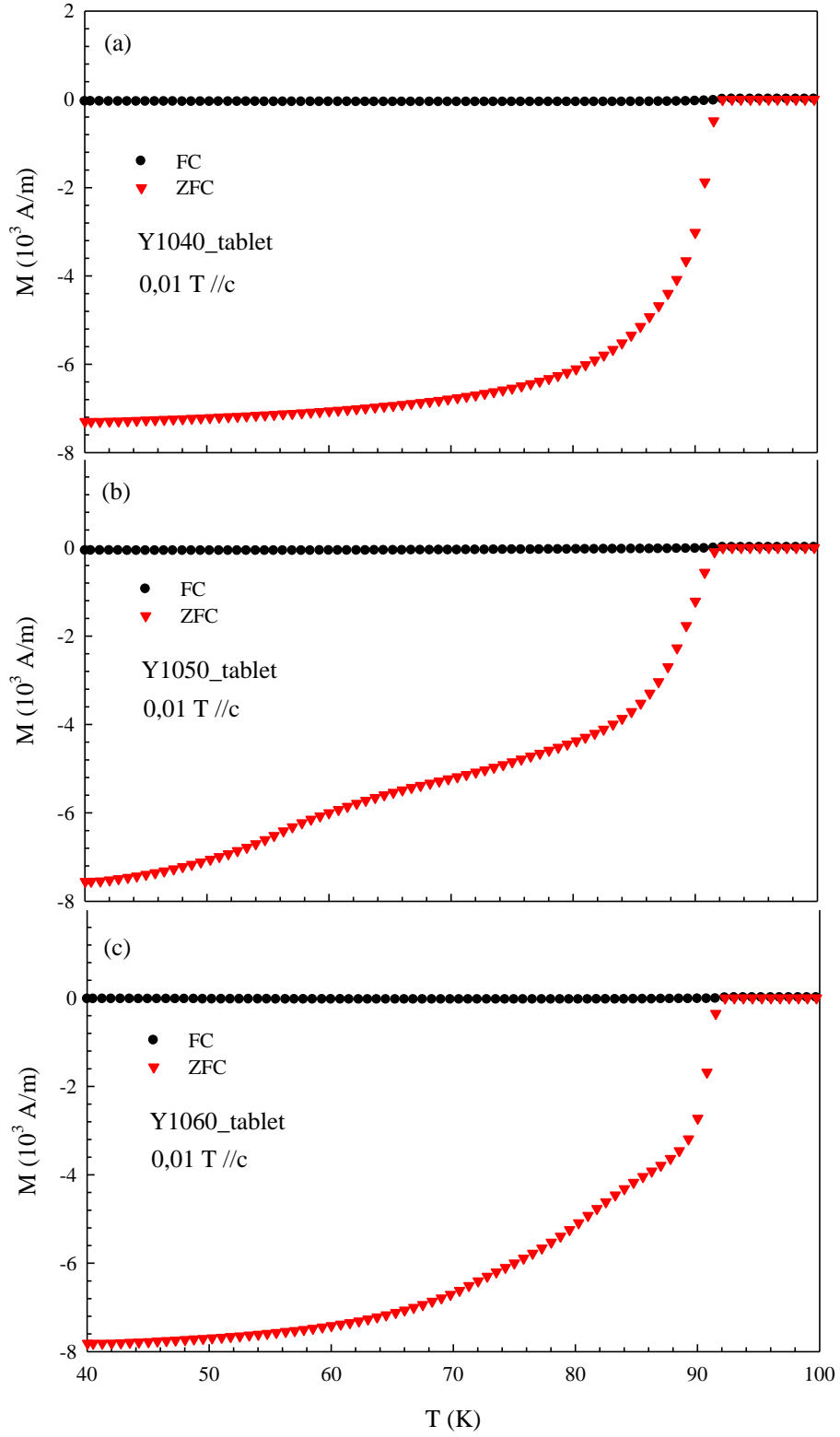
alandaki $M-T$ eğrileri Şekil 3.5'te ve ZFC işlemi uygulanarak 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alan altındaki $M-T$ eğrileri ise Şekil 3.6'da görülmektedir.



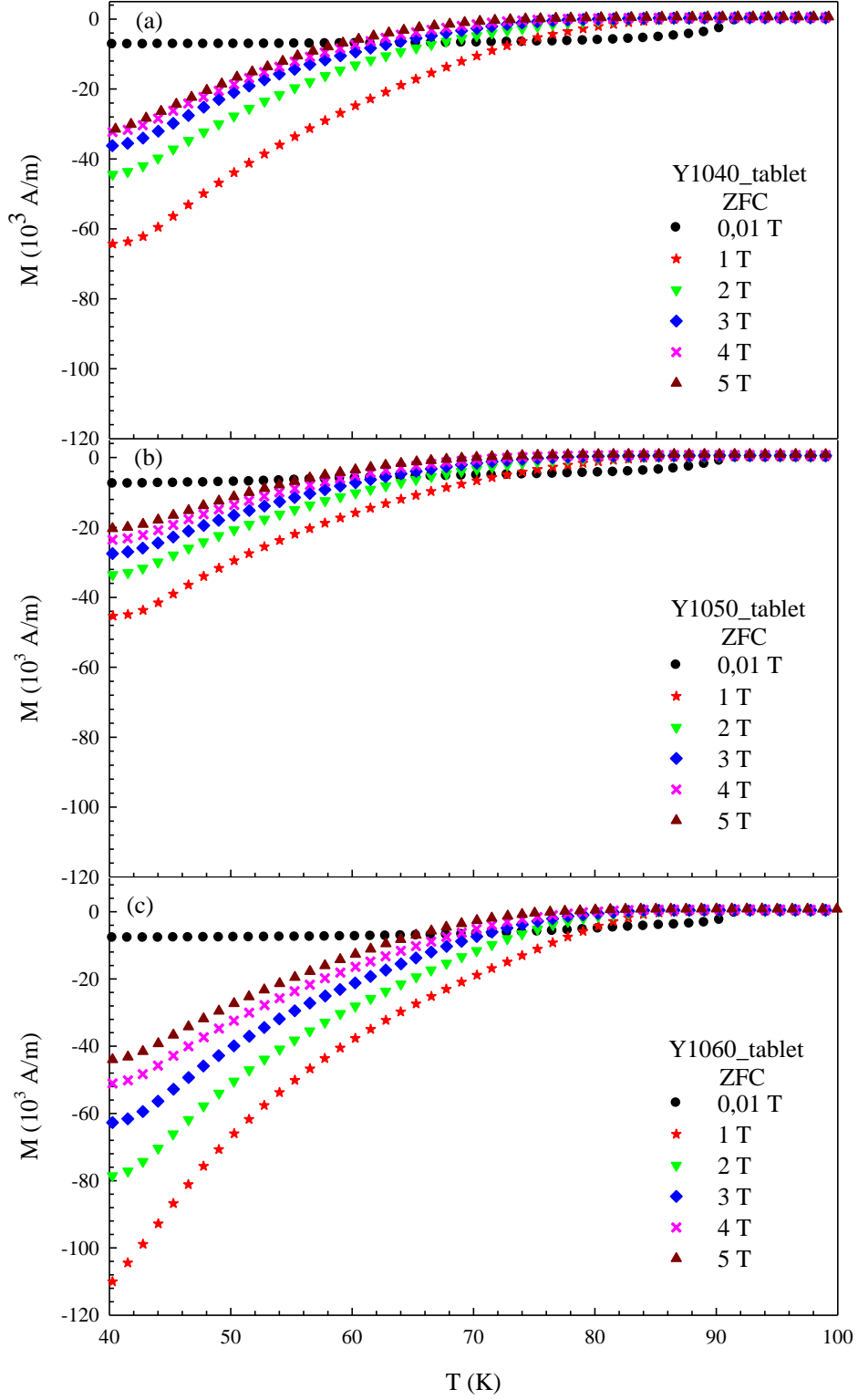
Şekil 3.3. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet örneklerinin 0,01 T manyetik alandaki $M-T$ eğrileri



Şekil 3.4. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3,4 ve 5 T manyetik alanlardaki $M-T$ eğrileri



Şekil 3.5. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet örneklerinin 0,01 T manyetik alandaki $M-T$ eğrileri



Şekil 3.6. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3,4 ve 5 T manyetik alanlardaki $M-T$ eğrileri

Üretilen örneklerin $M-T$ değişimleri süperiletken malzemelerde beklendiği gibi kritik sıcaklık değerinin altında mükemmel diyamanyetizma göstererek negatif mıknatıslanmaya sahiptir. Şekil 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6'da, $M-T$ ölçümlerinde süperiletken örnekler üzerine uygulanan alan sabit tutulup, sıcaklık artırıldığı zaman manyetik dipol momentler rastgele yönelmeye başlayacağından, mıknatıslanma azalacak ve kritik geçiş sıcaklığından sonra sabit bir şekilde devam edecektir. Bunun nedeni ise örneğin artık diyamanyetik davranış sergilemiyor olmasıdır (Kurt, 2011).

1050°C sıcaklıkta üretilen üç örnek 40 K'de aynı mıknatıslanma değerlerine sahip olmalarına rağmen, 211 parçacıklarının mıknatıslanma geçişlerinin keskinliğini azalttığı ve mıknatıslanma davranışını bozduğu Şekil 3.3'te görülmektedir. Potanın üzerine Y_2O_3 tablet konularak üretilen örneklerde ise Y1050_tablet örneğinin mıknatıslanma geçişinin keskinliğinin ve mıknatıslanma davranışının diğer örnekler göre kötü olduğu Şekil 3.5'te görülmektedir.

Şekil 3.4'te Y_2O_3 tozu ve tableti üzerinde üretilen Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin mıknatıslanma değerlerinin, Y_2O_3 ilavesi olmadan üretilen Y1050_boş ile karşılaştırıldığında büyük olduğu görülmektedir. Y_2O_3 'den yaklaşık 1 mm kalınlıklı tablet üretilirken 3 ton/cm³ basınç uygulanmıştır. Bu durumun 1050°C sıcaklığındaki Y1050_tablet üretimi sırasında ikincil 211 parçacıklarının, toz ile karşılaştırıldığında kristal üretim sırasında ikincil 211 fazına daha az katkı sağlaması ve bundan dolayı da daha küçük mıknatıslanma değerleri görülmesi bekleniyordu. Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin mıknatıslanma değerleri karşılaştırıldığında, düşük alanlarda hemen hemen aynı iken büyük alanlara gidildikçe sırasında ikincil 211 fazının toz ve tabletteki etkisi belirlemeye başlamakta, farklılık 4 ve 5 T manyetik alanda alınan ölçümlerde görülmektedir. Tablettten gelen ikincil 211 parçacıklarının çivileme merkezi gibi davranış sergilediği görülmektedir. Daha kesin sonuçlar elde etmek için 1050°C sıcaklığında üretilen külçe örneklerden birden fazla örnek alınarak, ölçüm alınması gerekmektedir.

1 mm kalınlıklı Y_2O_3 tabakası üzerinde 1050°C sıcaklığında üretilen Y1050_tablet örneğinin Y1040_tablet ve Y1060_tablet örneklerine göre mıknatıslanma değerlerinin büyük olduğu Şekil 3.6'da görülmektedir. Çünkü, ikincil 211 parçacıklarının süperiletken içinde homojen şekilde dağıtıldıkları takdirde çivileme merkezi olarak görev yaparlar ve bu çivileme merkezlerinde, tuzaklanan akı miktarı fazla olacağından dolayı büyük mıknatıslanma değerleri görülecektir (Çelebi, 2004). Daha kesin sonuçlar elde etmek için

1040, 1050 ve 1060°C sıcaklığında üretilen külçe örneklerden birden fazla örnek alınarak, ölçüm alınması gerekmektedir.

3.2. Sayısal Çalışma

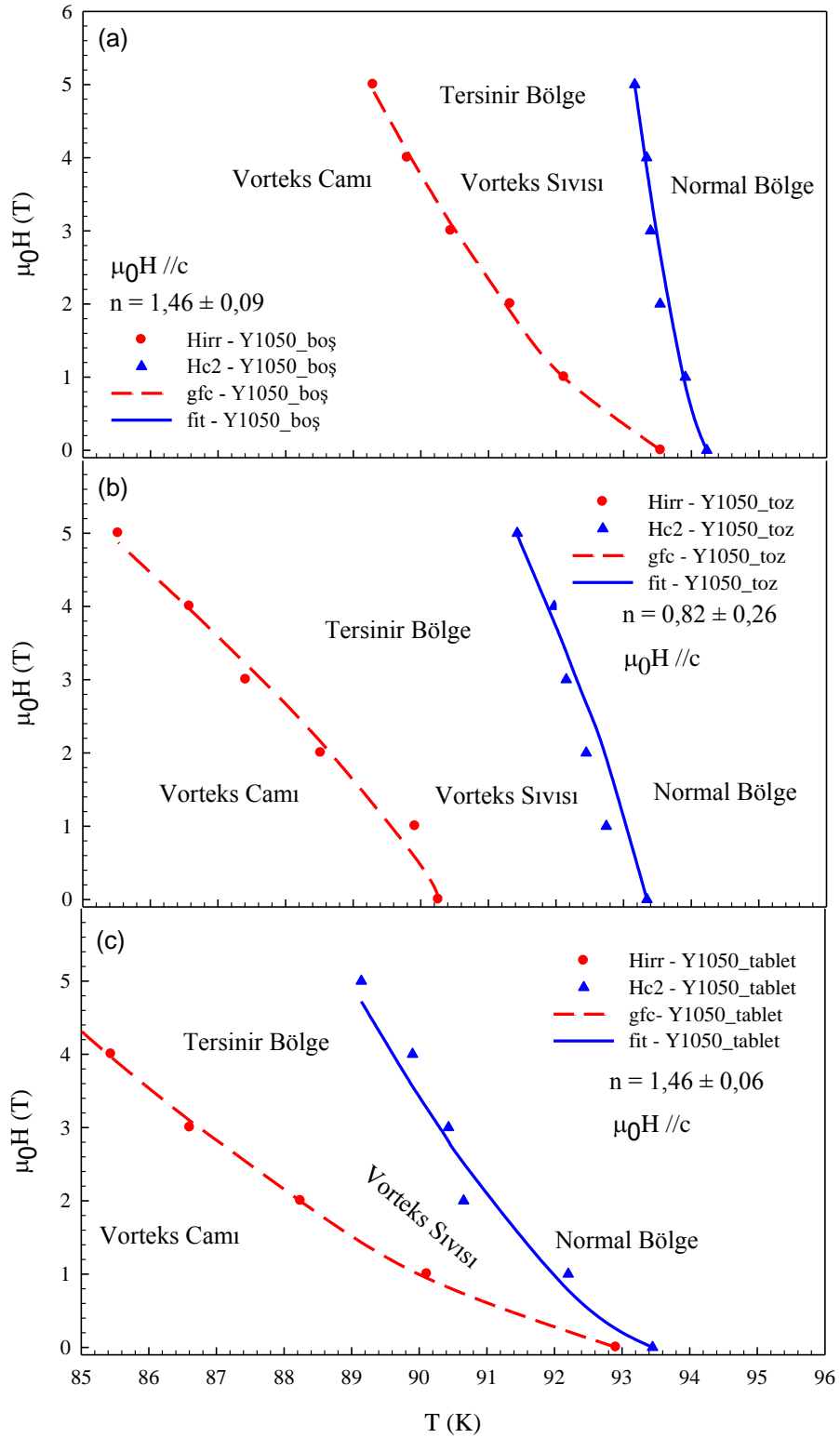
3.2.1. Özdirenç–Sıcaklık ($\rho-T$) Ölçümlerinde Tersinmezlik Alanı (μ_0H_{irr}) ve Üst Kritik Manyetik Alan (μ_0H_{c2})

1050°C sıcaklığında üretilen örneklerin μ_0H_{irr} ve μ_0H_{c2} alanları, Tablo 3.1’de yer alan $T_{c,onset}$ sıcaklıklarına karşılık gelen özdirenç değerlerinin sırasıyla %10 ve %90’ı alınarak hesaplandı ve Tablo 3.3’te 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanları için μ_0H_{irr} ve μ_0H_{c2} alanlarına karşılık gelen sıcaklık değerleri görülmektedir.

Her bir örnek için Tablo 3.3’teki değerler dikkate alınarak çizilen manyetik alanın sıcaklıklara göre değişimi Şekil 3.7’de görülmektedir. μ_0H_{irr} ’e karşılık gelen sıcaklık değerleri için Denklem (2.2) kullanılarak, tersinmezlik eğrileri çizilerek büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri belirlendi (Tablo 3.4). Belirlenen n değerleri kullanılarak, μ_0H_{c2} ’ye karşılık gelen sıcaklık değerleri için eğriler çizildi (Şekil 3.7).

Tablo 3.3. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinde μ_0H_{irr} ve μ_0H_{c2} alanları için 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T’ya karşılık gelen sıcaklık değerleri

		0 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
Y1050_boş	T (K), μ_0H_{irr} (T)	93,65	92,12	91,32	90,45	89,80	89,30
	T (K), μ_0H_{c2} (T)	94,23	93,91	93,35	93,40	93,34	93,16
Y1050_toz	T (K), μ_0H_{irr} (T)	90,26	89,92	88,52	87,41	86,58	85,53
	T (K), μ_0H_{c2} (T)	93,35	92,74	92,45	92,15	91,97	91,43
Y1050_tablet	T (K), μ_0H_{irr} (T)	92,91	90,12	88,25	86,61	85,44	84,17
	T (K), μ_0H_{c2} (T)	93,45	92,20	90,66	90,43	89,90	89,14



Şekil 3.7. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (c) Y1050_tablet için μ_0H_{irr} , μ_0H_{c2} , tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge

Tablo 3.4. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri (T_{irr} (K) değerleri Tablo 3.3'deki örneklerin 0 T için T_{irr} değerleridir)

	$\mu_0 H_0$ (T)	n	T_{irr} (K)
Y1050_boş	458,57	1,46 ± 0,09	93,65
Y1050_toz	54,15	0,82 ± 0,26	90,26
Y1050_tablet	157,01	1,46 ± 0,06	92,82

Yüksek manyetik alanlara gidildikçe $\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanlarına karşılık gelen sıcaklık değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 3.7). Nedeni ise kritik sıcaklıklara yakın sıcaklıklarda süperiletken örnek içerisine nüfuz eden manyetik alanın, akı çizgilerinin hareket etmesine neden olup, çivileme merkezlerinden kurtararak akımın akmasına sebep olacak yani direnci meydan getirecektir (Demirdiş, 2008). Sıcaklık azaldıkça, termal dalgalanma etkileri en aza inecek ve akı çizgilerinin hareketliliği çivileme merkezlerinde hapsolarak, süperiletken örneğin direnci son derece küçük değer alacaktır. Tersinmezlik çizgisi, artan manyetik alan ile birlikte artan Lorentz kuvveti ve sıcaklık artışıyla birlikte termal dalgalanmanın hangi alan ve sıcaklıkta çivileme kuvvetine baskın hale gelerek, akı sürüklenmesine başlamayacağı konusunda bilgi vermektedir (Sjöström, 2001; Cohen ve Jensen, 1997)

$\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanları arasındaki bölgeye, tersinir bölge denir ve süperiletken uygulamalar için bu bölge uygun değildir (Cardwell ve Ginley, 2003). Çünkü, vorteks hareketliliğinden dolayı direnç meydana gelecek ve süperiletken durumdan normal duruma geçiş başlayacaktır. Tersinir bölgenin dar olması, direncin daha yüksek sıcaklıklarda görülmesi, süperiletken uygulamalar için daha iyidir. Şekil 3.7'de 1050°C'de üretilen üç örnekten Y1050_boş örneğinin tersinir bölgesi Y1050_tablet örneğine göre daha dardır. Aynı n üstel parametrelere sahip olmalarının yanı sıra, tersinir bölgenin daha dar olmasından dolayı, Y1050_boş örneğinin daha iyi özellik gösterdiği görülmektedir. Y1050_toz örneğinde ikincil 211 parçacıklarının çivileme merkezi gibi davranmayıp, tersinir bölgeyi daha da çok genişlettiği görülmektedir. Nedenin ise ikincil 211 parçacıklarının homojen olarak dağılım göstermeyip, bazı bölgelerde daha yoğun dağılım gösterdiği ve bu dağılımdan gelen termal etkinin, çivileme kuvvetinde baskın olacağı düşünülmektedir.

Potanın üzerine Y_2O_3 tozundan yapılmış yaklaşık 1 mm kalınlıkta Y_2O_3 tableti konularak, 1040, 1050 ve $1060^\circ C$ sıcaklıklarda üretilen sırasıyla Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin $\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanları, Tablo 3.2’de yer alan $T_{c,onset}$ sıcaklıklarına karşılık gelen öz direnç değerlerinin sırasıyla %10 ve %90’ı alınarak hesaplandı ve Tablo 3.5’te 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanları için $\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanlarına karşılık gelen sıcaklık değerleri görülmektedir.

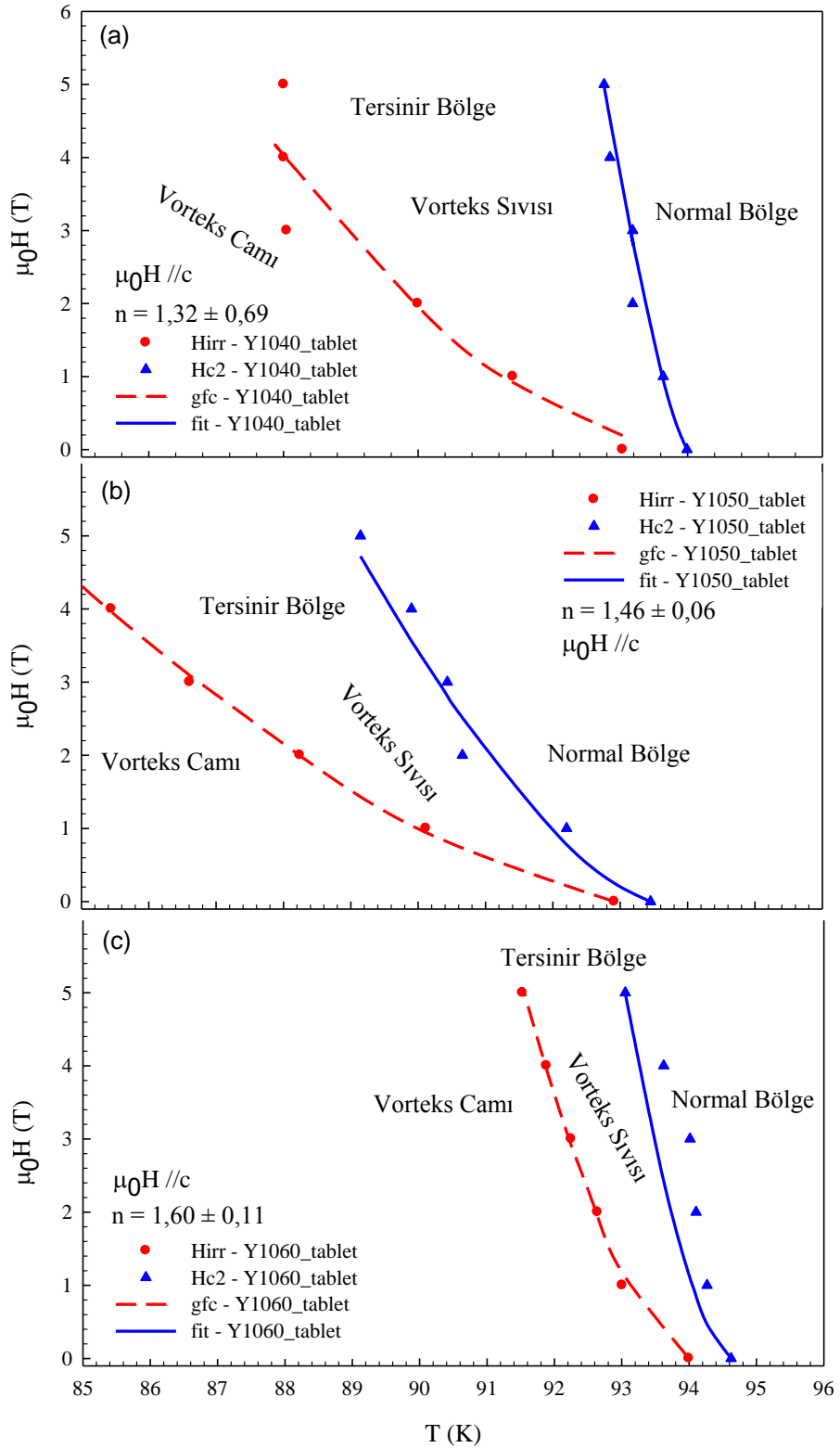
Tablo 3.5. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinde $\mu_0 H_{irr}$ ve $\mu_0 H_{c2}$ alanları için 0, 1, 2, 3, 4 ve 5 T’ya karşılık gelen sıcaklık değerleri

		0 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
Y1040_tablet	T (K), $\mu_0 H_{irr}$ (T)	93,03	91,41	90,00	88,05	88,01	88,00
	T (K), $\mu_0 H_{c2}$ (T)	93,99	93,64	93,18	93,18	92,85	92,76
Y1050_tablet	T (K), $\mu_0 H_{irr}$ (T)	92,91	90,12	88,25	86,61	85,44	84,17
	T (K), $\mu_0 H_{c2}$ (T)	93,45	92,20	90,66	90,43	89,90	89,14
Y1060_tablet	T (K), $\mu_0 H_{irr}$ (T)	94,00	93,01	92,64	92,25	91,88	91,53
	T (K), $\mu_0 H_{c2}$ (T)	94,63	94,27	94,10	93,01	93,62	93,05

Her bir örnek için Tablo 3.5’deki değerler dikkate alınarak çizilen manyetik alanın sıcaklıklara göre değişimi Şekil 3.8’de görülmektedir. $\mu_0 H_{irr}$ ’e karşılık gelen sıcaklık değerleri için Denklem (2.2) kullanılarak, tersinmezlik eğrileri çizilerek büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri belirlendi (Tablo 3.6). Belirlenen n değerleri kullanılarak, $\mu_0 H_{c2}$ ’ye karşılık gelen sıcaklık değerleri için eğriler çizildi (Şekil 3.8).

Tablo 3.6. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri (T_{irr} (K) değerleri Tablo 3.5’deki örneklerin 0 T için T_{irr} değerleridir)

	$\mu_0 H_0$ (T)	n	T_{irr} (K)
Y1040_tablet	191,16	$1,32 \pm 0,69$	93,03
Y1050_tablet	157,01	$1,46 \pm 0,06$	92,82
Y1060_tablet	1720,35	$1,60 \pm 0,11$	94,00



Şekil 3.8. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet için μ_0H_{irr} , μ_0H_{c2} , tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge

Şekil 3.8’de Y_2O_3 tablet konularak üretilen örneklere bakıldığında, Y1060_tablet örneğinin en dar tersinir bölgeye sahip olmasının yanı sıra, artan manyetik alan ile birlikte tersinmezlik çizgilerinin diğer örneklerde olduğu gibi düşük sıcaklıklara kaymadığı görülmektedir. Y1060_tablet örneği, diğer örneklerle karşılaştırıldığında en uygun kristal büyütme sıcaklığına sahiptir.

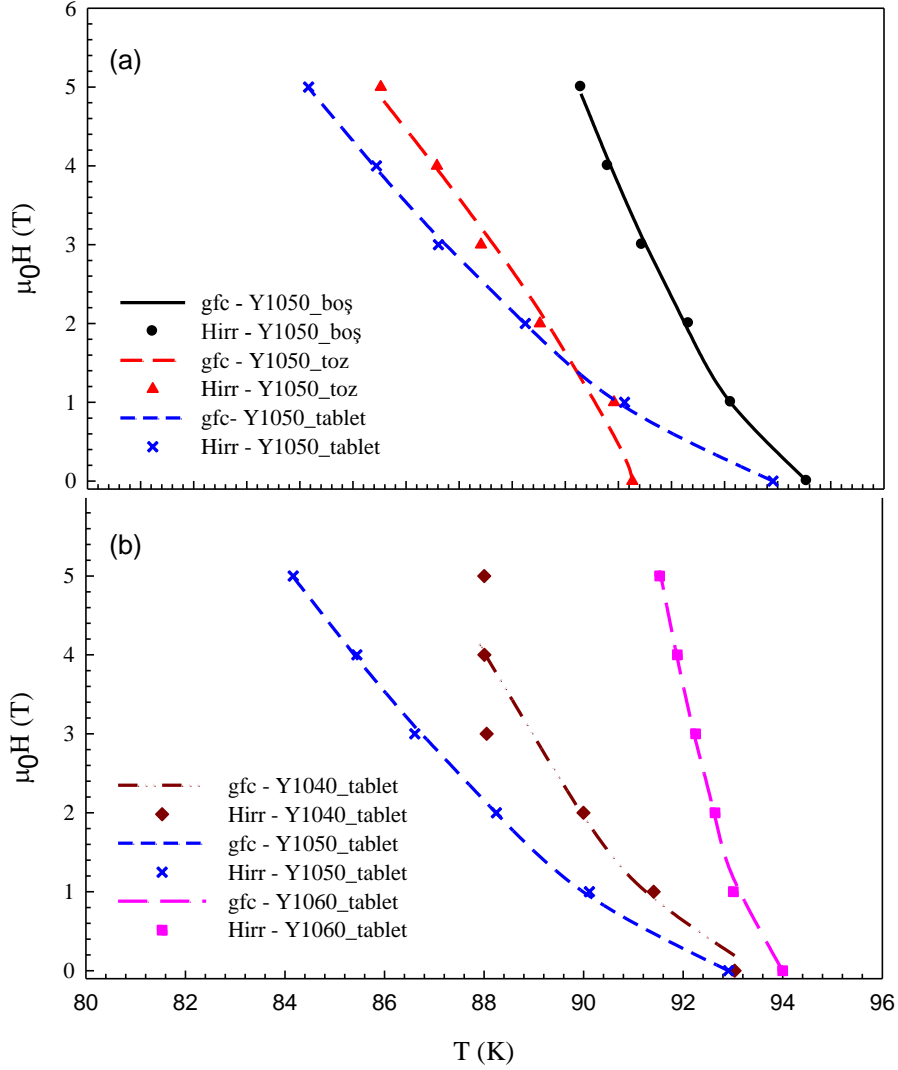
Şekil 3.9’de bütün örneklerin Tablo 3.1 ve 3.2’de yer alan $T_{c,onset}$ sıcaklığındaki dirençlerinin %10’una karşılık gelen sıcaklık değerleri alınarak hesaplanan deneysel veriler ve Denklem (2.2) kullanılarak çizilen tersinmezlik çizgileri görülmektedir. Şekil 3.9(a)’da Y1050_boş örneği referans noktası alındığı vakit, ikincil 211 parçacıklarının tersinmezlik çizgisini daha düşük sıcaklıklara doğru kaydıracağı görülmektedir ve ikincil 211 parçacıklarının çivileme merkezi gibi davranış sergilemediği düşünülmektedir. Şekil 3.9(b)’de ise YBCO üretimi için en uygun kristal büyütme sıcaklığına sahip Y1060_tablet örneğinin tersinmezlik çizgisinin yüksek sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, ikincil 211 parçacıklarının diğer örneklere göre etkin çivileme merkezleri gibi davranış sergilediği düşünülmektedir.

Denklem (2.2)’deki n parametresinin tek kristal YBCO için $\sim 1,5$ olması, büyük akı sürüklenmesi modeli ve vorteks cam modeline göre davranış sergilediğini göstermektedir (Yeshurun ve Malozemoff, 1988; Viera ve Schaf, 2003).

Y1050_boş ve Y1050_tablet örnekleri, büyük akı sürüklenmesi ve vorteks camı modeline göre davranış sergilemelerine karşın, Y1050_toz iki modele de uymamaktadır (Tablo 3.4). Bunun nedenin, Y_2O_3 parçacıklarının üretilen örneklerin süperiletkenlik özelliklerini bozmuş olabileceği ve/veya ölçüm yapmak için kesilen Y1050_toz örneğinin kusurların ve tane sınırlarının fazla olduğu yerden alınmasının neden olabileceği düşünülmektedir. 1040, 1050 ve 1060°C’de üretilen tablet örneklerin Tablo 3.6’daki n üstel parametreleri değerlendirildiğinde ise bütün örnekler büyük akı sürüklenmesi ve vorteks camı modeline göre davranış sergilemektedir. Sonuç olarak Y1040_tablet (Skourski vd., 2004), Y1050_boş ve Y1050_tablet (Yeshurun ve Malozemoff, 1988) ve Y1060_tablet (Dias vd., 2016) örneklerinin büyük akı sürüklenmesi ve vorteks camı modeline göre davranış sergiledikleri görülmektedir.

1989 yılında Fisher’ın yüksek T_c süperiletken oksitlerdeki örgü kusurlarını dikkate alarak öne sürdüğü vorteks cam (*vortex glass*) modelini göre (Fisher, 1989), vortekslerin düzenli yapısını ikincil 211 parçacıkları bozarak vorteks camı (*vortex glass*) oluşmasına neden olacaktır. İkincil 211 parçacıklarından dolayı çivileme etkisine maruz kalan

vorteksler, sıcaklık arttırıldığında hareket etmeye başlayarak eriycekler ve bunun sonucunda vorteks sıvısı (*vortex liquid*) oluşacaktır. Eğer vorteksler hareket ederlerse, bunun sonucunda süperiletken malzeme bir elektriksel dirence sahip olacak ve süperiletken durumdan normal duruma geçiş başlamış olacaktır.



Şekil 3.9. (a) Y1050_ boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve (b) Y1040_tablet, Y1050_tablet, Y1060_tablet için $\mu_0 H_{irr}$ değerleri ve tersinmezlik çizgileri

Şekil 3.7’de, 1050°C’de üretilen örnekler bakıldığında vorteks cam geçişinin, Y1050_boş örneğinde daha yüksek alanlarda ve sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. Şekil 3.8’de, Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerine bakıldığında,

Y1060_tablet örneğinin vorteks cam geçişinin daha büyük sıcaklıklara doğru kaydığı görülmektedir.

Bütün örnekler bakıldığında, en uygun kristal büyütme sıcaklığının 1060°C olduğu ve ikincil 211 parçacıklarının 1060°C'de daha homojen ve baskın hale geldiği görülmektedir.

3.2.2. Mıknatıslanma–Sıcaklık ($M-T$) Ölçümlerinde Tersinmezlik Sıcaklığı (T_{irr}) ve Tersinmezlik Alanı ($\mu_0 H_{irr}$)

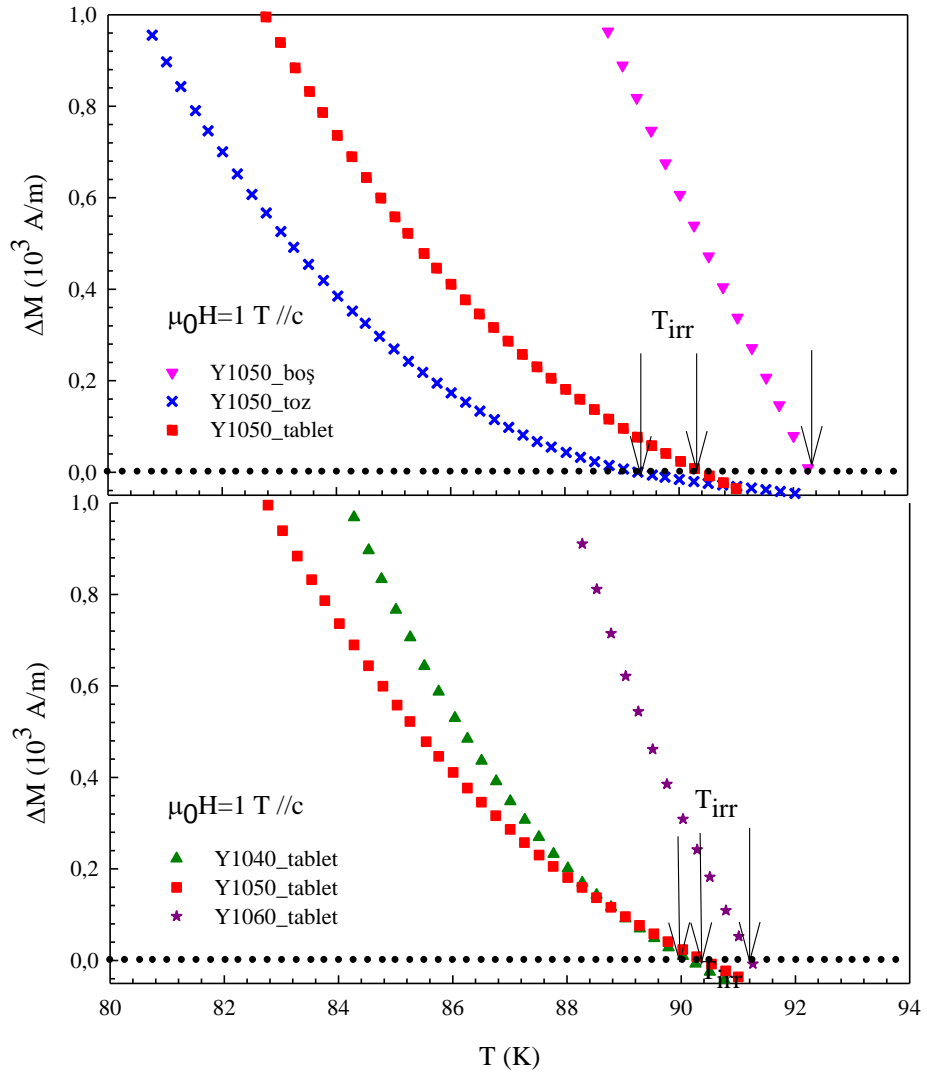
Tersinmezlik sıcaklığı (T_{irr}), süperiletken durumda vortekslerin hareketini tanımlamada önemli bir parametredir. Tersinmezlik alanı ($\mu_0 H_{irr}$) ise tersinmez sıcaklığa karşılık gelen alan değerleridir. FC ve ZFC uygulamalarındaki mıknatıslanma farkının $\Delta M(T) = M_{FC}(T) - M_{ZFC}(T) = 0$ olduğu andaki sıcaklık değeri olan T_{irr} 'in bulunuşunu örneklemek amacıyla bütün örnekler için 1 T'daki değerleri Şekil 3.10'da görülmektedir ve Tablo 3.7 ve 3.8'de ise üretilen tüm örneklerin T_{irr} değerleri yer almaktadır. Aynı sıcaklıktaki mıknatıslanma değerlerinin bulunup farklarının alınabilmesi için yapılan uyum eğrileri işlemlerinden gelen hata değerleri de tablolarda verilmiştir.

Tablo 3.7. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlardaki T_{irr} değerleri

	T_{irr} (K)					
	0,01 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
Y1050_boş	92,76 ±0,12	92,26 ±0,06	88,01 ±0,77	83,53 ±0,58	80,51 ±0,36	79,02 ±0,32
Y1050_toz	93,26 ±0,20	89,28 ±0,43	84,25 ±0,19	80,01 ±0,18	81,53 ±0,11	82,76 ±0,12
Y1050_tablet	92,51 ±0,25	90,27 ±0,44	87,77 ±0,24	86,03 ±0,18	85,28 ±0,16	83,51 ±0,02

Tablo 3.8. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin 0,01, 1, 2, 3, 4 ve 5 T manyetik alanlardaki T_{irr} değerleri

	T_{irr} (K)					
	0,01 T	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T
Y1040_tablet	93,02 $\pm 0,19$	90,25 $\pm 0,56$	89,77 $\pm 0,31$	85,77 $\pm 0,34$	82,25 $\pm 0,21$	78,77 $\pm 0,10$
Y1050_tablet	92,51 $\pm 0,25$	90,27 $\pm 0,44$	87,77 $\pm 0,24$	86,03 $\pm 0,18$	85,28 $\pm 0,16$	83,51 $\pm 0,02$
Y1060_tablet	93,77 $\pm 0,24$	91,01 $\pm 1,10$	88,76 $\pm 0,83$	87,52 $\pm 0,57$	86,02 $\pm 0,40$	84,53 $\pm 0,28$



Şekil 3.10. (a) Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve (b) Y1040_tablet, Y1050_tablet, Y1060_tablet örnekleri için 1 T'deki T_{irr} değerinin bulunması

Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 incelendiğinde, yüksek alan değerlerinde tersinmez sıcaklık değeri düşmektedir. Bunun nedeni ise yüksek alanlarda kalıcı mıknatıslanmadan dolayı çivileme kuvveti küçük olan vortekslerin oluşması ve süperiletkenlik durumuna geçmesi için gerekli olan enerjiyi azaltarak, daha düşük sıcaklıklarda tersinir özellik gösterir hale gelmesidir (Karaoğlu, 2013).

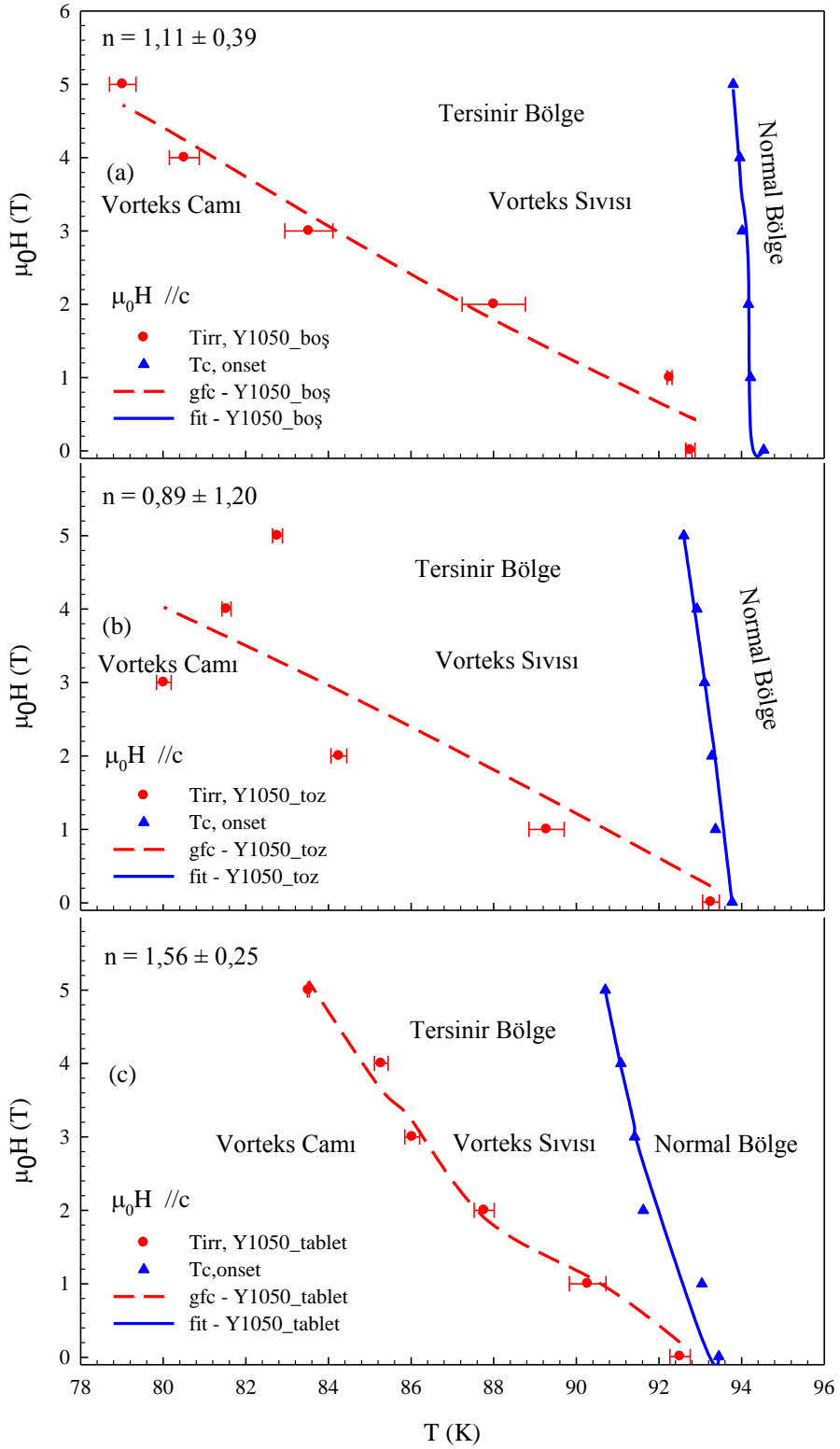
1050°C 'de üretilen örnekler için Tablo 3.7'de verilen T_{irr} değerlerinin manyetik alanla değişimi Şekil 3.11'de, Y_2O_3 plaka üzerinde üretilen örnekler için Tablo 3.8'de verilen T_{irr} değerlerinin manyetik alanla değişimi ise Şekil 3.12'de görülmektedir. Uygulanan manyetik alanlardaki T_{irr} değerleri için Denklem (2.2) kullanılarak, tersinmezlik eğrileri çizilerek büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri belirlendi (Tablo 3.9 ve 3.10). Şekil 3.11 ve 3.12'de ayrıca Tablo 3.1 ve 3.2'deki $T_{c,onset}$ değerlerinin de manyetik alanla değişimi görülmektedir. T_{irr} için belirlenen n değerleri $T_{c,onset}$ eğrileri için de kullanılarak uyum eğrileri çizildi (Şekil 3.11 ve 3.12).

Tablo 3.9. Y1050_boş, Y1050_toz ve Y1050_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri (T_{irr} (K) değerleri Tablo 3.1'deki örneklerin 0 T için $T_{c,onset}$ değerleridir)

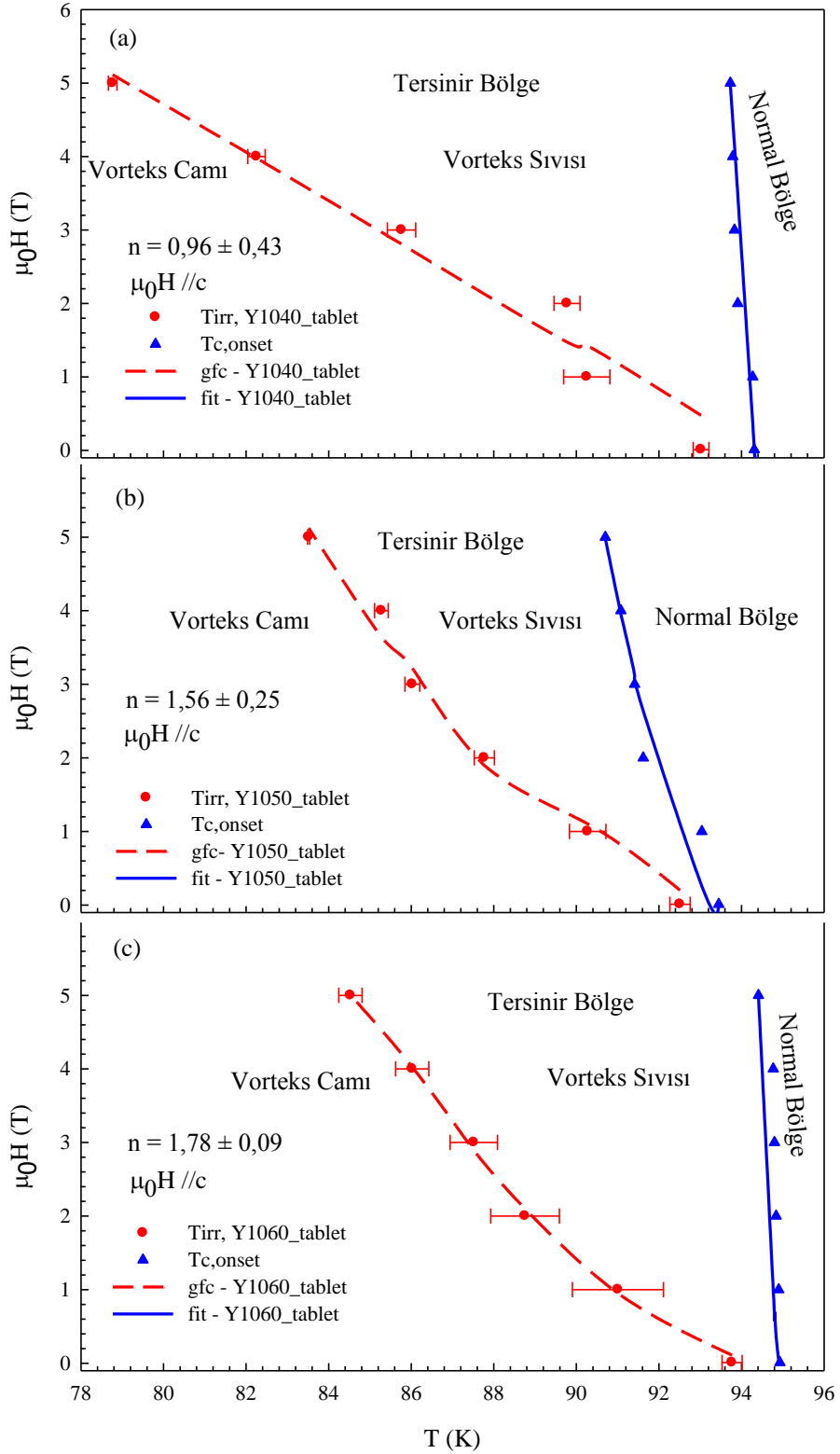
	$\mu_0 H_0$ (T)	n	T_{irr} (K)
Y1050_boş	36,35	$1,11 \pm 0,39$	94,54
Y1050_toz	22,91	$0,89 \pm 1,20$	94,77
Y1050_tablet	270,36	$1,56 \pm 0,25$	93,45

Tablo 3.10. Y1040_tablet, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örnekleri için büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) modelinin parametreleri (T_{irr} (K) değerleri Tablo 3.2'deki örneklerin 0 T için $T_{c,onset}$ değerleridir)

	$\mu_0 H_0$ (T)	n	T_{irr} (K)
Y1040_tablet	29,83	$0,96 \pm 0,43$	94,31
Y1050_tablet	270,36	$1,56 \pm 0,25$	93,45
Y1060_tablet	274,15	$1,78 \pm 0,09$	94,93



Şekil 3.11. (a) Y1050_boş, (b) Y1050_toz ve (b) Y1050_tablet için T_{irr} , $T_{c,onset}$ (Tablo 3.1) (Çakır, 2010), tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge



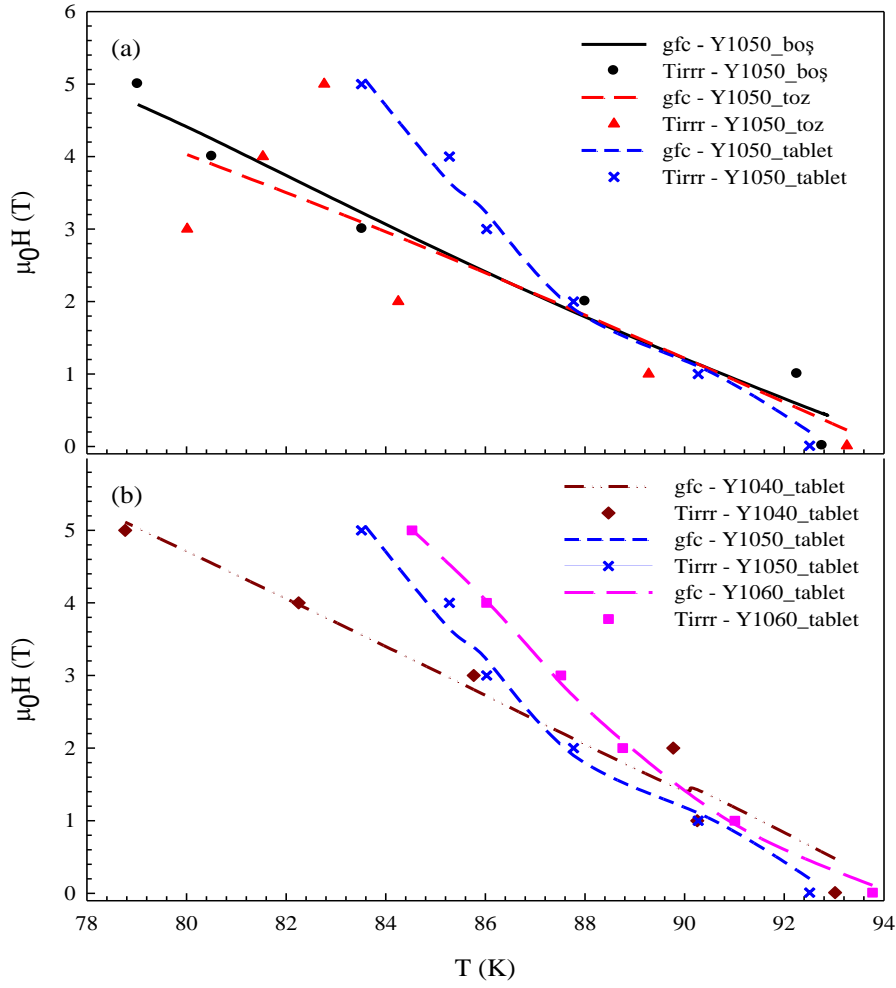
Şekil 3.12. (a) Y1040_tablet, (b) Y1050_tablet ve (c) Y1060_tablet için T_{irr} , $T_{c,onset}$ (Tablo 3.2) (Çakır, 2010), tersinmezlik çizgisi, tersinir bölge, vorteks camı, vorteks sıvısı ve normal bölge

Şekil 3.11 ve 3.12'deki eğrilere bakıldığında, T_{irr} ve $T_{c,onset}$ değerleri arasında bir bölge oluşur ve tersinir bölge olarak adlandırılır. $T_c(H)$ ile $T_{irr}(H)$ arasındaki bölgede çivileme kuvveti gözardı edilebilir (Pena vd., 2013). Çünkü bu bölgede vorteksler, çivileme kuvvetini aşarak serbest olarak hareket edecek (Vargas vd., 2012) ve Cooper çifti yoğunluğunun sıfır olduğu normal bir merkezden oluşan vorteksler, hareketleri esnasında birbirleriyle etkileşerek daha büyük çaplarda vorteksler meydana getirecektir. Bu da, süperiletken durumdan normal duruma geçişin yanı sıra süper elektronların (Cooper çiftleri) sayısının ve enerjisinin azalmasına neden olacaktır.

Şekil 3.11'deki tersinir bölgelere bakıldığında Y1050_boş örneğin ki en geniştir. Toz ve tablet örneklerinin ikincil 211 parçacıklarının çivileme merkezleri meydana getirdiği ve tersinir bölgeyi daralttığı görülmektedir. En dar bölgeye ise Y1050_tablet örneği sahiptir. Y1050_tablet örneğinde etkili çivileme merkezleri oluşmasından dolayı, vortekslerin hareketliliğinin daha yüksek sıcaklıklarda görülmesine neden olmaktadır. Şekil 3.12'deki tersinir bölgelere bakıldığında ise Y1040_tablet örneğinki en geniştir. Bunun nedeninin, örneklerin üretim sıcaklığının kristal büyütme için yeterli olmadığı olarak düşünülmektedir. Ayrıca, 1050°C'de üretilen Y1050_tablet örneğinin tersinir bölgesinin daha dar olduğu görülmektedir. Y1050_tablet örneği, diğer örneklerle karşılaştırıldığında en uygun kristal büyütme sıcaklığına sahiptir.

Üretilen örneklerin T_{irr} sıcaklıkları ve büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep, gfc*) eğrileri Şekil 3.13'te görülmektedir. Şekil 3.13(a)'da 2 T'ya kadar aynı *gfc* tersinmezlik davranışı sergilenirken, yüksek manyetik alanlara gidildikçe tersinmezlik davranışı iyice belirginleşmektedir. Diğer örneklere göre Y1050_tablet örneğinin yüksek manyetik alanlara daha dayanıklı olduğu ayrıca, akı sürüklenmesi konusunda termal etkinin daha yüksek sıcaklıklarda baskın hale geleceği görülmektedir.

Şekil 3.13(b)'de farklı sıcaklıklarda üretilen örnekler arasında Y1060_tablet örneğinin yüksek sıcaklıklara kayan tersinmezlik çizgisi görülmektedir. $n \sim 1,5$ T'ya kadar aynı *gfc* tersinmezlik davranışı sergilerken, yüksek manyetik alanlara gidildikçe Y1040_tablet örneği için tersinmezlik davranışı belirginleşmeye başlamaktadır. Y1050_tablet ve Y1060_tablet örnekleri için yüksek alanlarda *gfc* tersinmezlik davranışında belirgin farklılık gözlenmemektedir.



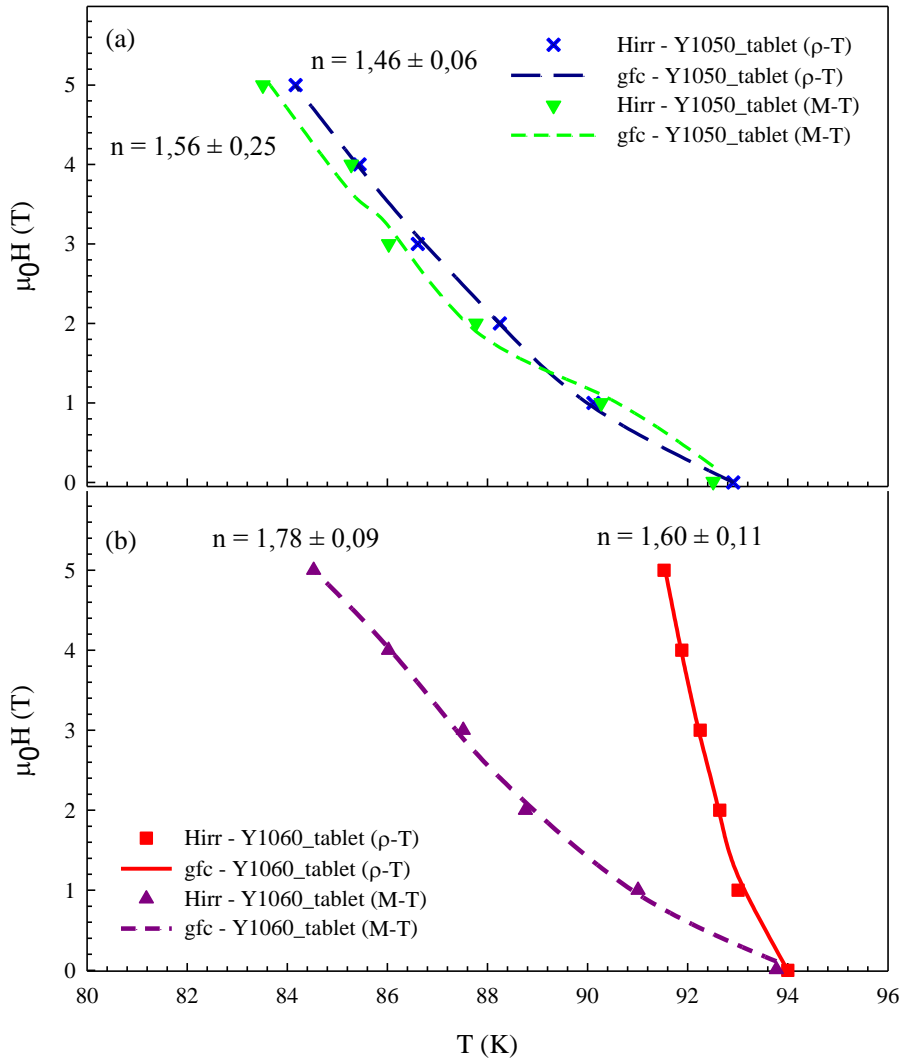
Şekil 3.13. (a) Y1050_boş, Y1050_toz, Y1050_tablet ve (b) Y1040_tablet, Y1050_tablet, Y1060_tablet örnekleri için T_{irr} değerleri ve tersinmezlik çizgileri

Tablo 3.9 ve 3.10'daki n değerleri, Y1040_tablet, Y1050_boş ve Y1050_toz için ortalama 1,0 iken, Y1050_tablet ve Y1060_tablet için 1,56 ve 1,78'dir. Bütün örneklerin n üstel parametreleri karşılaştırıldığında, büyük akı sürüklenme ve vorteks cam modeline göre en uygun örneğin Y1050_tablet örneği olduğu görülmektedir (Dias vd., 2016; Macedo, 2014; Vieira ve Schaf, 2002).

Şekil 3.11'deki 1050°C'de üretilen örnekler bakıldığında vorteks cam geçişin, Y1050_tablet örneğinde daha yüksek manyetik alan ve sıcaklıklarda olduğu görülmektedir. Şekil 3.12'deki Y_2O_3 tablet üzerinde üretilen örnekler bakıldığında ise Y1040_tablet örneğinin vorteks cam geçişinin daha düşük sıcaklıklara doğru kaydığı görülmektedir. İkincil 211 parçacıklarının da dahil olduğu üretim sürecindeki Y1040_tablet, Y1050_tablet

ve Y1060_tablet örneklerinde, en uygun kristal büyütme sıcaklığının 1050°C olduğu görülmektedir.

En iyi örneğin; öz direnç–sıcaklık ($\rho-T$) ölçümlerinde Y1060_tablet örneğinin olduğu, mıknatıslanma–sıcaklık ($M-T$) ölçümlerinde ise Y1050_tablet örneğinin olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle hazırlanan Şekil 3.14’te ölçümlerden elde edilen büyük akı sürüklenmesi (*giant flux creep*) eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.14. (a) Y1050_tablet ve (b) Y1060_tablet için $\rho-T$ ve $M-T$ ölçümlerinden elde edilen tersinmezlik çizgileri

Şekil 3.14(a)’da Y1050_tablet örneğinin n üstel parametreleri karşılaştırıldığında, her iki ölçümden hesaplanan değerlerin tek kristal YBCO için $\sim 1,5$ olan değere daha yakın bir değer olduğu görülmektedir. Şekil 3.14(b)’de Y1060_tablet örneğinin $\rho-T$ ve $M-T$

ölçümlerinden hesaplanan n üstel parametreleri karşılaştırıldığında ise $\rho-T$ ölçümlerinden hesaplanan değerin tek kristal YBCO değerine daha yakın olduğu görülmektedir. Her iki örneğin $\rho-T$ ve $M-T$ ölçümlerinden hesaplanan n üstel parametrelerinin birbirinden farklı olmasının temel nedenin, ölçüm yapılan örneklerin üretilen külçenin farklı yerlerinden alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü alınan örneklerde örgü kusurları, tane sınırları, dislokasyonlar ve Y_2O_3 parçacıklarının dağılımının bu farkı meydana getirdiği düşünülmektedir.



4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Özdirenç–sıcaklık ($\rho-T$) ölçümlerinde;

1. 1050°C’de üretilen toz ve tablet örneklerinde ikincil 211 parçacıkları çivileme merkezi olarak davranış göstermedi. Ayrıca, süperiletkenliğe geçiş aralığını (ΔT) arttırmasının yanı sıra, manyetik dayanıklılığı azalttığı görüldü.
2. Hesaplanan n üstel parametreleri incelendiğinde Y1040_tablet, Y1050_boş, Y1050_tablet ve Y1060_tablet örneklerinin büyük akı sürüklenmesi ve vorteks cam modeline göre davranış sergilediği görüldü.
3. Y1050_boş örneğinde $n \sim 1,5$ değerine yakın olmasına rağmen, Y1060_tablet örneğinde tersinir bölgenin geniş olmasından dolayı Y1060_tablet örneğinin en iyi örnek olduğu görüldü.
4. En uygun kristal büyütme sıcaklığının 1060°C olduğu görüldü.

Mıknatıslanma–sıcaklık ($M-T$) ölçümlerinde;

1. Y1050_toz ve Y1050_tablet örneklerinin daha büyük mıknatıslanma değerlerine sahip olduğu ve bunun da ikincil 211 parçacıklarının çivileme merkezi davranışına neden olduğu görüldü.
2. Yüksek manyetik alanlara gidildikçe, Y1050_toz örneğinin daha etkin çivileme merkezlerine sahip olacağı görüldü.
3. En düşük mıknatıslanma değerleri Y1060_tablet örneğinde görüldü.
4. Y1050_tablet örneğin n üstel parametresinin literatür ile uyumlu olduğu, büyük akı sürüklenmesi ve vorteks cam modeline göre davranış sergilediği görüldü.
5. En uygun kristal büyütme sıcaklığının 1050–1060°C olduğu görüldü.

Örneklerin $\rho-T$ ve $M-T$ ölçümlerinden elde edilen sonuçlardaki farklılığın nedeni, ölçüm yapılan örneklerin üretilen külçenin farklı yerlerinden alınmasıdır. Çünkü alınan örneklerde örgü kusurları, tane sınırları, dislokasyonlar ve Y_2O_3 parçacıklarının dağılımı bu farkı meydana getirecektir.

5. ÖNERİLER

1. Üretilen süperiletken külçelerin farklı yerlerinden alınan birden fazla örnek ile özdirenç–sıcaklık ($\rho-T$) ve mıknatıslanma–sıcaklık ($M-T$) ölçümleri yapılarak, ikincil 211 parçacıklarının süperiletkenlik üzerine etkisi incelenebilir.
2. Tavlama süresi 24 saatten 200 saate çıkarılarak, ikincil 211 parçacıklarının süperiletkenlik üzerine etkisi incelenebilir.
3. Farklı üretim teknikleri kullanılarak ikincil 211 parçacıklarının süperiletkenlik üzerine etkisi incelenebilir.



6. KAYNAKLAR

- Akimitsu, J., Nagamatsu, J., Nakagama, N., Murakana, T. ve Zenitani, Y., 2001. Superconductivity at 39 K in Magnesium Diboride, Natura, 410, 6824, 63-64.
- Anderson, P. ve Kim, Y., 1964. Hard Superconductivity: Theory of the Motion of Abrikosov Flux Lines, Review of Modern Physics, 36, 39-43.
- Bardeen, J., Cooper, L. N. ve Schrieffer, J. R., 1957. Theory of Superconductivity, Phys. Rev., 106, 162, 108, 1175.
- Bednorz, J. G. ve Müller, K. A., 1986. Possible High- T_c Superconductivity in Ba-La-Cu-O System, Z. Phys B, 64,189.
- Brandt, E. H. 1991. Dynamics of the Flux-Line Lattice in High- T_c Oxides. Superconductivity. Physica C. 185, 270.
- Buzea, C ve Yamashita, T., 2001. Review of Superconducting Properties of MgB_2 , Superconductor Science and Technology, 14, 11, 115-146.
- Cardwell D. A. ve Ginley D. S., 2003. Handbook of Superconducting Materials Vol. II: Characterization, Applications and Cryogenics, IOP Publishing, İngiltere, 2116.
- Chu, C. W., Hor, P. H., Meng, R. L., Gao, L. ve Huang, Z. J., 1987. Superconductivity at 52,5 K in the Lanthanum-barium-copper-oxide system, Science, 235, 567-569.
- Chu, C. W., Gao, L., Chen, F., Huang, Z. J., Meng, R. L. ve Xue, Y. Y., 1993. Superconductivity above 150 K in $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8-\delta}$ at High Pressure, Nature, 365, 323- 325.
- Cohen L. F. ve Jensen H. J., 1997. Open Questions in the Magnetic Behaviour of High-Temperature Superconductors, Rep. Prog. Phys., 60, 1581–1672 .
- Çakır B., 2010. Y_2O_3 Tabakalı $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ Bileşiminin Yapısal ve Fiziksel Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çelebi, S., 2004. II. Tip Süperiletkenlerde “Pinning” Mekanizması ve Girdap Dinamiği, 11. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı, 3 Aralık, Gazi Üniversitesi, Ankara, Özet Kitapçığı, 01, 10.
- Demirdiş S., 2008. Vorteks Mekanizmasının Süperiletkenliğe Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 19-4, 6-8.
- Dias F. T., Vieira V. das N., Nunes S. E., Pureur P., Schaf J., da Silva G. F. F., Gouvêa C. de P., Wolff-Fabris F., Kampert E., Obradors X., Puig T. ve Rovira J. J.R., 2016. Magnetic Irreversibility: An Important Amendment in the Zero-Field-

- Cooling and Field-Cooling Method, Japanese Journal of Applied Physics, 55, 023101.
- Diko, P., Chaud, X., Antall, V., Kănuchová, M., Šefčíková, M. ve Kováč, J., 2008. Elimination of Oxygenation Cracks in Top-Seeded Melt-Growth YBCO Superconductors by High Pressure Oxygenation, Supercond. Sci. Technol., 21, 115008-115010.
- Doğruer M., Yildirim G. ve Terzioğlu C., 2013. Effect of Annealing Temperature on Magnetoresistivity, Activation Energy, Irreversibility and Upper Critical Field of the Cu-diffused MgB₂ Bulk Superconductors, J.Mater. Sci: Mater. Electron, 24, 392-401.
- Fisher, M., 1989. Vortex-glass Superconductivity: a Possible New Phase in Bulk High-T_c oxides, Physical Review Letters, 62-12,1415-1418.
- Fisher D., Fisher M. P. A. ve Huse D. A., 1991. Thermal Fluctuations, Quenched Disorder, Phase Transitions and Transport in Type-II Superconductors, Phys. Rev. B., 43, 130-159.
- Ginzburg, V. L. ve Landau, L. D., 1950. On the Theory of Superconductivity, Zh. Eksp. Teor. Fiz., 20, 1064-1082.
- Ginzburg, V. L., 2000. Superconductivity: The Day Before Yesterday, Yesterday, Today, and Tomorrow Journal of Superconducting: Incorporating Novel Magnetism, 13-5, 665-676.
- Hasegawa, M., Yoshida, Y., Iwata, M., Ishizawa, K., Takai, Y. ve Hirabayashi, I., 2000. Effects of Y₂O₃ Layer on the Growth of YBa₂Cu₃O_{7-y} Thin Film by Metal Organic Chemical Vapor Deposition, Physica C, 336, 295-299.
- Hosono H., Kamihara Y., Watanabe T. ve Hirano M., 2008. Iron-Based Layered Superconductor La[O_{1-x}F_x]FeAs (x=0.05-0.12) with T_c 26 K, pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja800073m.
- Kurt F., 2011. YBCO (358) Süperiletken Sistemin Katıhal Yöntemi ile Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Karaoğlu K., 2013. Y₂O₃ Tabakalı YBaCuO Tek Kristalinin Çivileme Mekanizmasının “Dew- Huges Akı Çivileme Mekanizmasının Sınıflandırılması” Modeli ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kumakura H., Kitaguchi H., Matsumoto A. ve Yamada H., 2005. Upper Critical Field, Irreversibility Field and Critical Current Density of Powder-in tube-Processed MgB₂/Fe Tapes, Supercond. Sci. Technol., 18, 1042-1046.
- London, H., ve London, F., 1935. The electromagnetic Equations of the Superconductors, Proceeding of the Royal Society, A 149, 71-88.

- Macedo D. G., Vieira V. N., Dias F. T., da Silva D. L., Jaeckel S., Pureur P. ve Schaf J. 2014. Interconnection between Zero Resistance and Magnetic Irreversibility Temperatures in the Hole Doped $Y_{0.9}Ca_{0.1}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ Single Crystal, Journal of Physics: Conference Series, 568, 022016.
- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukutomi, M. ve Asano, T., 1988. High- T_c Oxide Superconductor Without A Rare Earth Element , Jpn. J. Appl. Phys., 27, 209-210.
- Mankowsky R., Subedi A., Först M., Mariager S. O., Chollet M., Lemke H. T., Robinson J. S., Glowina J. M., Minitti M. P., Frano A., Fechner M., Spaldin N. A., Loew T., Keimer B., Georges A. ve Cavalleri A., 2014. Nonlinear Lattice Dynamics as a Basis for Enhanced Superconductivity in $YBa_2Cu_3O_{6.5}$ Nature, 561, 71-73.
- Matsushita, T., Itoh, M., Kikits, A. ve Miyamota, Y., 1985. Elastic and Plastic Behavior of a Fluxoid Lattice in the Saturation Region of the Global Pinning force in Superconducting Nb-Ta, Phys. Rev B, 33, 5.
- Meissner, W. ve Ochsenfeld, R., 1933. Superconductivity, Naturwissensch, 21, 787-788.
- Mohanta, A. ve Behera, D., 2009. Magnetic Field Induced Pinning Effect in $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + BaZrO_3$ Superconductor, Presented at International Conference MSM-09 at S.N. Bose National Centre for Basic Sciences, Kolkata, 1-11.
- Murakami, M., Oyama, T., Fujimoto, H., Gotoh, S., Yamaguchi, K., Shiohara, Y., Koshizuaka, N. ve Tanaka, S., 1991. Melt Processing of Bulk High T_c Superconductors and Their Application, IEEE Trans. Mag, 27, 2, 1479-1486.
- Murakami, M., 1992. Processing of Bulk $YBaCuO$, Supercond. Sci. Technol., 5, 185-203.
- Müller, P. ve Ustinov, A.V., 1997. The Physics of Superconductors, Springer, Germany.
- Onnes, H. K., 1911. Disappearance of The Electrical Resistance of Mercury of Helium, Akad van Wetenschappen, 14, 113-115, 818-821.
- Pena, J.P., Martinez, D.B. ve Pureur, P., 2013. Magnetic Measurements and Kinetic Energy of the Superconducting Scondensate in $SrBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, Braz. J. Phys. 43, 24.
- Rose-Innes, A.C. ve Rhoderick, E.H., 1980. Introduction to Superconductivity, Second Edition, Pergamon Press Ltd., England.
- Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J. D. ve Ott, H. R., 1993. Superconductivity above 130 K in the Hg-Ba-Ca-Cu-O System, Nature, 363, 56-58.
- Sharma, S., Vinod, K., Sundar, C.S. ve Bharathi, A., 2013. Critical Current Density and Magnetic Phase Diagrams of $BaFe_{1.29}Ru_{0.71}As_2$ Single Crystals, Superconductor Science and Technology, 26, 015009, 1-6.

- Sheng, Z. Z. ve Hermann, A. M., 1988. New 120 K TlBaCaCuO Superconductors, Nature, 332, 138- 140.
- Sjöström M., 2001. Hysteresis Modeling of High Temperature Superconductors, Doctoral Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, Stockholm.
- Skourski Y., Fuchs G., Kersch P., Kozlov N., Eckert D., Nenkov K. ve Müller K. H., 2004. Magnetization and Magneto-resistance Measurement of Bulk $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ in Pulsed Magnetic Fields up to 50 T, Physica B, 346-347, 325-328.
- URL-1, kjmagnetics.com/blog.asp?p=superconductors, 29 Eylül 2015.
- URL-2, www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/electric-current-and-resistance-19/resistance-and-resistors-146/dependence-of-resistance-on-temperature-523-5640, 29 Eylül 2015.
- URL-3, astarmathsandphysics.com/a-level-physics-notes/168-electricity/2605-the-meissner-effect.html, 29 Eylül 2015.
- URL-4, www.acsu.buffalo.edu/~mumtazmu/fizikgosterideneyleri.com/superiletkenlik.htm, 15 Şubat 2016.
- URL-5, phys.kent.edu/images/nep_fluxpin.gif, 15 Şubat 2016.
- Valladares L. De Los Santos, Dominguez A. Bustamante, Quispe R. Bellido, Santibañez W. Flores, Aguiar J. Albino, Barnes C.H.W. ve Majima Y., 2012. The Irreversibility Line and Curie-Weiss Temperature of the Superconductor $\text{LaCaBaCu}_{3-x}(\text{BO}_3)_x$ with $x=0.2$ and 0.3 , Physics Procedia, 36, 354 – 359.
- Vargas P. C. A., Jr. Pimentel J.L., Pureur P., Tellez L. D. A. ve Roa-Rojas J., 2012. Behavior of the Irreversibility Line in the New Superconductor $\text{La}_{1.5+x}\text{Ba}_{1.5+x-y}\text{Ca}_y\text{Cu}_3\text{O}_z$, Physica B, 407, 3128-3130.
- Vieira V. N. ve Schaf J., 2002. Anisotropic irreversibility of the Abrikosov and Josephson flux dynamics in $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals: Bose-glass and vortex-glass features, Physical Review B, 65, 144531.
- Vieira V. N. ve Schaf J., 2003. Bose-glass, Vortex-glass and Superconducting-glass Properties in Sr Doped YBaCuO Single Crystals, Physica C, 384, 514-524.
- Vinokur, V., Khaykovich, B., Zeldov E. ve Doyle R. A., 1998. Lindeman Criterion and Vortex Matter phase transitions in High Temperature Superconductors, Physica C, 255, 209-217.
- Wu, M. K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R. L., GaO, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q. ve Chu, C.W., 1987. Superconductivity at 95 K in a New Mixed Phase YBaCuO Compound System and Ambient Pressure”, Phys. Rev.Lett., 58, 908-910.

- Xenikos, D. G. ve Lemberger, T. R. 1990. Nonlinear Magnetization of Y-Ba-Cu-O Crystals. Phys. Rev. B. 41, 869.
- Yeshurun, Y. ve Malozemoff, A.P., 1988. Giant Flux Creep and Irreversibility in an Y-Ba-Cu-O Crystal: An Alternative to the Superconducting-Glass Model, Physical Review Letters, 60, 21, 2202-2205.
- Yildirim G., Bal S. ve Varilci A., 2012. Effect of Magnetic Field Direction on Magnetoresistivity, Activation Energy, Irreversibility and Upper Critical Field of Bi-2212 Thin Film Fabricated by Dc Sputtering Method, J.Supercond. Nov. Magn., 25, 1665-1671.
- Zheng, M.H., Xiao, L., Ren, H.T., Jiao, Y.L. ve Chen, Y.X., 2003. Study of Oxygenation Process During the Preparation of Single Domain YBCO Bulk Superconductors, Physica C, 386, 258-261.



ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Samsun ili Alaçam ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğretimini Alaçam'da tamamladıktan sonra 2007 yılında Hacettepe Fizik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2013 yılında Hacettepe Fizik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başlayan Sedat KURNAZ İngilizce bilmektedir.

