

T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANA BİLİM DALI

ÜSTTEN TOHURLAMA YÖNTEMİ  
İLE YBCO SÜPERİLETKENİ ÜRETİMİ VE  
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

NİHAT ŞİMŞEK



T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANA BİLİM DALI

ÜSTTEN TOHURLAMA YÖNTEMİ  
İLE YBCO SÜPERİLETKENİ ÜRETİMİ VE  
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

NIHAT ŞİMŞEK


Doktora Tezi


Danışman


Doç. Dr. İbrahim KARACA

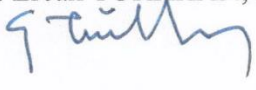
Ocak 2016

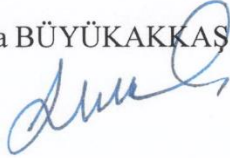
**Nihat ŞİMŞEK** tarafından **Doç. Dr. İbrahim KARACA** danışmanlığında hazırlanan “**Üstten Tohumlama Yöntemi ile YBCO Süperiletkeni Üretimi ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik** Ana Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Osman ÖZSOY, Erciyes Üniversitesi İmza  


Üye : Doç. Dr. İbrahim KARACA, Niğde Üniversitesi İmza  


Üye : Prof. Dr. Emin ÇADIRLI, Niğde Üniversitesi İmza  


Üye : Doç. Dr. Ercan TÜRKKAN, Necmettin Erbakan Üniversitesi İmza  


Üye : Yrd. Doç. Dr. Selva BÜYÜKAKKAS, Niğde Üniversitesi İmza  


**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../....../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Nihat ŞİMŞEK

## ÖZET

### ÜSTTEN TOHUMLAMA YÖNTEMİ İLE YBCO SÜPERİLETKENİ ÜRETİMİ VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ŞİMŞEK, Nihat

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman

:Doç.Dr. İbrahim KARACA

Ocak 2016, 143 sayfa

Bu tezde, başlangıç kompozisyonlarına uygun olarak seçilen  $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.20}O_y$  (Sm123) ve  $Y_1Ba_2Cu_3O_y$  (Y123) süperiletkenleri malzeme üretiminin ilk basamağında geleneksel katı hal tepkime yöntemiyle üretildi. İkinci basamakta, malzemeler iki farklı amaç için tablet haline getirildi; birinci amaç için tabletler Üstten Tohumla Yöntemi (ÜTY) ile üretildi ve ikincisi için tabletlerin üretimi ilk kez bu tezde kullanılan ve Gömülü Tohum Yöntemi (GTY) olarak adlandırılan yöntem ile üretildi. Bu aşamada malzemeler eritme işlemi ile üretildi. Üretimi yapılan malzemelerin incelenmesi DTA, XRD, SEM, AC alınganlık ve Kaldırma Kuvveti ölçümleriyle yapıldı. Önemli bir sonuç olan özden kritik geçiş sıcaklığı 94.288 K olarak AC alınganlık ölçümünde görüldü. Bu sonuç literatürden yaklaşık 1.7 K daha yüksektir. Manyetik duyarlılık, levitasyon eğrilerinin eğiminden hesaplanmıştır. Böylece, tüm numunelerde doğrusal olmayan, manyetik kuvvetin ve duyarlılık düşey mesafe ile değişimde tersinmez davranışı görüldü. Kuvvet ve duyarlılık sonuçları teorik olarak mesafe ile değişimleri araştırıldı ve bazı sabitler eğriyi fit ederek hesaplandı.

*Anahtar Sözcükler: Sm123, Y123, üstten tohumlama yöntemi, gömülü tohum yöntemi, kaldırma kuvveti, manyetik alınganlık*

## SUMMARY

### PRODUCING AND INVESTIGATING OF PHYSICAL PROPERTIES OF THE YBCO SUPERCONDUCTOR BY THE TOP SEED METHOD

ŞİMŞEK, Nihat

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc.Prof.Dr. İbrahim KARACA

January 2016, 143 pages

In this thesis, first step for producing materials, Sm123 and Y123 superconductors using suitable nominal composition  $\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.20}\text{O}_y$  and  $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ , were produced by using the traditional solid state reaction. Second step, the materials were put in to pellets in two aims; one of them was made by using Top Seed Method (TSM) and the other by using Embedded Seed Method (ESM), made in this thesis at first as called. In this step all materials were produced by melting process. The materials were investigated by using DTA, XRD, SEM, AC Susceptibility and Levitation force measurements. An important result is obtained that the AC susceptibility measurement showed the intrinsic critical transition temperature is 94.288 K. This is higher than the literature nearly 1.7 K. The magnetic stiffness is calculated from the slope of the levitation loops. Thus, all samples have an irreversible behaviour to nonlinearity, in their magnetic force and stiffness versus vertical distance, viewed. The levitation and stiffness results theoretically were studied to investigate their change with distance and some constants were calculated from fitting curves.

*Keywords: Sm123, Y123, top seed method, embedded seed method, levitation force, magnetic stiffness.*

## ÖN SÖZ

Bu doktora çalışmasında, yüksek sıcaklık süperiletkenlerinden olan Y (Itrium) ve Sm (Samaryum) ailesi temel alınarak üstten tohumlama ve gömülü tohumlama yöntemleri (ilk defa bu tez çalışmasında geliştirilmiş ve uygulanmıştır) ile malzemelerin üretimi gerçekleştirildi. Fiziksel özellikleri DTA, XRD, SEM, AC Alınganlık, Kaldırma Kuvveti ölçümleri ve teorik hesaplamalar kullanılarak manyetik duyarlılık hesaplamaları yapıldı. Doktora tez çalışmasının yürütülmesi esnasında, tez konusunu belirleyen ve çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Doç. Dr. İbrahim KARACA'ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Doktora tez çalışması esnasında eleştirel ve insancıl yapısıyla büyük desteğini gördüğüm Erciyes Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Osman ÖZSOY, Niğde Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Emin ÇADIRLI, Necmettin Erbakan Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Oğuz DOĞAN, Kırıkkale Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Saffet NEZİR'e desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu doktora tez çalışmasını, maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen ve doktora çalışması süresince göstermiş oldukları sabır ve özveriden dolayı eşim ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmaya FEB2012/09 (DTP Projesi) numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine ve çalışanlarına desteklerinden dolayı teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ÖN SÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xvi
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xvii
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
1.2 Süperiletkenlerin Bazı Temel Özellikleri.....	3
1.2.1 Meissner Etkisi.....	3
1.2.2 I.Tip ve II. Tip Süperiletkenler .....	7
1.2.3 Manyetik Alınganlık.....	13
1.2.4 Manyetik Kaldırma (Levitasyon) Sistemi .....	16
1.2.5 Manyetik Duyarlılık (Magnetic Stiffness).....	21
1.3 Süperiletkenlerin Oksijen Duyarlılıkları.....	24
1.4 Diferansiyel Termal Analiz (DTA).....	26
BÖLÜM II LİTERATÜR VE MALZEME ÜRETİM YÖNTEMİ .....	30
2.1 Süperiletken Seramik Üretiminde Kullanılan Eritme Yöntemleri .....	30
2.1.1 Eritme Yönlendirme Büyütme Yöntemi [Melt-Texture-Growth (MTG)].....	30
2.1.2 Hızlı-Soğutma-Eritme-Büyütme (Quench Melt Growth).....	32
2.1.3 Eritme-Toz-Eritme-Büyütme Yöntemi (MPMG).....	33
2.1.4 Ark Döküm (Arc-Casting) Yöntemi .....	34
2.1.5 Üstten Tohumlama Eritme Büyütme Yöntemi [TSMG (ÜTY)].....	35
BÖLÜM III MATERYAL VE YÖNTEM .....	42
3.1 $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.20}Oy$ (Sm123) ve $YBa_2Cu_3Oy$ (Y123) Bileşiklerinin Hazırlanması.....	42
3.2 Üstten Tohumlama Eritme Büyütme Yöntemi ile Üretilen Malzemelerin Sinterlenmesi.....	45
3.3 Gömülü Tohum Yöntemi (GTY) ile Üretilen Malzemelerin Sinterlenmesi.....	48

3.4 Oksijen Verme (Tavlama) .....	51
3.5 Yapılan Ölçümler .....	52
3.5.1 Diferansiyel Termal Analiz (DTA).....	52
3.5.2 X-Işını.....	53
3.5.3 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	53
3.5.4 Manyetik Alınganlık.....	53
3.5.5 Manyetik Kaldırma (Levitasyon).....	54
BÖLÜM IV BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
4.1 Diferansiyel Termal Analiz Sonuçları (DTA).....	56
4.2 X-Işını Sonuçları.....	57
4.3 Elektron Mikroskop (SEM) Fotoğraf Sonuçları .....	65
4.4 Kaldırma Kuvveti ve Manyetik Alınganlık Sonuçları.....	73
4.4.1 Sinterleme (hava ortamı) sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık azalırken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları.....	75
4.4.2 Sinterleme (hava ortamı) sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık artarken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları.....	84
4.4.3 Tavlama (oksijen verme) sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık azalırken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları.....	91
4.4.4 Tavlama sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık artarken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları.....	99
4.4.5. Sinterlenmiş ve Tavlanmış süperiletken numunelerin kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi ölçüm sonuçları.....	105
4.4.6 Kaldırma kuvveti ile ilgili nümerik çalışmalar.....	107
4.4.7 Manyetik duyarlılık ölçüm sonuçları .....	109
4.5 AC Alınganlık.....	127
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	129
KAYNAKLAR.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	142
TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER.....	143

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Metal ve Oksit süperiletkenlerin özellikleri .....	37
Çizelge 2.2. Bazı RE Elementlerinin iyonik yarıçapı ve erime noktaları .....	41
Çizelge 3.1. Y123, Sm123 başlangıç bileşiğinin hazırlanmasında kullanılan kimyasal toz miktarları.....	42
Çizelge 4.1. Literatürde Sm123, Y123, Sm211 ve Y211 X-Işını çalışan bilim adamları .....	64
Çizelge 4.2. Numunelerin örgü parametreleri ve kristal yapıları.....	65
Çizelge 4.3. Literatürde Sm123, Y123, Sm211 ve Y211 SEM çalışan bilim adamları..	73
Çizelge 4.4. Hava ortamında süperiletken permanent magnete yaklaşırken elde edilen iyi fit sonuçları.....	107
Çizelge 4.5. Hava ortamında süperiletken permanent magnetten uzaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları.....	107
Çizelge 4.6. Oksijen ortamında süperiletken permanent magnete yaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları.....	108
Çizelge 4.7. Oksijen ortamında süperiletken permanent magnetten uzaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları.....	108

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Onnes'un civa örneği ile ilgili düzenlenmiş sıcaklık-direnç ölçüm grafiği...1	
Şekil 1.2. Oda sıcaklığında bulunan ideal iletkenin (a) soğutulduktan sonra manyetik alan uygulandığında (ZFC) (b) manyetik alan uygulandıktan sonra soğutulduğunda (FC) ideal iletkenin davranışı.....5	
Şekil 1.3. Oda sıcaklığında bulunan süperiletkene (a) soğutulduktan sonra manyetik alan uygulandığında (b) manyetik alan uygulandıktan sonra soğutulduğunda süperiletkenin davranışı ..... 6	
Şekil 1.4. Kritik geçiş sıcaklığı ile kritik manyetik alan arasındaki ilişki ..... 8	
Şekil 1.5. (a) I. tip ve (b) II. tip süperiletken için kritik manyetik alanın sıcaklıkla değişimini gösteren faz diyagramı ..... 9	
Şekil 1.6. I.tip süperiletkenler için; (a) manyetik akının (b) manyetizasyonun ve II. tip süperiletkenler için; (c) manyetik akının (d) manyetizasyonun, uygulanan alana bağlılığı ..... 11	
Şekil 1.7. $H_{C1}$ 'den daha büyük şiddette uygulanan alan durumunda (a) akım halkaları ve onunla ilişkili girdaplar (b) süperelektron yoğunluğunun konumla değişimi (c) akı yoğunluğunun konumla değişimi (d) süperiletken olmayan parçacık tarafından oluşturulan akı çivilenmesinin şematik gösterimi..... 12	
Şekil 1.8. $(Bi-Pb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ için AC alınganlık ölçümü ..... 16	
Şekil 1.9. I.Tip Süperiletkenler için kaldırma sistemleri ..... 19	
Şekil 1.10. II.Tip Süperiletkenler için kaldırma sistemleri ..... 19	
Şekil 1.11. Sürekli mıknatıs (PM) ile yüksek sıcaklık süperiletken (HTS) arasındaki manyetik kaldırma sistemi ..... 20	
Şekil 1.12. YBCO süperiletken ile Sm-Co Mıknatıs arasında ZFC ortamında kaldırma kuvvetinin düşey mesafeye bağlılığı..... 21	
Şekil 1.13. Manyetik kaldırma (levitasyon) sisteminde kuvvetlerin gösterimi ..... 23	
Şekil 1.14. Farklı sıcaklık ve basınç altında oksijen miktarına göre ortorombik ve tetragonal faz geçişi ..... 25	
Şekil 1.15. $T_c$ Geçiş sıcaklığının oksijen miktarına bağımlılığı ..... 26	
Şekil 1.16. Polimer malzemenin sabit ısıtma altında DTA eğrisi .....27	

Şekil 1.17. Eritme yöntemiyle üretilen Sm123 süperiletken numunenin başlangıç toz bileşiminden alınan DTA eğrisi .....	29
Şekil 2.1. MTG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi.....	31
Şekil 2.2. Geliştirilmiş MTG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi..	31
Şekil 2.3. QMG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 2.4. 77 K'de MPMG yöntemine göre hazırlanmış ve %Y211 katkılı YBaCuO numunelerinin magnetik alana göre Jc değerinin değişimi.....	33
Şekil 2.5. Y <sub>1</sub> Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O bileşiğinin (a) MTG yöntemi ile üretilen (b) MPMG yöntemi ile üretilen (c-d) MPMG yöntemi ile katkısız ve % 10 Ag katkılı üretilen örneklerin mikroyapısı .....	34
Şekil 2.6. AQPG yönteminin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi.....	35
Şekil 2.7. 0,21 oksijen atmosfer basıncında Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -BaO-CuO sisteminin faz diyagramı .....	36
Şekil 2.8. YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-x</sub> süperiletkeninin CuO <sub>2</sub> düzlemleri ve CuO zincirlerini gösteren ortorombik birim hücre yapısı .....	37
Şekil 2.9. Üstten tohumlama eritme büyütme (TSMG) metoduna göre üretilen süperiletkenlerin şematik gösterimi .....	38
Şekil 2.10. Sm123'ün hava ortamında pseudo-binary faz diyagramı .....	39
Şekil 2.11. SmBaCuO pseudo-binary faz diyagramı .....	39
Şekil 2.12. Sm <sub>1,5</sub> -BaO-CuO'in (a) 975 °C, (b) 1000 °C ve (c) 1030 °C'de hava ortamında quasi-ternary faz diyagramı .....	40
Şekil 3.1. Sm123 ve Y123 toz karışımlarının kalsinasyon işlemi sıcaklık-zaman grafiği.....	44
Şekil 3.2. Sinterleme işlemi sıcaklık-zaman grafiği .....	45
Şekil 3.3. Preslenen tohum numunelerinin yoğunlukları .....	49
Şekil 3.4. Sinterleme işlemi için hazırlanan yapı .....	50
Şekil 3.5. Oksijen verme sıcaklık-zaman grafiği .....	51
Şekil 3.6. Manyetik kaldırma deney düzeneği .....	55
Şekil 4.1. Sm <sub>1,46</sub> Ba <sub>1,54</sub> Cu <sub>3,2</sub> Oy yapıli bileşiğın DTA eğrisi.....	56
Şekil 4.2. Sm <sub>1,46</sub> Ba <sub>1,54</sub> Cu <sub>3,2</sub> Oy yapıli bileşiğın X-ışını deseni.....	57
Şekil 4.3. Saf (GTYS) numunesinin X-ışını deseni.....	58
Şekil 4.4. 0,3g tohum katkılı (GTY3) numunenin X-ışını deseni.....	59
Şekil 4.5. 0,4g tohum katkılı (GTY4) numunenin X-ışını deseni.....	59
Şekil 4.6. 0,5g tohum katkılı (GTY5) numunenin X-ışını deseni.....	60

Şekil 4.7. 0,6g tohum katkılı (GTY6) numunenin X-ışını deseni.....	60
Şekil 4.8. 0,7g tohum katkılı (GTY7) numunenin X-ışını deseni.....	61
Şekil 4.9. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra saf (GTYS) numunenin ölçülen X-Işını deseni.....	61
Şekil 4.10. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,3g tohum katkılı (GTY3) numunenin ölçülen X-Işını deseni.....	62
Şekil 4.11. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,4g tohum katkılı (GTY4) numunenin ölçülen X-Işını deseni.....	62
Şekil 4.12. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,5g tohum katkılı (GTY5) numunenin ölçülen X-Işını deseni.....	63
Şekil 4.13. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,6g tohum katkılı (GTY6) numunenin ölçülen X-Işını deseni.....	63
Şekil 4.14. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,7g tohum katkılı (GTY7) numunenin ölçülen X-Işını deseni.....	64
Şekil 4.15. Hava ortamında ÜTY ile üretilen numunenin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	75
Şekil 4.16. Hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	76
Şekil 4.17. Hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	77
Şekil 4.18. Hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	78
Şekil 4.19. Hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	79
Şekil 4.20. Hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	80
Şekil 4.21. Hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin	

Inh'a bağlı değişimi.....	81
şekil 4.22. Hava ortamında ÜTY ile üretilen numunenin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	84
şekil 4.23. Hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	85
şekil 4.24. Hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	86
şekil 4.25. Hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	87
şekil 4.26. Hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	88
şekil 4.27. Hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	89
şekil 4.28. Hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	90
şekil 4.29. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	91
şekil 4.30. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	92
şekil 4.31. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	93
şekil 4.32. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin Inh'a bağlı değişimi.....	94

Şekil 4.33. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	95
Şekil 4.34. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	96
Şekil 4.35. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTYS numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	99
Şekil 4.36. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY3 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	100
Şekil 4.37. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY4 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	101
Şekil 4.38. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY5 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	102
Şekil 4.39. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY6 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	103
Şekil 4.40. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY7 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi.....	104
Şekil 4.41. (a) Sinterlenmiş (hava ortamında) numunelerin kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) 12 saat 600 °C de oksijen verildikten (tavlandıktan) sonra numunelerin kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi.....	105
Şekil 4.42. Hava ortamında üretilen ÜTY numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık lnh' a bağlı değişimi.....	109
Şekil 4.43. Hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık lnh' a bağlı değişimi.....	110



Şekil 4.44. Hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık Inh' a bağlı değişimi.....	111
Şekil 4.45. Hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık Inh' a bağlı değişimi.....	112
Şekil 4.46. Hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık Inh' a bağlı değişimi.....	113
Şekil 4.47. Hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık Inh' a bağlı değişimi.....	114
Şekil 4.48. Hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık Inh' a bağlı değişimi.....	115
Şekil 4.49. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık Inh'a bağlı değişimi.....	119
Şekil 4.50. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık Inh'a bağlı değişimi.....	120
Şekil 4.51. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık Inh'a bağlı değişimi.....	121
Şekil 4.52. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık Inh'a bağlı değişimi.....	122
Şekil 4.53. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık Inh'a bağlı değişimi.....	123
Şekil 4.54. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık Inh'a bağlı değişimi.....	124
Şekil 4.55. $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.20}O_y$ ait AC alınganlığın sıcaklığa bağlı değişimi.....	127

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 3.1. (a)Y123 ve Sm123 tozları (b) 4 saat öğütüldükten sonra Y123 ve Sm123 toz karışımları.....	43
Fotoğraf 3.2. Kalsinasyon öncesi ve kalsinasyon sonrası Sm123 ve Y123.....	44
Fotoğraf 3.3. Süperiletken numune hazırlama da kullanılan çelik pres kalıpları .....	45
Fotoğraf 3.4. Üstten tohumlama yöntemi ile Sm123 tohum kullanarak üretilen Y123 numuneler.....	46
Fotoğraf 3.5. Üstten tohumlama yöntemi ile Sm123 tohum kullanarak üretilen Y123+MgO numunesinin farklı açılardan görünümü.....	46
Fotoğraf 3.6. Üstten tohumlama yöntemi ile üretilen Sm123 tohumlu Y123 numunesinin altına yerleştirilen MgO peletinin numuneye etkisi.....	47
Fotoğraf 3.7. Üstten tohumlama eritme büyütme yöntemi ile üretilen örnekler .....	47
Fotoğraf 3.8. (a) 6 mm çapında preslenmiş tohum, (b) 16 mm çapında tohum içine yerleştirilmiş numune (c) tohumun yerleştirildiği bölge .....	48
Fotoğraf 3.9. 16 mm çapında çelik haznenin içine yerleştirilen tohum.....	48
Fotoğraf 3.10. Oksijen verme ünitesi .....	51
Fotoğraf 3.11. Perkin Elmer Diamond marka DTA ölçüm cihazı .....	52
Fotoğraf 3.12. Manyetik alınganlık ölçüm cihazı.....	54
Fotoğraf 4.1. $Sm_{1,46}Ba_{1,54}Cu_{3,2}O_y$ yapılu bileşiğin SEM görüntüsü.....	66
Fotoğraf 4.2. Saf (GTYS) numunesinin SEM görüntüsü.....	66
Fotoğraf 4.3. Oksijensiz 0,3g tohum katkılı (GTY3) numunesinin SEM görüntüsü... 67	
Fotoğraf 4.4. Oksijensiz 0,4g tohum katkılı (GTY4) numunesinin SEM görüntüsü... 67	
Fotoğraf 4.5. Oksijensiz 0,5g tohum katkılı (GTY5) numunesinin SEM görüntüsü... 68	
Fotoğraf 4.6. Oksijensiz 0,6g tohum katkılı (GTY6) numunesinin SEM görüntüsü... 68	
Fotoğraf 4.7. Oksijensiz 0,7g tohum katkılı (GTY7) numunesinin SEM görüntüsü... 69	
Fotoğraf 4.8. Oksijenli saf (GTYS) numunesinin SEM görüntüsü.....	70
Fotoğraf 4.9. Oksijenli 0,3g tohum katkılı (GTY3) numunesinin SEM görüntüsü... 70	
Fotoğraf 4.10. Oksijenli 0,4g tohum katkılı (GTY4) numunesinin SEM görüntüsü... 71	
Fotoğraf 4.11. Oksijenli 0,5g tohum katkılı (GTY5) numunesinin SEM görüntüsü... 71	

Fotoğraf 4.12. Oksijenli 0,6g tohum katkılı (GTY6) numunesinin SEM görüntüsü...72

Fotoğraf 4.13. Oksijenli 0,7g tohum katkılı (GTY7) numunesinin SEM görüntüsü...72

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$H_a$	Malzemeye dışardan uygulanan manyetik alan
$B_a$	Malzeme içinde oluşan manyetik akı
$E$	Elektrik alan
$\rho$	Özdirenç
$T_C$	Kritik geçiş sıcaklık
$J$	Elektriksel akım yoğunluğu
$H_C$	Kritik manyetik alan
$H_{C1}$	Alt kritik alan
$H_{C2}$	Üst kritik alan
$B$	Manyetik akı
$M$	Mıknatıslanma
$\mu_0$	Serbest uzayın manyetik geçirgenlik katsayısı
$\lambda$	Nüfuz derinliği
$\xi$	Koherens uzunluğu
$\chi$	Manyetik alınganlık
$\chi'$	Alınganlığın reel bileşeni
$\chi''$	Alınganlığın sanal bileşeni
$F$	Manyetik kaldırma kuvveti
$m$	Birim hacimdeki manyetik momenti
$\kappa$	Manyetik duyarlılık (Stiffness)

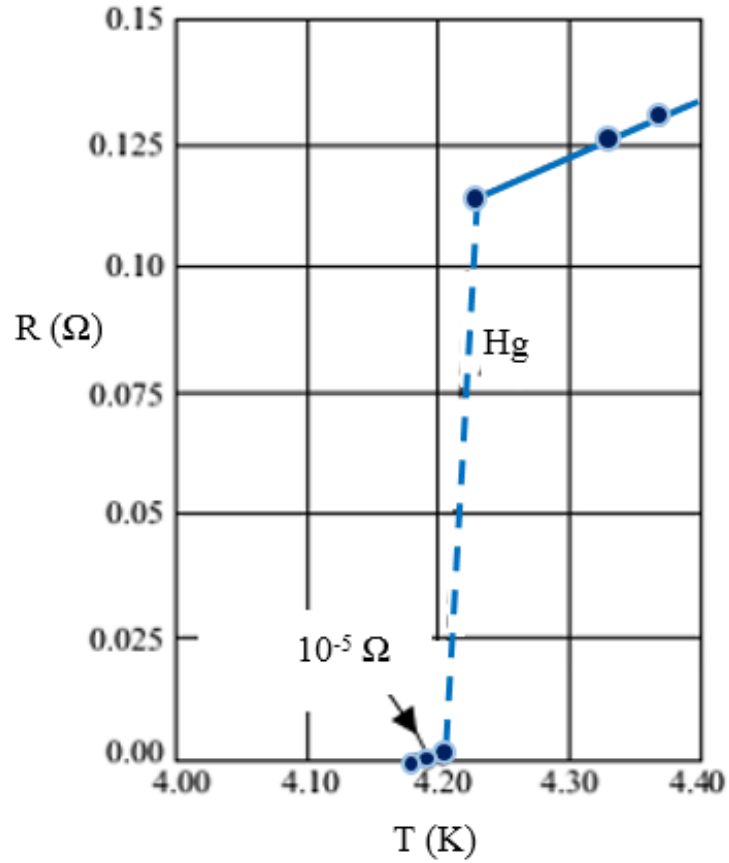
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
XRD	X-Işını Kırınımı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
ZFC	Alansız Soğutma

FC	Alanlı Soğutma
LRE	Nadir Toprak Elementleri
ÜTY	Üstten Tohumlama Yöntemi
GTY	Gömülü Tohum Yöntemi

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Süperiletkenliğin tarihsel gelişimi 1908 yılında Hollandalı fizikçi Heike Kamerling Onnes ve asistanı Gilles Holst' un Helyum'u  $T_C = 4,2$  K sıcaklığında sıvılaştırmasıyla başlamıştır. Bu tarihe kadar oksijen, azot ve hidrojen gazları sıvılaştırılmış ve son doğal gaz helyum kalmıştı. Bu keşif düşük sıcaklıklarda maddelerin elektriksel özelliklerinin incelenmesine olanak sağlamıştır. Onnes bu çalışmasından üç yıl sonra saf cıvanın direncini ölçmüştü ve direncin 0 K de sıfıra gitmesini beklerken 4.15 K altında direnç değerinin sıfır olduğunu keşfetmiştir (Onnes ve Gilles, 1911).



**Şekil 1.1.** Onnes'un cıva örneği ile ilgili düzenlenmiş sıcaklık-direnç ölçüm grafiği (Ginzburg ve Andryushin, 2004)

Maddenin gözlenen bu yeni hali, elektriksel özellikler bakımından normal iletkenlikten farklı olduğundan Onnes bu hali “süperiletken” olarak adlandırmıştır. Direncin sıfıra düştüğü bu sıcaklık değeri de kritik sıcaklık ( $T_C$ ) olarak adlandırılmaktadır. Bu olaydan 22 yıl sonra, W.H. Meissner ve R. Ochsenfeld 1933 yılında süperiletkenlerin manyetik özelliklerini incelediklerinde, manyetik alanda soğutulan bir süperiletkenin manyetik akıyı dışarladığını gözlemlediler. Bu olay Meissner Olayı olarak bilinir (Meissner ve Ochsenfeld, 1933).

Meissner’in bu çalışmalarının ışığında 1935 yılında Fritz ve Heinz London kardeşler, manyetik alan uygulanan bir süperiletkene, manyetik alanın nasıl nüfuz ettiğini açıklayan bir teori önerdiler (London, 1935). London denklemleri diye bilinen bu teori süperiletkenliğin temel özelliklerinden sıfır direnç ve ideal (mükemmel) diyamanyetizmayı birleştirerek elektromanyetik olarak temellendirir.

Süperiletkenlik ile ilgili ilk kuantum mekaniksel teori 1950 yılında Ginzburg ve Landau tarafından yapıldı (Ginzburg ve Landau, 1950). Bu teori süperiletken hal ile normal hal arasında bir düzen parametresinin varlığını kabul eder. Yine aynı yıl Maxwell deneysel olarak, H. Fröhlich ise teorik olarak, özellikle aynı elementin farklı izotoplarının geçiş sıcaklıklarını incelediler (Fröhlich ve Maxwell, 1950). Sonuç olarak atomik kütlenin artmasıyla geçiş sıcaklığının azaldığını buldular. Süperiletkenlerde elektron-fonon etkileşmesinin varlığını ortaya çıkaran bu olay izotop etkisi olarak bilinmektedir. Bütün bu modeller süperiletkenliğin mikroskobik teorisini açıklamaya yetmedi. Süperiletkenliğin mikroskobik teorisini 1957 yılında John Bardeen, Leon Cooper ve Robert Schrieffer, açıkladılar (Barden vd., 1957). Bu teori BCS teorisi diye adlandırıldı. Teori, kayıp akımları normal halde elektronların, süperiletken halde Cooper çifti denilen süper elektronların taşıdığını belirtir. Ayrıca süper elektronların yüklerinin ve kütlelerinin normal elektronlara göre iki kat daha fazla olduğunu ve süperelektronların malzeme içinde sıcaklık bağımlılığının bulunduğunu da açıklar.

1962 yılında Bean alınganlık ve manyetizasyon eğrilerinden, süperiletkenleri karakterize eden süperiletkenlik özelliğini kaybetmeden önceki kritik akım yoğunluğunun

bulunabileceğini gösterdi (Bean, 1962; Bean, 1964).

Süperiletkenliğin keşfinden 1986 yılına gelinceye kadar  $T_c$  geçiş sıcaklığı ile ilgili araştırmalar çok yavaş ilerlemiştir. 1986 yılında J. G. Bednorz ve K. A. Müller La-Ba-Cu-O sisteminin 35 K civarında süperiletkenliğe geçiş yaptığını buldular. Bulunan bu yeni süperiletkene *yüksek sıcaklık süperiletkenleri* denilmiştir (Bednorz ve Müller, 1986). 1987 yılında 92 K geçiş sıcaklığına sahip İtiryum-baryum-bakır-oksijen sisteminden oluşan  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  seramik süperiletkeni bulundu (Wu vd., 1987). Bulunan bu geçiş sıcaklığı değeri sıvı azotun kaynama sıcaklığı olan 77 K'nin üzerinde olması daha sonra yapılan süperiletkenlik çalışmalarına ivme kazandırmıştır. Aynı yıllarda Bi-Sr-Ca-Cu-O ( $T_c \sim 110$  K), Tl-Ba-Ca-Cu-O ( $T_c \sim 120$  K) ve Hg-Ba-Ca-Cu-O ( $T_c \sim 130$  K) geçiş sıcaklıkları olarak bulunması bu alandaki çalışmaların başarısını göstermektedir (Michel vd., 1987; Maeda vd., 1988; Sheng vd., 1988; Hazen vd., 1988; Schilling vd., 1993).

## 1.2. Süperiletkenlerin Bazı Temel Özellikleri

Süperiletkenliğin keşfinden günümüze kadar süperiletkenliği tanımlamakta kullanılan en temel özellikler kısaca aşağıda açıklanmıştır.

### 1.2.1. Meissner Etkisi

Meissner etkisinin anlaşılması için öncelikle ideal iletkenin manyetik alan altında sıcaklık değişimine göre davranışının incelenmesi gerekir. Normal iletkene dışardan uygulanan manyetik alan  $H_a$ , iletken içinde oluşan manyetik alanda  $B_a$  olsun, buna göre;

- 1- Oda sıcaklığındaki bir ideal iletkeni önce düşük sıcaklıklara soğutalım, sonra  $H_a$  manyetik alanı uygulayalım ve bir süre sonra manyetik alanı kaldıralım
- 2- Oda sıcaklığındaki bir ideal iletkeni önce  $H_a$  manyetik alan uygulayalım sonra soğutalım ve bir süre sonra manyetik alanı kaldıralım



Şekil 1.2. (a) da görüldüğü gibi iletkenimiz uygulanan  $\mathbf{H}_a$  manyetik alanını dışarlar ve manyetik alan kaldırıldığında iletken içinde manyetik alan değeri  $\mathbf{B}_a=0$  olur. Şekil 1.2.(b) de görüldüğü gibi iletkene oda sıcaklığında manyetik alan uygulandığında içerisine manyetik alan nüfuz eder ve iletken soğutulduğunda da bu manyetik alan iletkenin içerisinde. Manyetik alan kaldırıldığında iletken içinde manyetik alan kaybolmaz ve  $\mathbf{B}_a > 0$  olur.

Aynı işlemleri Şekil 1.3.(a) ve (b) de görüldüğü gibi süperiletken bir malzeme için uygulayalım. Süperiletken malzeme Şekil 1.3.(a) ve (b) deki her iki durum içinde manyetik alanı dışarlar. Bu dışarlamamın nedeni süperiletken üzerinde yüzey akımları meydana gelmesi ve yüzey akımlarının tüm yüzeyi kaplayarak uygulanan alana karşı bir alan oluşturmasıdır.

Böylece manyetik alan dışarı itilir (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980). Bu olaya *Meissner Etkisi* denir. Meissner etkisi ideal iletkenlikten ziyade süperiletkenliği ifade eder. (Cansız, 1999).

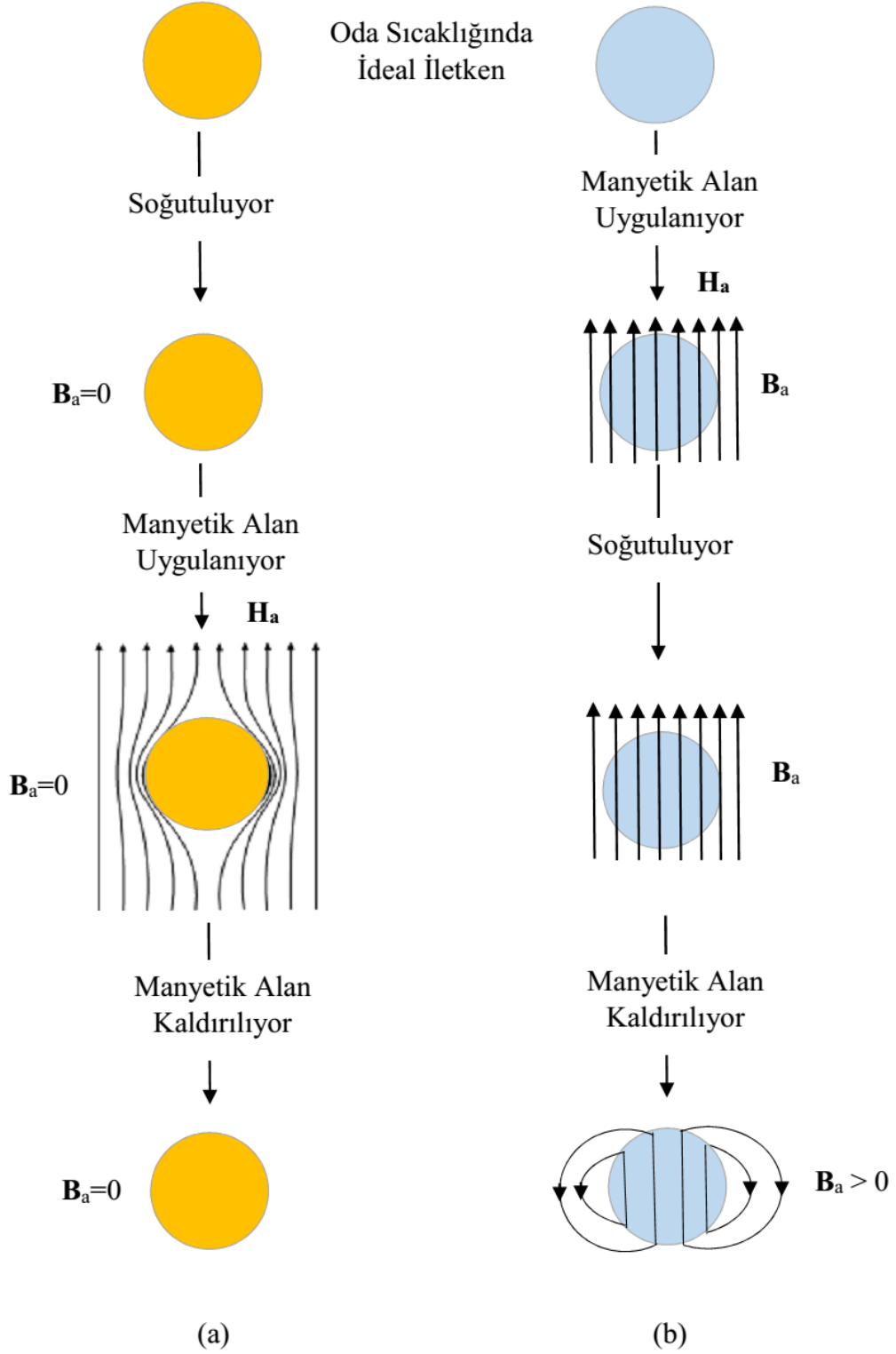
Meissner etkisi elektrodinamiğin formülleri ile güçlendirilebilir. Ohm yasasına göre

$$V = I \cdot R \quad (1.1)$$

eşitliği

$$\mathbf{E} = \rho \mathbf{J} \quad (1.2)$$

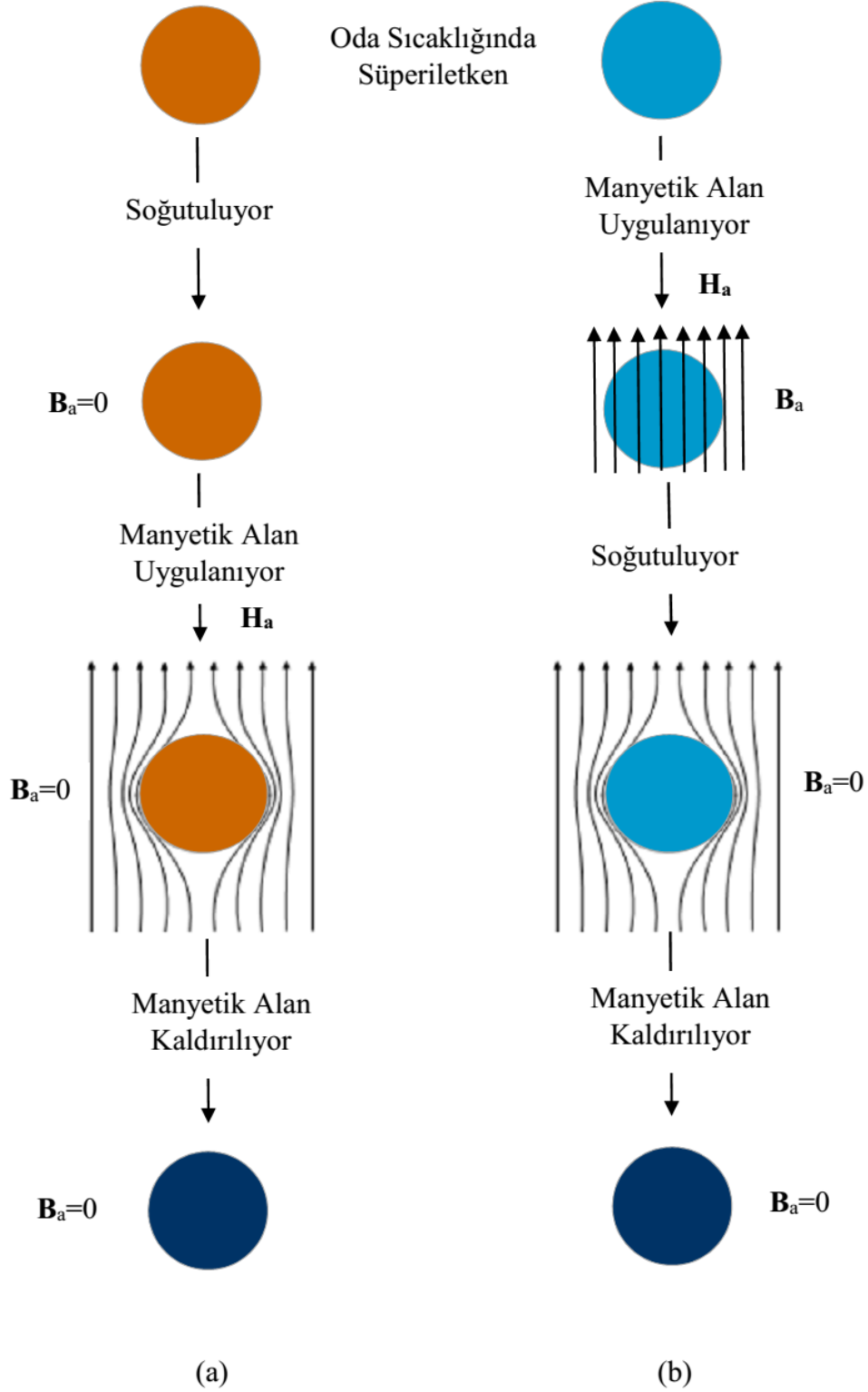
yazılır. Burada  $\mathbf{E}$  elektrik alan,  $\rho$  öz direnç ve  $\mathbf{J}$  de numunenin elektriksel akım yoğunluğudur. Maxwell denklemi,



**Alansız Soğutma(ZFC)**

**Alan Altında Soğutma(FC)**

**Şekil 1.2.** Oda sıcaklığında bulunan ideal iletkenin (a) soğutulduktan sonra manyetik alan uygulandığında (ZFC) (b) manyetik alan uygulandıktan sonra soğutulduğunda (FC) ideal iletkenin davranışı



**Alansız Soğutma(ZFC)**

**Alan Altında Soğutma(FC)**

**Şekil 1.3.** Oda sıcaklığında bulunan süperiletkene (a) soğutulduktan sonra manyetik alan uygulandığında (b) manyetik alan uygulandıktan sonra soğutulduğunda süperiletkenin davranışı

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \quad (1.3a)$$

den hareketle,

$$-\partial \mathbf{B} / \partial t = 0 \quad (1.3b)$$

elde edilir. Bu eşitlikten görülüyor ki, numunenin içindeki manyetik indüksiyonun zamanla değişimi sıfır olmalıdır. Şekil 1.3.(b) deki gibi bir dış manyetik alan altında soğutulan numunenin alana karşı davranışı farklı olacaktır. Başlangıçta numune içinde alan mevcut iken; alan son durumda sıfır olmak zorundadır. Soğutma ve alan uygulama olaylarının sırasına bakmaksızın, numunenin aynı termodinamik durumda olması için, süperiletken içindeki alanı daima dışarlar. Bu yüzden içteki toplam manyetik alan sıfır ( $\mathbf{B}_a=0$ ) olur. Manyetik alanın dışarlanması, süperiletken durumun, bir termodinamik olay olduğunu gösterir (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980).

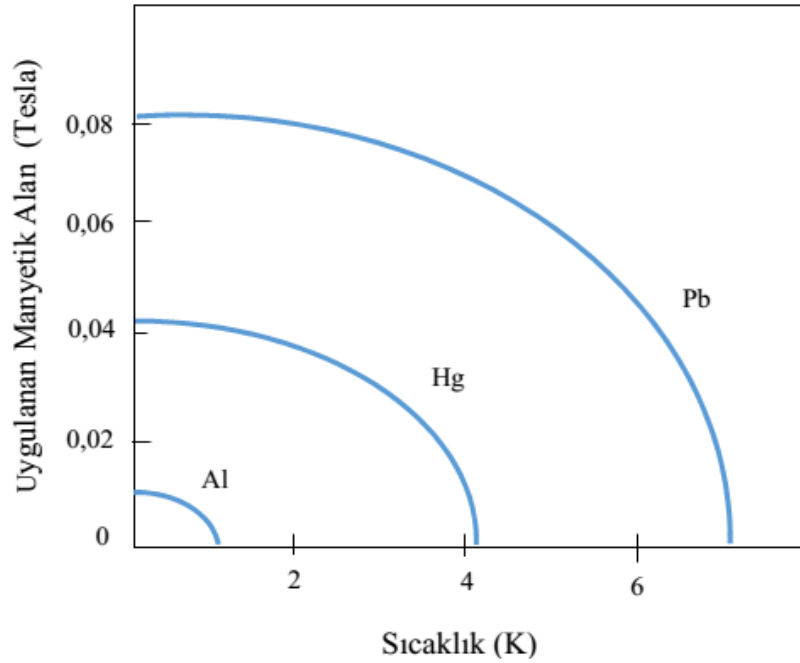
### 1.2.2. I. Tip ve II. Tip Süperiletkenler

Uygulanan manyetik alana karşı gösterdikleri davranışa göre iki tip süperiletken vardır. Bunlar I. ve II. tip süperiletken olarak adlandırılırlar. Nb ve V dışındaki tüm metalik elementler I. tip süperiletkenlik özellik gösterirler. I. tip süperiletkenler maruz kaldıkları manyetik alan değerini, belirli bir termodinamik kritik manyetik alan  $H_C$  değerine kadar dışarlayabilirler.  $H_C$  veya  $T_C$  değerinin üstüne çıktığında manyetik alan malzeme içine nüfuz eder ve malzeme normal hale geçer. Yapılan hesaplamalara göre kritik geçiş sıcaklığı ile kritik manyetik alan arasındaki ilişki

$$H_C(T) = H_C(0) \left[ 1 - \left( \frac{T}{T_C} \right)^2 \right] \quad (1.4)$$

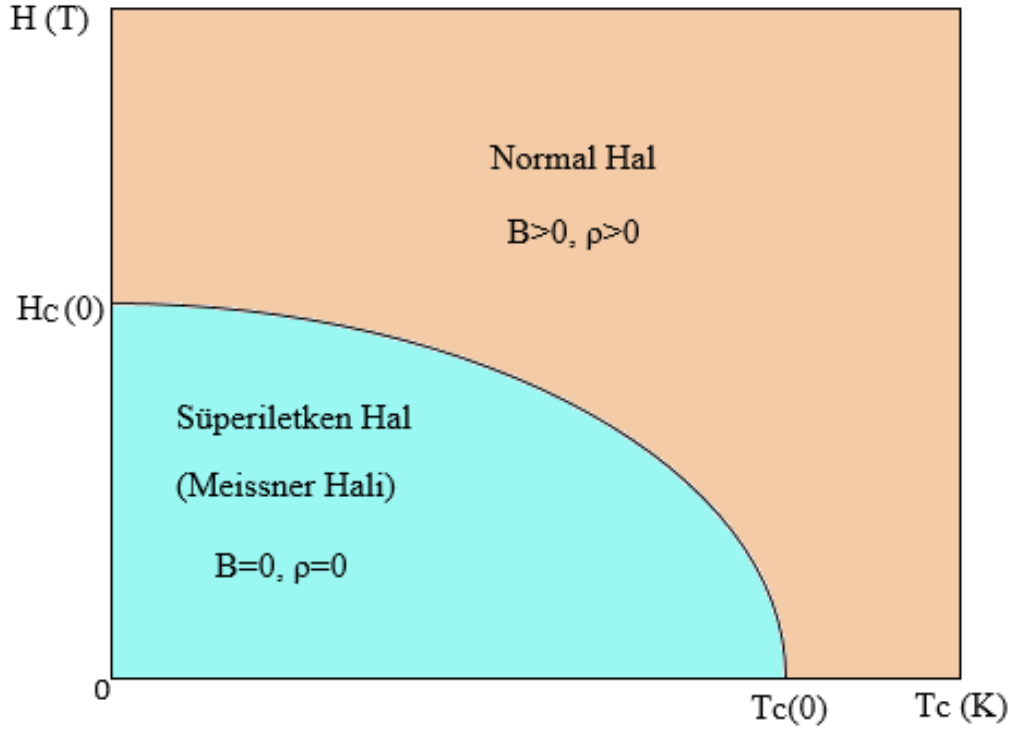
eşitliği ile verilebileceği bulunmuştur.

II. tip süperiletkenler için iki tane kritik alan değeri vardır. Alt kritik alan  $H_{C1}$  ve üst kritik alan  $H_{C2}$ . Süperiletken malzemeye uygulanan alan  $H_{C1}$ 'den düşük ise I.tip süperiletkenlerde olduğu gibi alan tamamen dışlanır (Meissner Hali). Uygulanan manyetik alan  $H_{C1}$ 'in yukarısındaki değerlerde olduğu zaman, üst kritik alan değeri olan  $H_{C2}$ 'ye ulaşıncaya kadar, manyetik akı malzemeye nüfuz eder. Şekil 1.5. (b) de görüldüğü gibi malzeme  $H_{C2}$ 'nin üstündeki değerlerde tamamen normal hale döner.

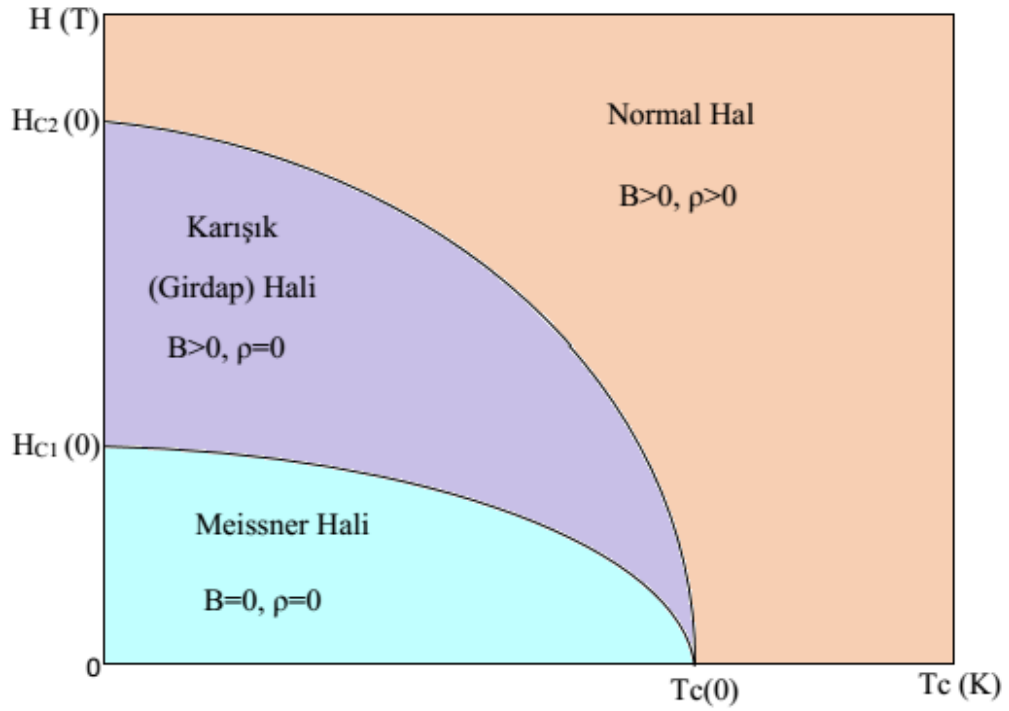


Şekil 1.4. Kritik geçiş sıcaklığı ile kritik manyetik alan arasındaki ilişki (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980)

II. tip süperiletkenler için iki tane kritik alan değeri vardır. Alt kritik alan  $H_{C1}$  ve üst kritik alan  $H_{C2}$ . Süperiletken malzemeye uygulanan alan  $H_{C1}$ 'den düşük ise I.tip süperiletkenlerde olduğu gibi alan tamamen dışlanır (Meissner Hali). Uygulanan manyetik alan  $H_{C1}$ 'in yukarısındaki değerlerde olduğu zaman, üst kritik alan değeri olan  $H_{C2}$ 'ye ulaşıncaya kadar, manyetik akı malzemeye nüfuz eder. Şekil 1.5. (b) de görüldüğü gibi malzeme  $H_{C2}$ 'nin üstündeki değerlerde tamamen normal hale döner.



(a)



(b)

**Şekil 1.5.** (a) I. tip ve (b) II. tip süperiletken için kritik manyetik alanın sıcaklıkla değişimini gösteren faz diyagramı (Karaca, 2001)

Manyetik akı yoğunluğu veya manyetik indüksiyon  $\mathbf{B}$ , mıknatıslanma  $\mathbf{M}$  ve uygulanan manyetik alan  $\mathbf{H}$  olmak üzere;

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (1.5)$$

bağıntısı vardır. Süperiletken halde manyetik alan, malzeme içinde dışarılandığı için  $\mathbf{B} = 0$  olmalıdır. Bu durumda  $\mu_0$ , sıfır olamayacağına göre

$$0 = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}), \quad 0 = \mathbf{H} + \mathbf{M} \quad (1.6)$$

olur ve böylece

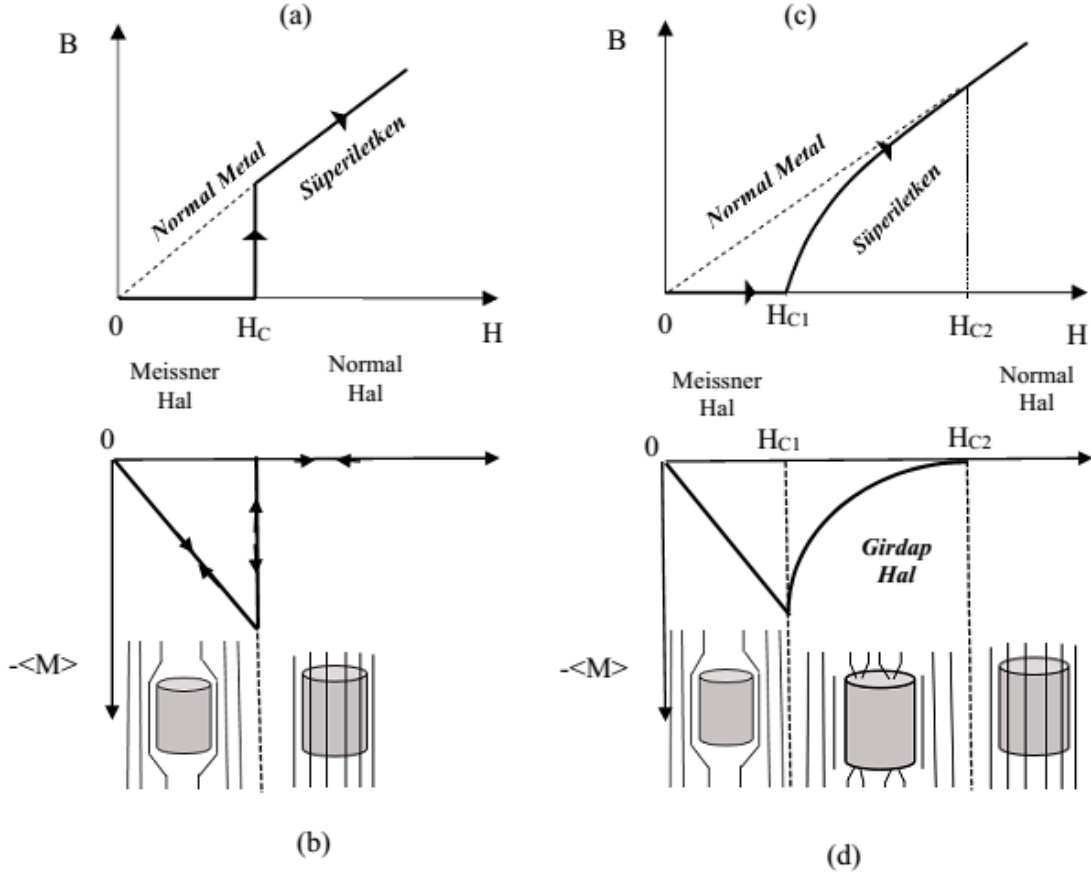
$$\mathbf{M} = -\mathbf{H} \quad (1.7)$$

elde edilir. Bu durum Şekil 1.6. da gösterilmiştir.

II. tip süperiletkenleri belirgin şekilde I. tip süperiletkenlerden ayıran özellik girdap halinin oluşumu ve girdapların dinamiğidir Şekil 1.6.(d). Süperiletken malzemenin yapısına bağlı olarak uygun enerjiye sahip malzeme içerisine girdapların girebileceği iki karakteristik uzunluk vardır. Bunlar Şekil 1.7. de görüldüğü gibi;

***1-Nüfuz (manyetik girme) derinliği ( $\lambda$ ):*** Süperiletken bir örneğe manyetik alan uygulandığında, içerdeki manyetik akıyı yok edecek şekilde dolaşan perdeleme akımı (akım farklı metallere göre değişiklik gösteren yaklaşık olarak  $10^{-5}$  cm kalınlıklı çok ince bir yüzey tabakasından akar) bu yüzey tabakasının içinden akar. Sonuçta, akı yoğunluğu birden bire numunenin yüzeyinde sıfıra düşmez. Akı, perdeleme akımının aktığı yüzey tabakası içinde sıfıra düşer. Bu nedenle, perdeleme akımının aktığı bu derinliğe nüfuz

derinliği denir. London teoremine göre, numune nüfuz derinliğinden daha kalın ise manyetik alan üstel olarak yok olur (Rose ve Rhoderick, 1980).

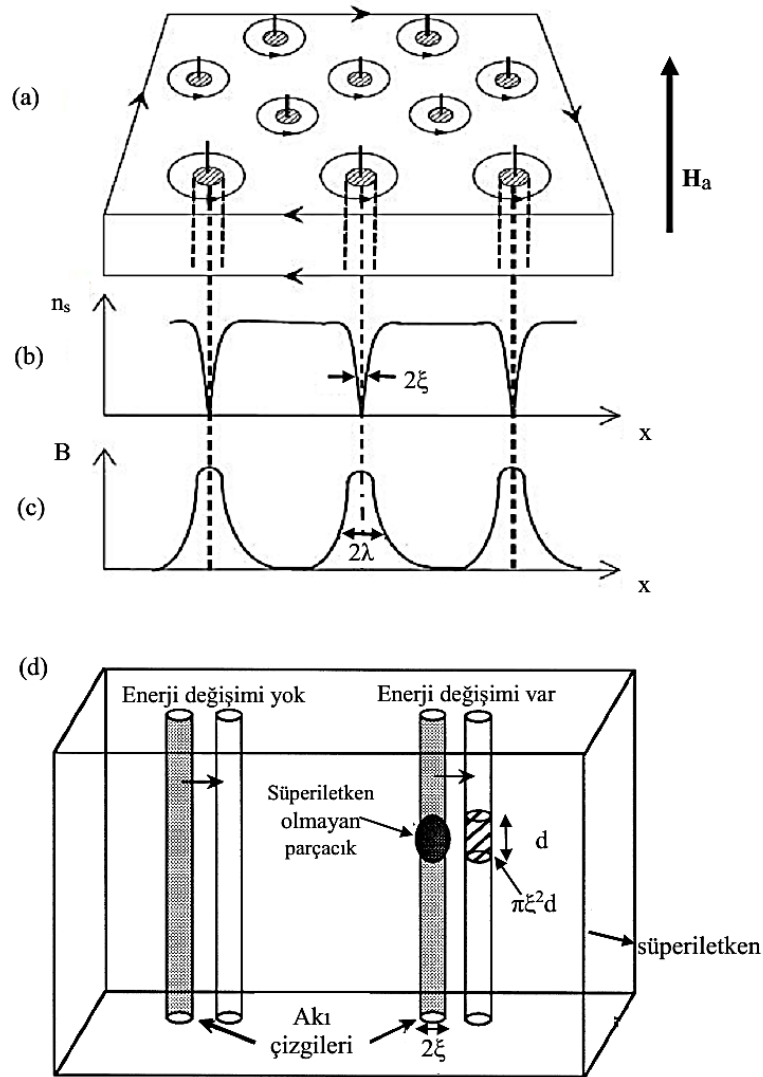


Şekil 1.6. I.tip süperiletkenler için; (a) manyetik akının (b) manyetizasyonun ve II. tip süperiletkenler için; (c) manyetik akının (d) manyetizasyonun, uygulanan alana bağlılığı (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980)

**2-Koherens (eş uyum) uzunluğu ( $\xi$ ):**Süperiletken numune üzerinde süperiletkenliğin oluşturulabildiği veya yok edilebildiği en küçük boyut olarak düşünülebilir. Koherens uzunluğu, nüfuz derinliğinden büyük ise madde I. tip süperiletkendir. Metallerin birçoğu bu gruba girer. Yapılan araştırmalar koherens uzunluğu ve nüfuz derinliğinin, normal bir metalin elektronlarının ortalama serbest yoluna bağlı olduğunu göstermiştir. Elektronların metal içinde aldıkları ortalama serbest yol, metale katılan safsızlıklarla kısaltılabilir. Metale safsızlıklar eklendikçe, nüfuz etme derinliği artar, koherens uzunluğu azalır. Koherens uzunluğu özellikle II. tip süperiletkenlerin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Ginzburg-Landau Parametresi bu iki uzunluğun birbirine oranını



verir.  $\kappa = \lambda / \xi$  oranındaki artış II. tip süperiletkenliği öne çıkarırken, bu orandaki azalışta I. tip süperiletkenliğe sebep olmaktadır ( $\kappa < 0.71$  ise malzeme I. tip süperiletken ve  $\kappa > 0.71$  ise malzeme II. tip süperiletken olarak Abrikosov tarafından tanımlanmıştır) (Abrikosov, 1957). Ayrıca I. tip süperiletkenler kritik sıcaklıklarında önemli bir değişikliğe sebep olmadan II. tip süperiletkene dönüştürülebilir. Örneğin saf kurşun I. tip bir süperiletken olmasına rağmen, ağırlık olarak % 2 indium eklenmesiyle,  $T_c$  de önemli bir değişiklik olmadan II. tip süperiletkene dönüştürülebilir.



**Şekil 1.7.**  $H_{c1}$ 'den daha büyük şiddette uygulanan alan durumunda (a) akım halkaları ve onunla ilişkili girdaplar (b) süperelektron yoğunluğunun konumla değişimi (c) akı yoğunluğunun konumla değişimi (d) süperiletken olmayan parçacık tarafından oluşturulan akı çivilenmesinin şematik gösterimi (Shiohara ve Endo, 1996)

### 1.2.3. Manyetik Alınganlık

Manyetik alınganlık( $\chi$ ), uygulanan manyetik alana cevap olarak malzemede oluşan manyetizasyon derecesini belirten birimsiz oran sabitidir.

Manyetik alınganlık, mıknatıslanmaya

$$\mathbf{M} = \chi\mathbf{H} \quad (1.8)$$

şeklinde bağlı olduğuna göre, malzeme süperiletken halde iken  $\mathbf{M} = -\mathbf{H}$  bağıntısı gereği

$$\chi = -1 \quad (1.9)$$

olacaktır. Yani süperiletken malzemeler doğaları gereği diyamanyetik malzemelerdir ve bu nedenle bir mıknatısı itebilmektedirler (Dikici ve Nezir, 2012).

AC alınganlık ölçümleri sonuçları kullanılarak taneli yapıda olan süperiletkenlerin, taneler arası zayıf bağları (weak links), tane sınırları, taneler arası etkileşmeleri, Josephson eklemleri ve istenmeden oluşan yabancı fazlar hakkında bilgilere ulaşılabilir (Koyama vd., 1988; Maeda vd., 1989; İkedo vd., 1988; Komatsu vd., 1991; Nikolo vd., 1989; Mazaki vd., 1988; Calzano vd., 1989).

AC alınganlık ölçümü, manyetik özelliğe sahip bir malzemeye

$$\mathbf{H}(t) = H_0 \cos(\omega t) \quad (1.10)$$

eşitliği ile ifade edilen bir alternatif alan uygulanması işlemidir. Uygulanan alanın malzemede oluşturduğu mıknatıslanma;

$$\mathbf{M}(t) = M_0 \cos(\omega t - \Phi) \quad (1.11)$$

$$\mathbf{M}(t) = M_0 \cos(\omega t) \cos\Phi + M_0 \sin(\omega t) \sin\Phi$$

$$\mathbf{M}(t) = \chi' H_0 \cos(\omega t) \cos\Phi + \chi'' H_0 \sin(\omega t) \sin\Phi$$

$$\mathbf{M}(t) = \chi' H_0 \cos(\omega t) + \chi'' H_0 \sin(\omega t) \quad (1.12)$$

Burada;

$\chi'$  ve  $\chi''$  duyarlılık reel ve sanal (imajiner) bileşenleridir.  $\Phi$  faz açısı, uygulanan AC manyetik alan ile mıknatıslanmanın aynı fazda olmasından dolayı yazılmıştır. (1.12) denkleminde;

$$\chi' = \left(\frac{M_0}{H_0}\right) \cos\Phi \quad (1.13)$$

$$\chi'' = \left(\frac{M_0}{H_0}\right) \sin\Phi \quad (1.14)$$

elde edilir. Uygulanan alan ile aynı fazda olan duyarlılık  $\chi'$  reel (gerçel) bileşeni, taneler ve taneler arası etkileşimler ile fazlar ve mikro yapıya bağımlı diamagnetik geçişlerle ilişkilidir.  $\chi''$  (sanal) bileşen ise faz dışı bileşeni gösterir ki enerji kayıpları (malzemeye uygulanan alandan soğurulan enerji) ile ilişkilidir.

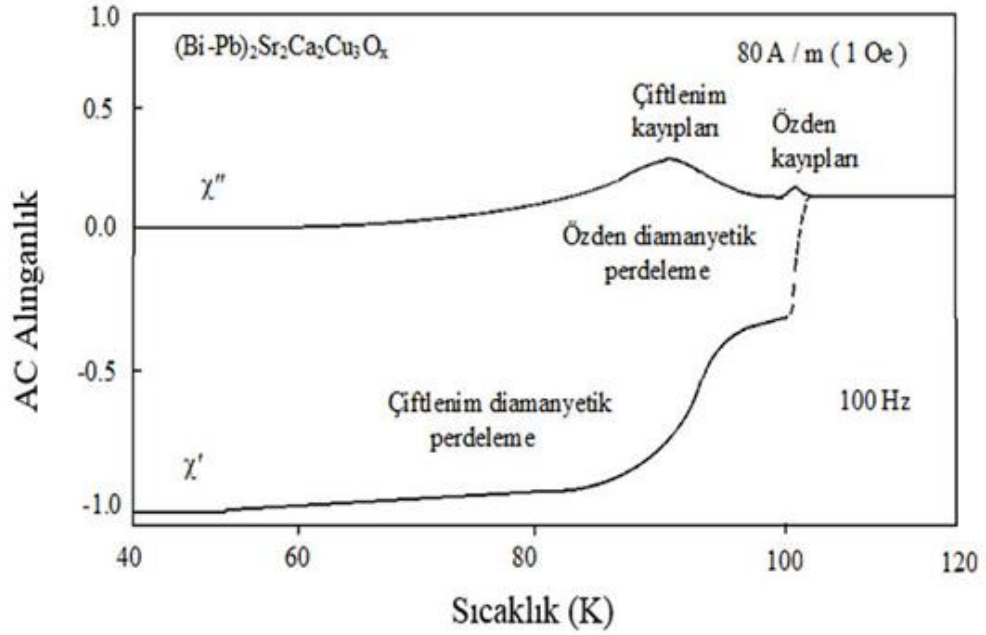
AC alınganlık ölçümlerinde kritik geçiş sıcaklığı  $T_C$ , perdeleme akımlarının (sheilding current) oluşturduğu sıcaklıktır. Taneli yapıya sahip süperiletkenler iki tane kritik geçiş

sıcaklık özelliğine sahiptir. Birisi özden (intrinsic), diğeri ise taneler arasında oluşan çiftlenim geçiş sıcaklığıdır (Nikola vd., 1989; Goldfarb vd., 1992).

Bazı malzemelerde çiftlenim bileşeni süperakımları destekler ve  $T_C$ ,  $J_C$ ,  $H_{C1}$  ve  $H_{C2}$  üzerinde etkiye sahiptir. Özden ve çiftlenim kritik sıcaklıkları alan bağımlılığına sahiptirler. Bu bağımlılık artan AC alan ölçümleri veya DC besleme (bias) alanları ile incelenebilir. Kaliteli, sıkı bağlanmış ve sinterlenmiş süperiletkenlerde iki kritik sıcaklığa küçük alanlardaki ölçümlerde rastlanmaktadır. Zayıf kalitede ve bağa sahip malzemelerle karşılaştırıldığında yüksek kaliteli malzemede çiftlenim kritik sıcaklığı ( $T_C$ ), alan artırılrsa bile ölçümlerde mevcuttur. Yüksek kaliteli bir süperiletken için alınganlık sıcaklık değişimi Şekil 1.8. de görülmektedir (Goldfarb vd., 1991).

Manyetik duyarlılık  $\chi'$  reel kısmında sıcaklığın ve uygulanan alanın şiddetine bağlı olarak 0'dan -1'e (ideal diamanyetik özellik) doğru kademeli olarak bir düşme gözlenir. Süperiletkenlik geçiş sıcaklığından sonra görülen ilk düşme tanelerden (özden) kaynaklanan birinci diamanyetik geçiş olarak adlandırılır. Birinci diamanyetik geçişin peşinden görülen düşme taneler arası etkileşmenin bir sonucu olan ve sanal kısımdaki pike karşılık gelen ikinci diamanyetik geçiştir. Bu ikinci diamanyetik geçiş bölgesi uygulanan alana ve sıcaklığa bağımlılık gösterir. Manyetik alanın artan değerlerinde bu bölge düşük sıcaklıklara doğru kayar ve süperiletken akımlar taneden taneye doğru akarlar. İkinci diamanyetik geçişin ardından, yeterince düşük sıcaklıklara inildiği zaman Meissner etkisi ortaya çıkmaya başlar ve malzeme uygulanan dış alanı tamamen dışlar.

Malzemenin sıcaklığı, düşük sıcaklıklardan itibaren artırılmaya başlandığı zaman manyetik akı malzemenin içerisine girmeye başlar ve histeretik kayıplara neden olur. Kritik sıcaklığın hemen altındaki sıcaklığa kadar ısıtmaya devam edilirse manyetik akı tamamen malzemenin içerisine girer ve kayıplar en yüksek seviyeye ulaşır. Kritik sıcaklığa yaklaşıldığında histeretik kayıplar sıfıra düşer (Karaca, İ., 2001).



**Şekil 1.8.** (Bi-Pb)<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> için AC alinganlılık ölçümü (Rose-Innes ve Rhoderick, 1980)

Manyetik duyarlılık  $\chi''$  sanal kısmında tane sınırlarındaki kayıplardan (girdap haldeki süperiletkenlerde AC kayıplardan) kaynaklanan kritik sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda bir pik gözlenir. Bu pik sıcaklığa ve uygulanan alanın şiddetine bağlı iken frekans bağımlılığı daha azdır. Alan şiddeti artırıldıkça, pik genişleyerek düşük sıcaklık bölgesine doğru kayar. Halbuki frekans artırıldığı zaman, pikte bir genişleme olmayıp tepe noktasına karşılık gelen sıcaklık ( $T_p$ ) değeri yüksek sıcaklıklara doğru bir miktar (0-1 K kadar) kaymaktadır (Nikolo vd., 1989).

#### 1.2.4. Manyetik Kaldırma (Levitasyon) Sistemi

Manyetik kaldırma (levitasyon), bir cismin dünya (yer) ile herhangi bir teması olmadan denge halini koruyarak havada askıda kalmasına denir. Manyetik kaldırma hareketi uçan, süzülen, su yüzeyinde dengede kalan veya orbital hareketi yapan cisimlerin hareketinden farklı olarak elektrik ve manyetik alanlarla oluşturulabilir.

Manyetik kaldırma oluşturabilmek için iki önemli alt sisteme ihtiyaç vardır.

- i. Manyetik itme kuvvetini oluşturacak bir manyetik alana,
- ii. Manyetik alanın oluşturduğu akının içinden geçeceği veya tuzaklanacağı bir yapıya

Bir cismin manyetik kaldırması aktif ya da pasif kaldırma şeklinde mümkündür. Aktif manyetik kaldırmanın oluşturulabilmesi için güç kaynağı veya elektronik devre elemanlarına ihtiyaç varken, pasif manyetik kaldırmanın oluşturulabilmesi için herhangi bir güç kaynağına ihtiyaç yoktur. Aktif (elektromanyetik) manyetik kaldırma sistemi, demir (ferromanyetik) bir çekirdeğin etrafına sarılan bakır tel üzerinden geçirilen akım yardımıyla oluşturulabilirken, pasif manyetik kaldırma sistemi sabit mıknatıslar (RE123 mıknatıs) özel şekillerde düzenlenerek elde edilebilir. Aktif manyetik kaldırma sistemleri radyal yönde (merkezden yayılarak) yüksek manyetik duyarlılık (*stiffness*) ve yüksek manyetik alana sahipken, pasif manyetik kaldırma sistemleri düşük manyetik duyarlılığa ve manyetik alana sahiptir (Moon, 2004).

Süperiletkenler birkaç biçimde kalıcı pasif manyetik kaldırma sistemine sahiptirler. I. Tip süperiletkenler iç bükey şekilde kâse biçimli yan yüzeylerinde süperiletken akımların oluşturduğu manyetik alana sahip manyetik kaldırma sistemi olarak açıklanır. II. Tip süperiletkenler ise doğal akı çivilemesine sahip herhangi bir biçimi olmayan kuvvetli itici manyetik kaldırma sistemlerini belirtir (Cansız, A., 1999). II. Tip süperiletkenler sabit mıknatısların akı çivileme kuvveti etkisiyle askıda kaldığı sistemlerde yaygın olarak kullanılır.

Süperiletkenlerin sıvı helyum sıcaklığında küçük bir mıknatısı kaldırabileceği ilk kez Rus fizikçi V. Arkadiev tarafından 1945 yılında gösterilmiştir (Arkadiev, V., 1945, Arkadiev, V., 1947). Bu çalışmanın devamında yine sıvı helyum sıcaklığında süperiletkenlerin diamanyetik özelliklerinden faydalanılarak oluşan kuvvetlerin çeşitli motor ve mil sistemlerinde sergiledikleri davranışlar araştırılmıştır, Şekil 1.9 - Şekil 1.10 (Simon, I., 1953). 1987 yılında yüksek sıcaklık süperiletkenleri bulunana kadar bu konuda fazla çalışma yapılmamıştır (sıvı helyum sıcaklığından dolayı). Yüksek sıcaklık süperiletkenleri bulunduktan sonra sıvı nitrojen sıcaklığında (77 K) bu çalışmalar üzerine yoğunlaşmıştır.

Süperiletken ile RE123 mıknatıs arasındaki levitasyon kaldırma sistemini gösteren düzenek Şekil 1.11 de verilmiştir. Manyetik kaldırma (levitasyon) kuvveti;

$$\mathbf{F} = \int_{V_0}^V (m \cdot \nabla) H dV \quad (1.15)$$

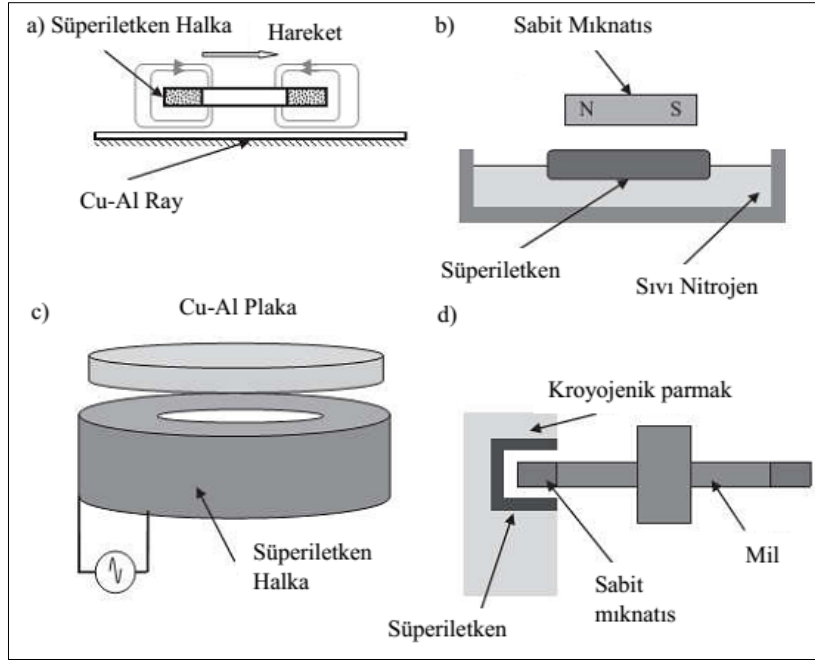
yazılır. Bu eşitliğin tek boyutta basitleştirilmiş şekli ise;

$$\mathbf{F} = m \frac{dH}{dx} \quad (1.16)$$

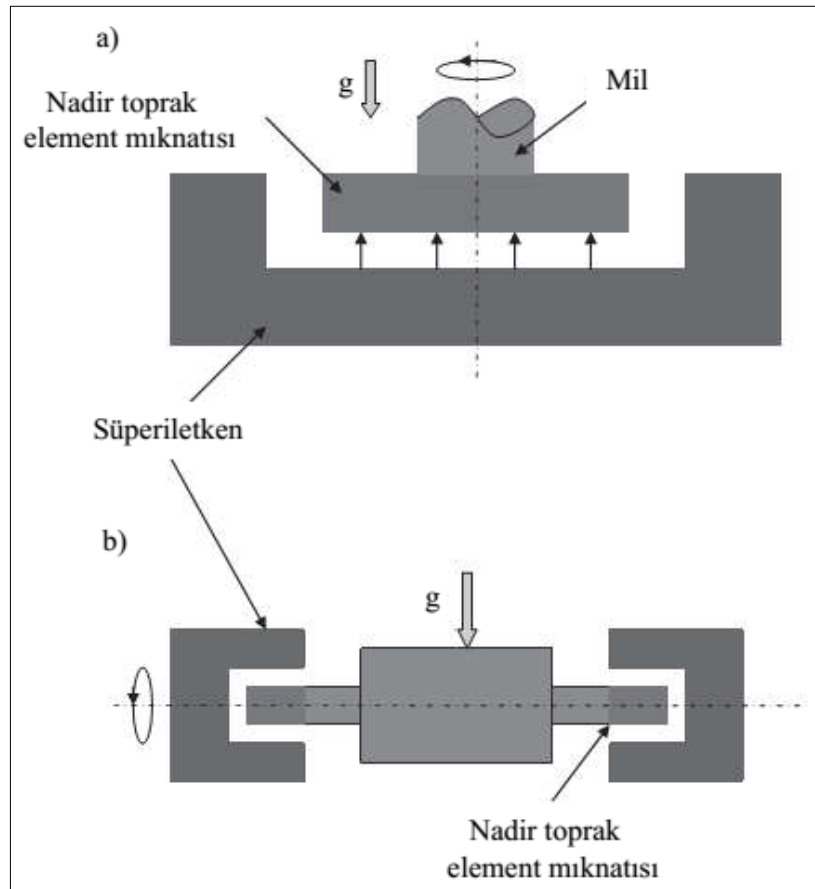
$$m = \mathbf{M}V, \quad \mathbf{M} = AJ_C r$$

ile verilir. Burada;  $m$  süperiletkenin manyetik momenti,  $\frac{dH}{dx}$  dış alan (uygulanan alan) tarafından üretilen manyetik alan gradyenti,  $\mathbf{M}$  birim hacim başına düşen manyetizasyon,  $A$  süperiletken örneğin geometrisine bağlı olan sabit,  $J_C$  süperiletkenin kritik akım yoğunluğu,  $r$  süperiletken akım tarafından oluşturulan diyamanyetik akım çemberinin yarıçapını göstermektedir.

Manyetik kaldırma kuvveti değerini artırabilmek için  $r$ ,  $J_C$  ve  $(dH/dx)$ 'in büyük olması gerekir (Yang, vd., 2001). Süperiletken aileleri içinde geniş yarıçaplı tek kristaller YBCO numunelerinde elde edilmekte ve numunede oluşan kuvvetli akı çivileme merkezleri sayesinde büyük  $J_C$  değerlerine ulaşılmaktadır (Murakami, 1992). Fakat hala uygulanan manyetik alana çok fazla duyarlılık gösteren levitasyon kuvveti ile manyetizasyon ( $\mathbf{M}$ ) ve dış alan (uygulanan alan) tarafından üretilen manyetik alan gradyenti  $(dH/dx)$ 'nin mıknatısların şekillerine ve dizilimlerine bağlı olarak değişmeleri konusunda araştırmalar yeterli seviyede bulunmamaktadır (Yang, vd., 2001; Nagashima, vd.,1999).

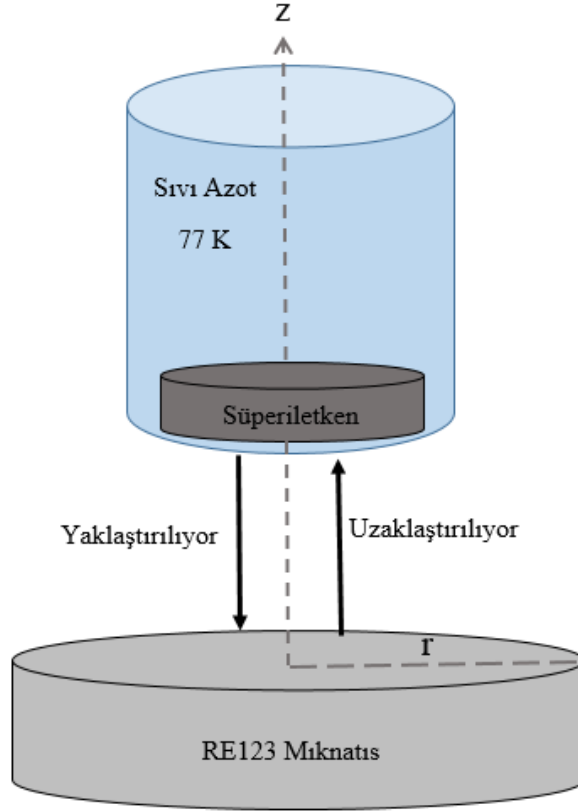


Şekil 1.9. I.Tip Süperiletkenler için kaldırma sistemleri



Şekil 1.10. II.Tip Süperiletkenler için kaldırma sistemleri (Sangster, A. J., 2012)





**Şekil 1.11.** Sürekli mıknatıs (PM) ile yüksek sıcaklık süperiletken (HTS) arasındaki manyetik kaldırma sistemi

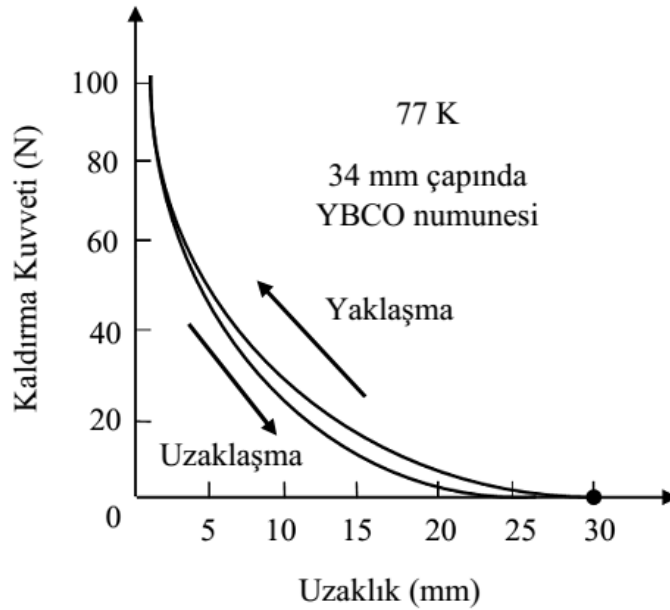
Şekil 1.11.'de görüldüğü gibi mıknatıs süperiletken numuneye yaklaştırılırken süperiletken (süperiletkenin diyamanyetik özelliği nedeniyle) uygulanan manyetik alanı dışarlayacak ve bir itme kuvveti oluşacaktır. Bu itme kuvvetinin değeri mıknatısın altına konulacak hassas terazi yardımıyla Newton birimi cinsinden ölçüldüğünde, sonuçların Taylor serisine uygun bir şekilde değiştiği bulunur (Moon, 2004). Bu serinin çözümü yapıldığında;

$$\mathbf{F} = F_0 e^{-bz} \quad (1.17)$$

bulunur.

(1.17) eşitliğinde “z” RE123 mıknatıs ile süperiletken arasındaki uzaklığa karşılık gelir. Bu sonuçtan mıknatısın süperiletkene yaklaşması ve uzaklaşmasına göre kaldırma kuvveti ile uzaklık arasındaki ilişkinin üstel olduğu görülmektedir, Şekil 1.12.

II. Tip Süperiletkenlerin bulunmasından sonra özellikle ulaşım sistemlerinde süperiletkenlerle ilgili çalışmalar artmıştır. 1991 yılında *Maglev* hızlı trenlerinin (~500 km/h) süperiletken tel ve bulk yapıları kullanılarak nasıl çalışacağı konusunda Japonya da ilk taslak çalışmalar başlamıştır. 2011 yılına gelindiğinde Japonlar *Maglev* trenlerinin prototipini üretmişler ve deneysel çalışmalarında *Maglev* treninin hızını 411 km/h ölçülmüşlerdir (Sangster, A. J., 2012).



Şekil 1.12. YBCO süperiletken ile Sm-Co Mıknatıs arasında ZFC ortamında kaldırma kuvvetinin düşey mesafeye bağlılığı (Krabbes vd., 2006)

### 1.2.5. Manyetik Duyarlılık (Magnetic Stiffness)

Duyarlılık bir sistem üzerine kuvvet (etki) uygulandığında sistemin geometrisi üzerinde herhangi bir değişikliğe meydan vermeden sistemin bu etkiye karşılık vermesi olarak tanımlanır (Moon, 2004). Duyarlılıkta en önemli şey duyarlılığı ölçülecek sistemin iyi

dizayn edilmiş olmasıdır. Performans üzerinde duyarlılık etkisi deformasyon oluşturduğu için oldukça önemlidir. Bu deformasyon statik ve yorulma dayanımı, aşınma direnci, verimlilik ve üretilebilirlik biçiminde karşımıza çıkmaktadır (Eugene, R. I., 1999). Buradan hareketle Maglev sistemlerinin dizaynı üzerinde duyarlılık etkisi oldukça önemli rol oynamaktadır. Çünkü Maglev sistemi bir kılavuz ve sürekli bir mıknatıstan oluşan yapıda hiçbir temas olmaksızın askıda kalabilme prensibi üzerine dayalıdır (Moon, F. C., 1994). Yüksek dönme özelliğine sahip aktif manyetik yataklarda görülen yüksek dönme hızlarına sahip millerin kullanıldığı gelecek nesil optik disklerin oluşumunda ve dolayısıyla optik veri depolama da kullanılan CD ve DVD gibi alanlar açısından oldukça önemlidir ( El-Husseini, M. H., vd., 2003).

Manyetik kaldırma (levitasyon) kuvvetinin uzaklığa bağlı değişimini veren eşitlik Moon tarafından tanımlanmıştır (Liu ve Wang, 2012). Sistemin vektör uzayı  $\mathbf{r} = (x, y, z)$  şeklinde tanımlanmış ve manyetik kuvvet değişimi  $\mathbf{r}$  vektörüne bağlı olarak incelenmiştir.  $\mathbf{r}_0$  değerinde manyetik kuvvet yerçekimi kuvvetine ( $mg$ ) eşitlenmiştir. Böylece denkleminizi,

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = F(r_0) + \frac{\partial F}{\partial x}(x - x_0) + \frac{\partial F}{\partial y}(y - y_0) + \frac{\partial F}{\partial z}(z - z_0) \quad (1.18)$$

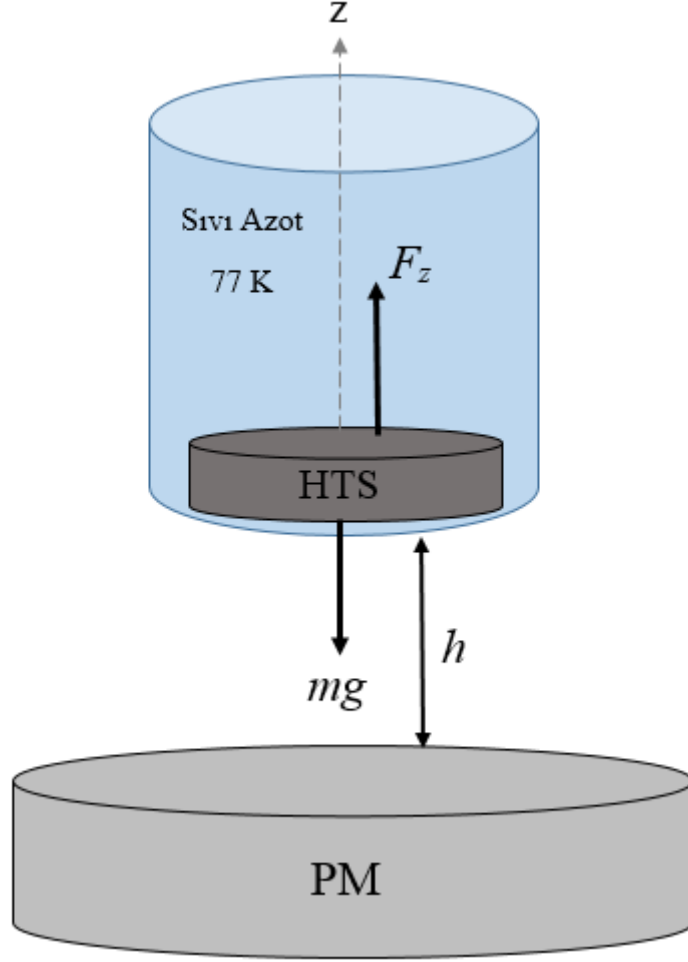
veya

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = F(r_0) + \kappa \mathbf{r} \quad (1.19)$$

yazılır. Kuvveti yer değiştirmenin fonksiyonu olarak  $\mathbf{u} = (u_x, u_y, u_z) = \mathbf{r} - \mathbf{r}_0$ , aldığımızda, manyetik duyarlılık;

$$\kappa_x = -\frac{\partial F}{\partial x} \quad (1.20)$$

elde edilir.



**Şekil 1.13.** Manyetik kaldırma (levitasyon) sisteminde kuvvetlerin gösterimi

Şekil 1.13 de görüldüğü gibi 77 K sıcaklığında yüksek sıcaklık süperiletkeni (HTS), sürekli (permanent) mıknatısa (PM) yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında sistem Hooke Yasasına benzer şekilde incelenir. Bu sistemde sürekli mıknatısımız RADWAG–AS 220/C/2 marka 0,0001 g duyarlılıkda hassas terazi üzerine konulmuş, sıvı azot ile doldurulmuş kabımızın içine yüksek sıcaklık süperiletkeni yerleştirilmiş ve kabımız içindeki süperiletken numunenin mıknatısa olan uzaklığı azalırken ve artarken ölçülmüştür. Ölçülen manyetik kaldırma (Levitasyon) kuvveti, sadece düşey düzlemde ölçülmüş  $F(h_0)$  ve yerçekimi kuvveti  $mg$ 'nin etkisi de ortadan kaldırılmıştır.

(1.18) eşitliği düşey düzlemde  $h$ 'a bağlı olarak tekrar yazılırsa;

$$F(h) = \frac{\partial F}{\partial h} (h - h_0) \quad (1.21)$$

kuvvet  $h$ 'a bağlı olarak elde edilir ve manyetik duyarlılıkta aşağıdaki gibi bulunur;

$$\kappa_z = - \frac{\partial F}{\partial h} \quad (1.22)$$

eşitlik (1.19) tekrar yazıldığında,

$$F(r) = \kappa r \quad (1.23)$$

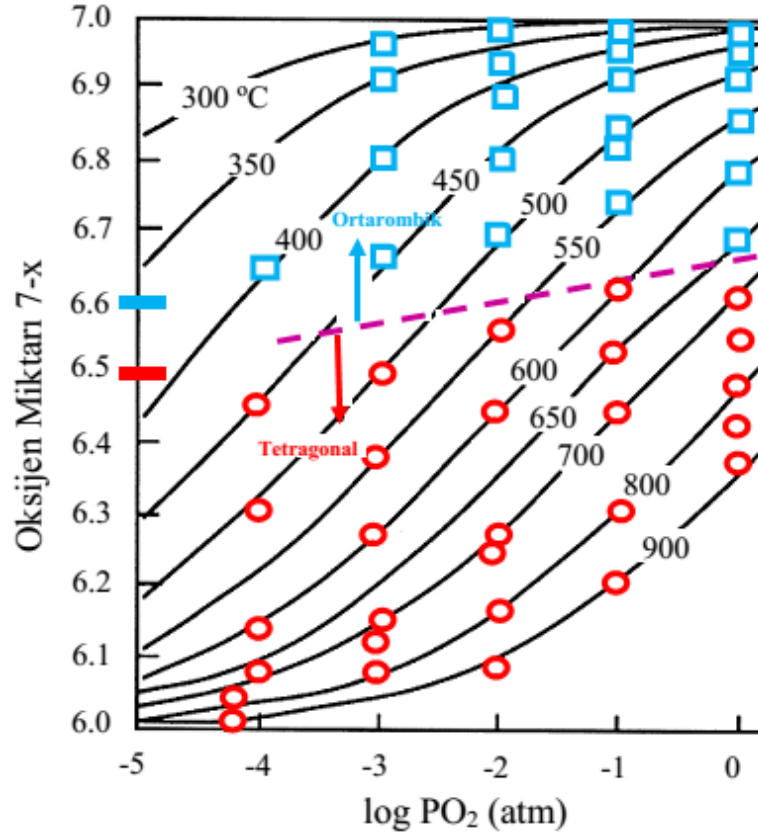
eşitliği kütle-yay sistemi (Hooke Yasası) şeklinde elde edilir. Kuvvet  $x$  boyutunda yazılırsa eşitlik;

$$F(x) = kx \quad (1.24)$$

elde edilir. Burada  $k$  yay sabitidir (Minxian Liua ve Yan Wang, 2012)

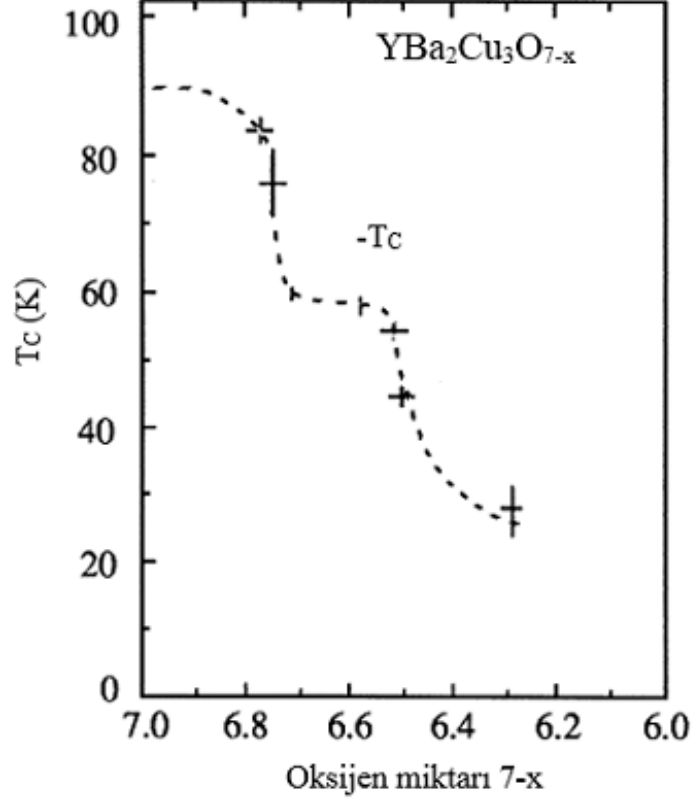
### 1.3. Süperiletkenlerin Oksijen Duyarlılıkları

Bednorz ve Müller'in okside süperiletken ailesini keşfinden sonra bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle 77 K (sıvı azot sıcaklığı) sıcaklığının üstünde süperiletken özellik gösteren süperiletkenlerin tamamı oksijen bağımlılığına sahip (oksijene gereksinim duyan) ve perovskite yapıldırlar.



**Şekil 1.14.** Farklı sıcaklık ve basınç altında oksijen miktarına göre ortorombik ve tetragonal faz geçişi (Lee ve Lee, 1991; Lindemer vd, 1989)

$YBa_2Cu_3O_{7-x}$  yapısındaki  $x$  değeri 0-1 arasında değer alır.  $0,5 < x < 1$  değer aralığında  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  kristal yapısı tetragonal olur ve yarı iletken özellik gösterir.  $0 < x < 0,5$  değer aralığında  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  kristal yapısı ortarombik olur ve süperiletken özellik gösterir. Ortarombik yapıdaki oksijen miktarı kritik sıcaklık  $T_C$ 'yi kontrol eder.  $0 < x < 0,15$  değerinde kritik sıcaklık  $T_C$  90 K civarındadır.  $x > 0,5$  değerlerinin üstünde  $T_C < 90$  K (Wang, 2011). Şekil 1.14 de farklı sıcaklık ve basınç altında oksijen miktarına göre ortorombik ve tetragonal geçiş gösterilmiş (Lee ve Lee, 1991; Lindemer vd, 1989) ve Şekil 1.15 de de  $T_C$  geçiş sıcaklığının oksijen miktarına bağımlılığı verilmiştir (Cava vd, 1987)



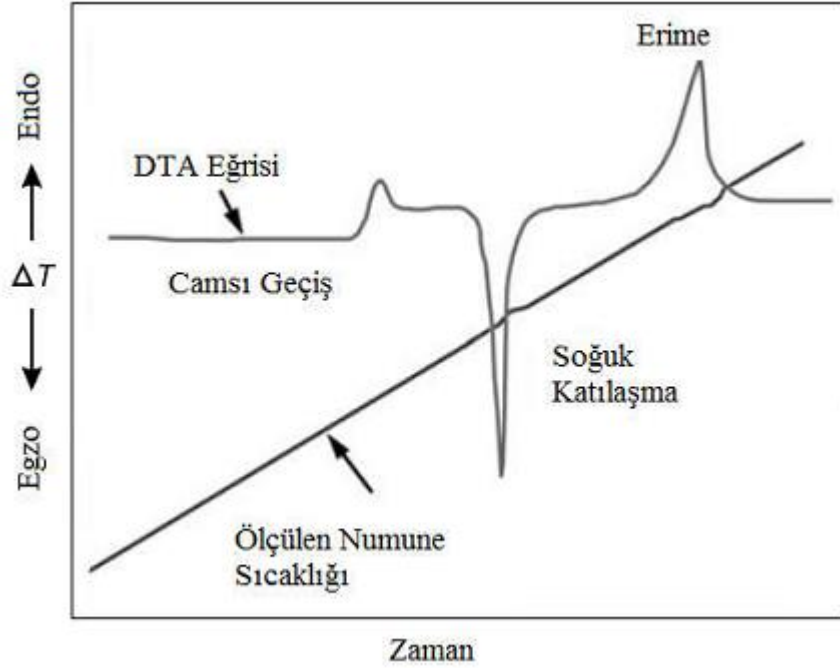
Şekil 1.15  $T_c$  Geçiş sıcaklığının oksijen miktarına bağımlılığı  
(Cava vd, 1987)

#### 1.4. Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Termal analiz yöntemleri malzemelerin fiziksel özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak sürekli ölçüldüğü yöntemlerdir. Ölçüm sırasında sıcaklık kontrol altında tutulur. Sıcaklıktaki artışa bağlı olarak malzeme özelliklerinde meydana gelen değişimler kaydedilir (Kaya, 2012).

Diferansiyel termal analiz (DTA) tekniği, numune ve referans madde arasındaki sıcaklık farkını, uygulanan sıcaklığın fonksiyonu olarak incelemektedir. Ancak  $\Delta T$  sinyali mikrovolt sinyali olarak kalır ve ısı akışı denkleğine dönüştürülmez. DTA analizi 25-1500 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapar. Genelde, sıcaklık programı uygulanırken, numunenin sıcaklığı  $T_s$ , zamanla doğrusal olarak artacak şekilde, numune ve referans maddesi ısıtılır. Numune ve referans madde sıcaklığı  $T_r$ , arasındaki fark  $\Delta T = T_r - T_s$  izlenerek numune

sıcaklığına karşı grafiğe alınır. Bu şekilde elde edilen bir diferensiyal termogram, Şekil 1.16 de gösterilmektedir (Yaylacı, 2010).



Şekil 1.16. Polimer malzemenin sabit ısıtma altında DTA eğrisi (Schukken, vd., 1964)

Termal analiz yöntemleri malzemenin içine veya dışına doğru ısıl enerji akımı sonucunda malzemede meydana gelen değişimleri belirler. Sıfır K sıcaklıkta atomlar hareketsiz halde iken sıcaklığın artışıyla kazandıkları enerji sayesinde atomlar hareketlenirler. Bu hareketlilik sonunda bağlarda oluşan değişimlerle katıda bazı değişimler meydana gelebilir. İnert atmosfer altında katı malzemelerde meydana gelen değişimler;

1. Katı-katı faz dönüşümleri
2. Camsı geçiş (Amorf)
3. Ergime
4. Kristalleşme
5. Süblimleşme ve
6. Termal bozunum reaksiyonlarıdır (Kaya, 2012).

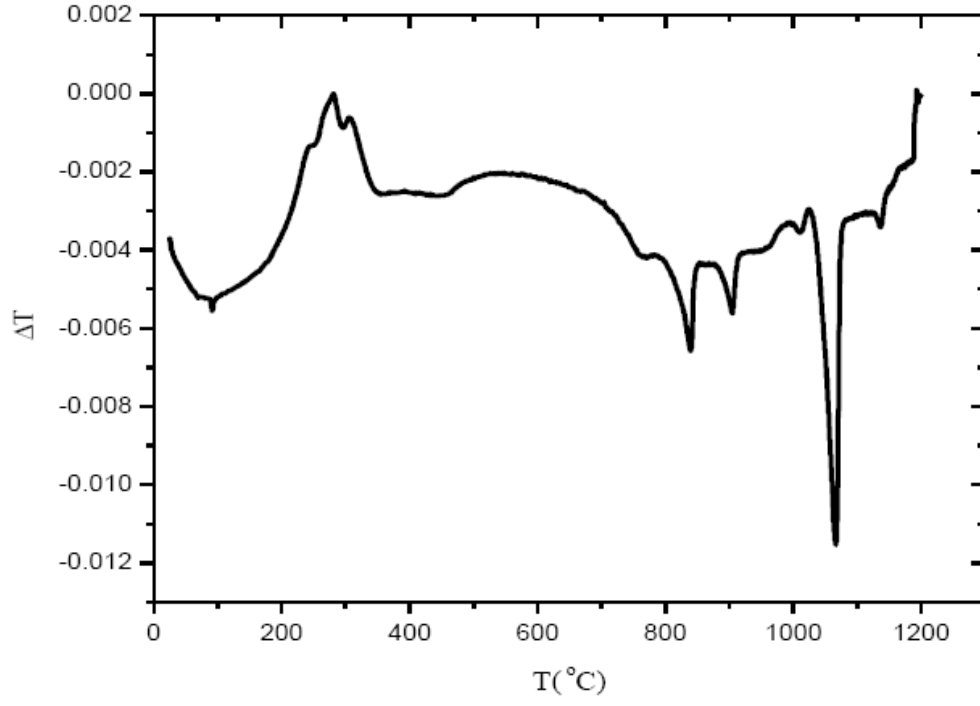


Yöntemde geçen diferansiyel terimi, numunede referans malzemeye göre (referans malzemede termal oluşum gerçekleşmez) oluşan değişikliklerin incelenmesi gerçekleştiği için kullanılır. Bir madde fiziksel halinde değişim olduğunda veya kimyasal bir reaksiyona girdiğinde ısı absorplar veya ısı verir. Hal değişimine bağlı olarak eşlik eden bu ısı değişimleri egzotermik (ısı veren) ve endotermik (ısı alan) ısı etkileri olarak bilinir. Sistemde oluşan enerji değişiminin belirlenmesinde DTA yöntemi yaygın olarak kullanılır. Kimyasal ayrışma ve katı hal reaksiyonları egzotermik veya endotermik olabilir.

Maddenin fiziksel halinde değişim meydana geldiğinde veya kimyasal reaksiyona girdiğinde, sistem ısı absorplar (Endotermik) veya ısı açığa çıkar (Egzotermik). Her iki yöntemde de deney örneğinin belirli koşullarda ısıtılması sırasında meydana gelen entalpi değişimleri ölçülür. Analiz edilen numune (*S*) ile referans numune (*R*) aynı koşullarda ısıtılır. Isıtma sırasında numunede meydana gelen fiziksel hal değişimi veya kimyasal reaksiyonlar sonucunda numunenin sıcaklığı, referans malzemeye göre değişim gösterir. Sonuç olarak *S* ile *R* arasında  $\Delta T$  kadar sıcaklık farkı oluşur. Kimyasal reaksiyonlar da egzotermik veya endotermik olabilir (Kaya, 2012).

Endotermik reaksiyonlar arasında ergime, buharlaşma, süblimleşme, dehidrasyon, gaz atmosferinde indirgenme ve bozunmalar örnek olarak verilebilir. Egzotermik reaksiyonlar arasında da hava veya oksijen atmosferinde yükseltgenme, oksidasyon, polimerleşme, kristalleşme (katılaşma), absorpsiyon ve katalitik reaksiyonlar sayılabilir (Kaya, 2012, Yaylacı, 2010).

Sm123 DTA eğrisinde (Şekil 1.17) ısıtma rejimi sırasında kaydedilen endotermik pik, Sm123'ün ergimesini temsil eder. Daha önceden gerçekleştirilmiş DTA eğrileri ile karşılaştırılarak oluşan hal değişimi veya reaksiyonun ne olduğu belirlenir. Deneysel koşullara bağlı olarak eğrilerin şekillerinin değişebileceği unutulmamalıdır (Akbulut, 2010).



**Şekil 1.17.** Eritme yöntemiyle üretilen Sm123 süperiletken numunenin başlangıç toz bileşiminden alınan DTA eğrisi (Akbulut, 2010)

## BÖLÜM II

### LİTERATÜR VE MALZEME ÜRETİM YÖNTEMİ

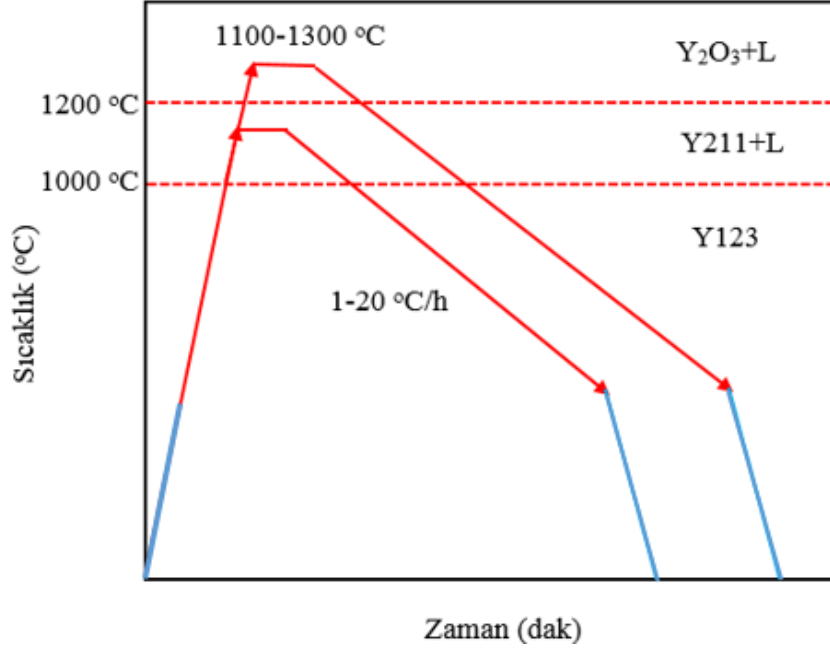
Toz metalürjisinde kullanılan amacına yönelik pek çok üretim yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacına uygun olarak katıhal tepkime yöntemi ile malzemelerin başlangıç üretim aşaması gerçekleştirildikten sonra tohumlama yöntemi kullanılarak yüksek sıcaklık süperiletkeninin üretimi yapılmıştır. Yüksek sıcaklık süperiletken üretimi için tohumlama yönteminin seçilmesinin sebebi; Literatürde belirtildiği gibi (Morita, 1991; Murakami, 1992; Kondoh, vd., 1992) yüksek manyetik özelliğe sahip yani özellikle yüksek akım yoğunluğu taşıma kabiliyeti ve buna bağlı olarak yüksek manyetik kaldırma kuvveti özelliği göstermesidir.

Burada tohumlama yönteminde kullanılan üretim tekniklerinin bir kısmı kısaca açıklanacaktır.

#### 2.1. Süperiletken Seramik Üretiminde Kullanılan Eritme Yöntemleri

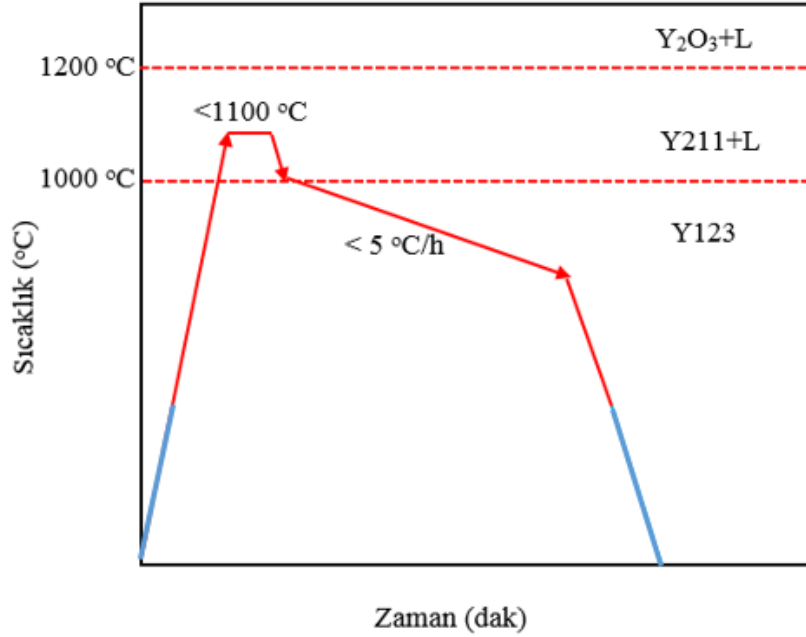
##### 2.1.1. Eritme Yönlendirme Büyütme Yöntemi [Melt-Texture-Growth (MTG)]

Bu yöntemi bulan Jin vd. yöntemin adınıda koymuşlardır (Jin vd. 1988). Y123 numunesini hazırlamışlar ve kalsinasyondan sonra numuneyi peritektik sıcaklık üstünde 1020-1320 °C de sinterlemişler ve 20-50 °C/dak sıcaklık aralığında oksijen ortamında Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi soğutmuşlardır. 77 K'de dış manyetik alan uygulamadan MTG yöntemiyle hazırlanan numunede  $J_c$  değeri  $10^4$  A/cm<sup>2</sup> değerini geçmektedir (Shiohara, Y. ve Endo, A., 1997; Ateş, A., 1998).



**Şekil 2.1.** MTG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi (Jin vd., 1988)

Birinci yaklaşıma göre, Y211 büyüklüğü ısıtma sıcaklığını peritektik sıcaklığın hemen üzerine indirerek azaltılabilir. Buna rağmen bu teknik kullanıldığında arasıra gözenekler oluşur. İkinci yaklaşımda Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi geliştirilmiş MTG yönteminde eğer

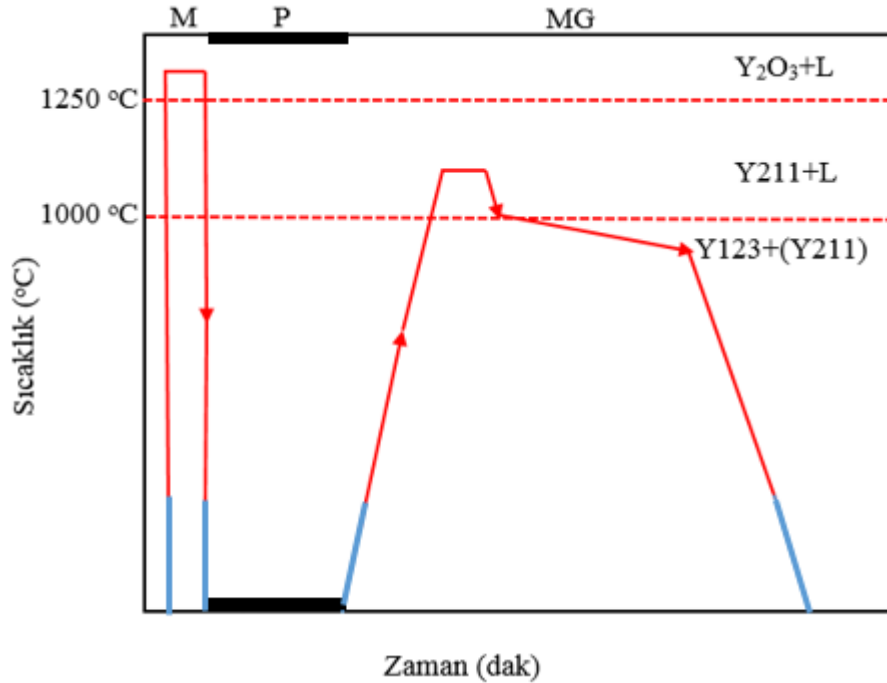


**Şekil 2.2.** Geliştirilmiş MTG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi (Salama vd., 1989)

numune, yüksek sıcaklıklarda bir süre eritilir (1-2 saat), sonra hızla peritektik sıcaklığa soğutulursa (15-60 dakika gibi kısa zamanda), Y123 fazını korumuş oluruz. Daha sonra yavaş soğuma yapılırsa (1-5 °C/h) Y211 gözeneklerinin sayısı azaltılabilir. Böyle bir değişiklikte süperiletken fazın iletkenliği geliştirilebilir ve Y123 fazı içinde yayılmış Y211 bölgelerinin büyüklüğü 1-5 mikron mertebesine azaltılabilir (Salama vd., 1989).

### 2.1.2. Hızlı-Soğutma-Eritme-Büyütme (Quench Melt Growth)

Bu yöntemin geliştirilme amacı faz diyagramında Y211 parçacıklarının boyutlarının kontrolü ve Y211 parçalarını akı merkezleri olarak daha aktif kullanmaktır ( Murakami vd., 1989; Fujimoto vd., 1989). QMG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi Şekil 2.3. de verilmiştir. Bu yöntemde, önce kalsine edilmiş tozlar  $Y_2O_3+L$  bölgesine kadar ısıtılır, yani malzeme tamamen eritilir ve ani olarak yaklaşık 1000 °C/dak hızla soğutulmak için (Quench) hazır bulunan bir bakır levha üzerine sıvı malzeme konarak diğer bir bakır levha ile vurulmak suretiyle soğutulur.

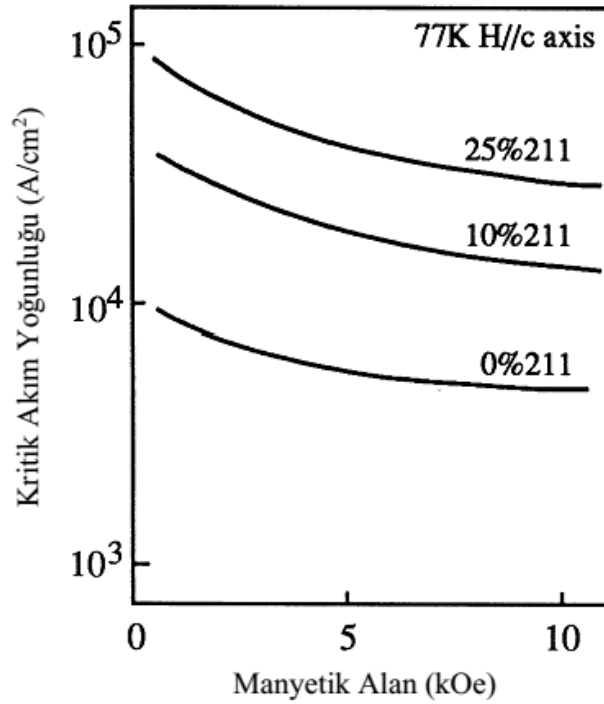


Şekil 2.3. QMG sürecinin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi (Murakami vd., 1989)

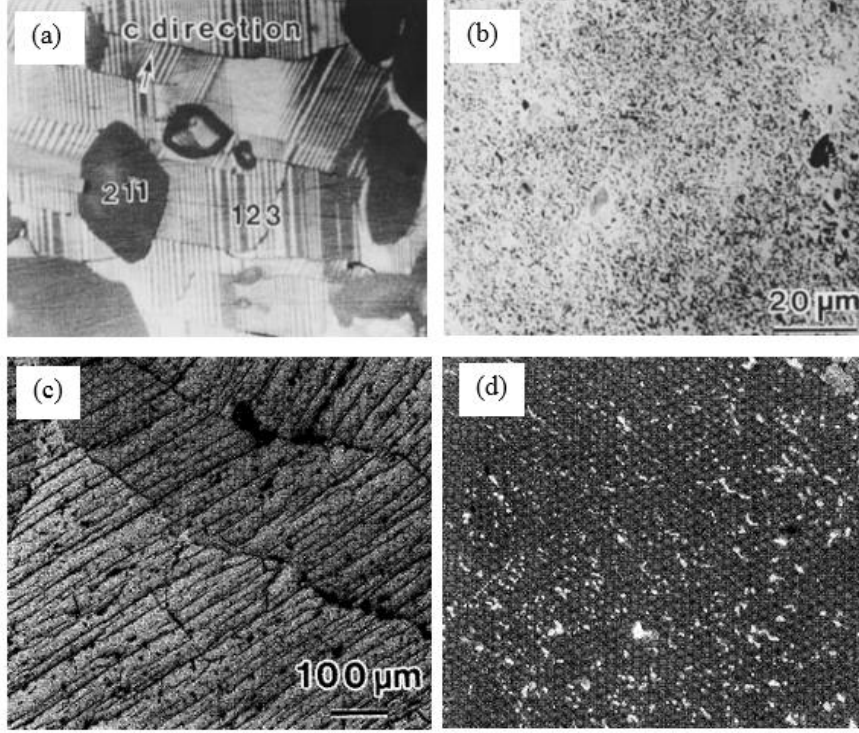
Burada numune  $Y_2O_3$  parçacıklarından ve katılaştırılmış sıvı fazdan (baryum, bakır oksit ve amorf fazlar) oluşur. Hızlı soğutulmuş plakalar daha sonra Y211+L bölgesine ısıtılır. Burada  $Y_2O_3$ , Y211 fazını oluşturmak için sıvı fazla reaksiyona girer. Y211 fazı  $Y_2O_3$ 'den oluştuğu için  $Y_2O_3$  dağılımının kontrol edilmesi 211 fazının dağılımını sağlar. Bu sıcaklıkta numune uzun süre tutulmalıdır, çünkü Y211 fazı büyük taneler haline gelecektir. Bunun için numune bir süre bekledikten sonra soğutulur (Murakami vd., 1989).

### 2.1.3. Eritme-Toz-Eritme-Büyütme Yöntemi (MPMG)

MPMG yönteminde, QMG yönteminden farklı olarak, hızlı soğutma işleminden sonra, plakalar ince toz haline getirilip iyice karıştırılır. Bu yöntemle  $Y_2O_3$  karışım içine düzenli bir şekilde dağıtılır. Tozlar istenilen şekle getirilerek Y211+L sıcaklığına ısıtılır. QMG yönteminde olduğu gibi, bu sıcaklıkta bir müddet tutulur ve hızlıca peritektik sıcaklığın üstüne soğutulur. Daha sonra peritektik sıcaklığın altına kadar yavaş soğutulur.



**Şekil 2.4.** 77 K'de MPMG yöntemine göre hazırlanmış ve %Y211 katılı YBaCuO numunelerinin magnetik alana göre  $J_c$  değerinin değişimi (Murakami, vd., 1991)



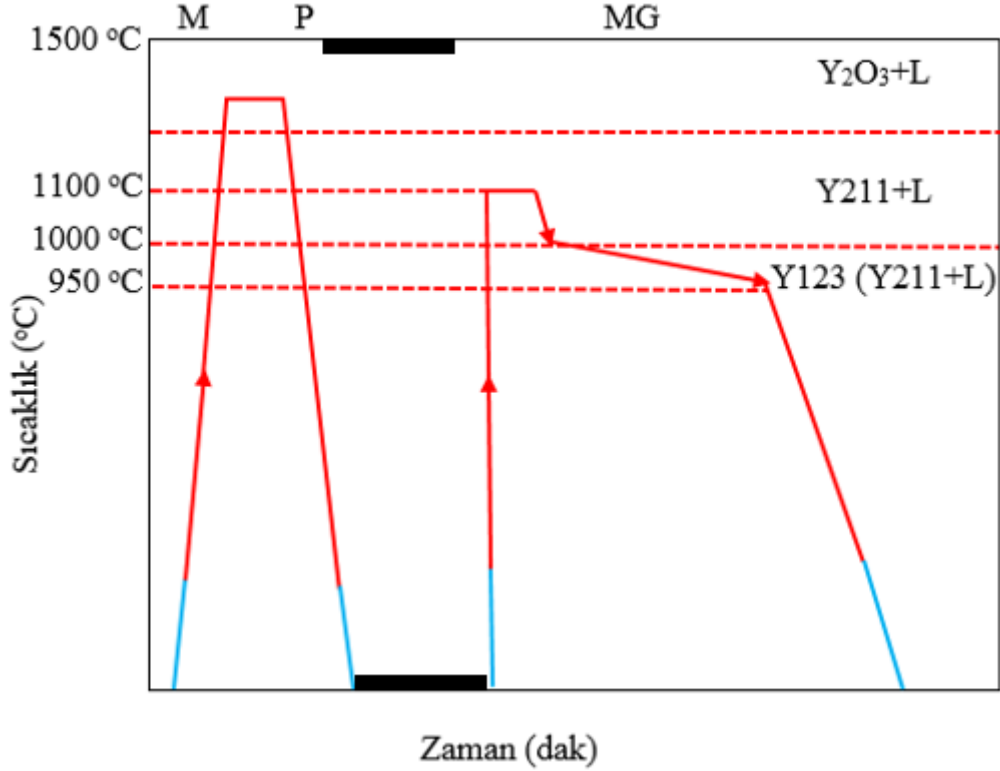
**Şekil 2.5.**  $Y_1Ba_2Cu_3O$  bileşiğinin (a) MTG yöntemi ile üretilen (b) MPMG yöntemi ile üretilen (c-d) MPMG yöntemi ile katkısız ve % 10 Ag katkılı üretilen örneklerin mikroyapısı (Murakami, vd., 1991; Ogava, vd., 1991)

Son olarak numune oda sıcaklığına getirilir (Murakami vd., 1989). Murakami vd., MPMG yöntemiyle hazırlanan numunede Y211 parçacıklarının  $J_c$  ile ilgili olduklarını göstermişlerdir. Şekil 2.4. de YBaCuO bileşiğine % 25 Y211 eklenmiş ve eklenmemiş numuneler için  $J_c$ 'nin uygulanan alana göre değişimi görülmektedir (Murakami, vd., 1991). Şekil 2.5. de % 10 Ag (Gümüş) katkılı ve katkısız Y123 bileşiğinin mikroyapısını gösterir elektron mikroskop görüntüsü verilmiştir. Numunede süperiletken olmayan Ag fazları pinning merkezleri olarak görev yapmaktadırlar (Coote, vd., 1972; Matsushita, T., 1988).

#### 2.1.4. Ark Döküm (Arc-Casting) Yöntemi

Yanmaz vd. yaptıkları çalışmada arc-casting (ark döküm) yöntemiyle numune üretmişlerdir. Bu yöntemde, diğer yöntemlerde olduğu gibi  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$  ve CuO tozları karıştırılarak kalsine edilir. Kalsine edilen tozlar tablet haline getirilerek tükenmeyen tungsten elektrod ark fırını içinde eritilir. Eriyik, çubuk şeklindeki su ile soğutulan, bakır

kalıba dökülür (Yanmaz, vd., 1990). Şekil 2.6. da bu yöntemin sıcaklık–zaman bağımlılığı süreci görülmektedir.



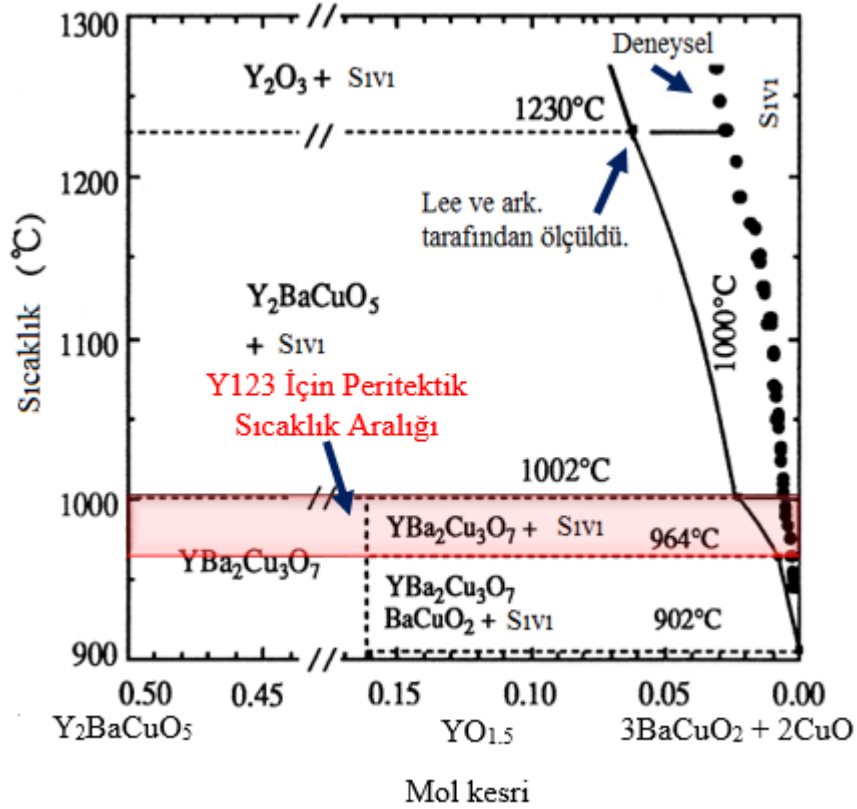
Şekil 2.6 AQPQ yönteminin sıcaklık-zaman grafiğinin şematik gösterimi  
(Yanmaz, vd., 1993)

Yanmaz ve ark., daha sonra bu metodu bir miktar değiştirmişlerdir. Bu kez arc-casting ile üretilen numuneyi eriterek büyütme işlemine tabi tutmuşlardır. Geliştirilen bu yönteme arc-quench-powder-growth (AQPQ) adı verilmiş (Yanmaz, vd., 1993).

### 2.1.5. Üstten Tohumlama Eritme Büyütme Yöntemi [TSMG (ÜTY)]

Yukarıda anlatılan bütün büyütme süreçlerinin amacı,  $Y_1Ba_2Cu_3O_y$  (Y123) fazının oluşumu sırasında,  $Y_2Ba_1Cu_1O_y$  (Y211) parçacıklarının büyüklüklerini azaltmak ve kuvvetli manyetik akı pinning merkezleri oluşturmaktır. Bu yüzden Y123 süperiletkeninin faz diyagramından yararlanır (Şekil 2.7).

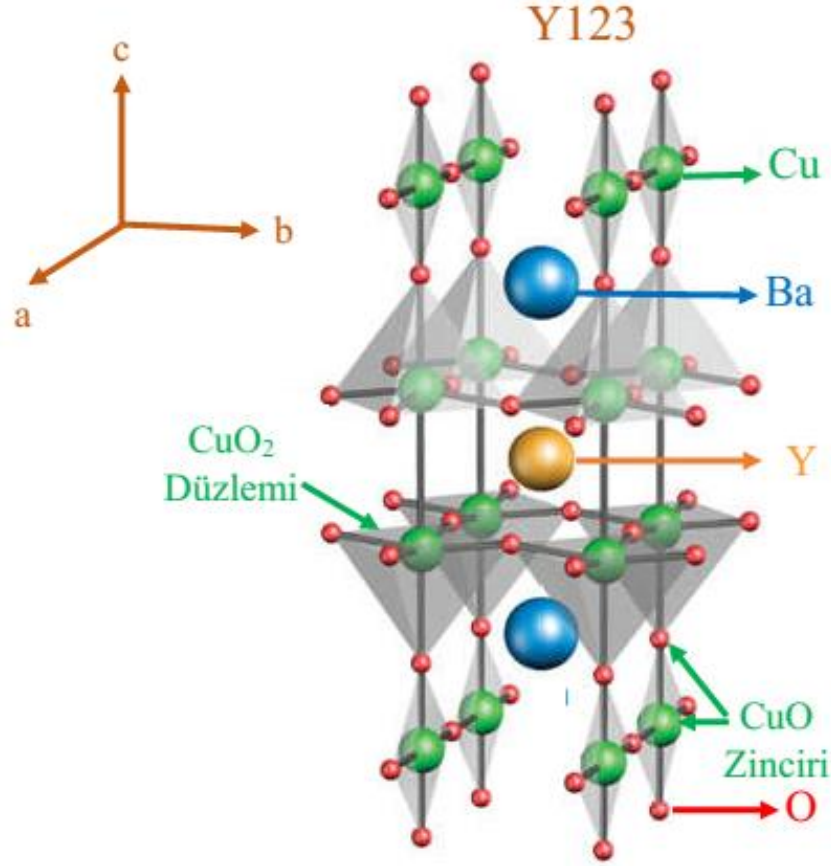




Şekil 2.7. 0.21 oksijen atmosfer basıncında  $Y_2O_3$ -BaO-CuO sisteminin faz diyagramı (Krauns, vd., 1994; Lee ve Lee, 1991)

RE123 (RE: Nadir Toprak Elementleri, Y, Sm, Nd, Yb, Eu, gibi) süperiletken ailesi II.tip süperiletkenler olup, oksit (oksijene duyarlı) süperiletkenler olarak da adlandırılırlar. Oksit süperiletkenler  $CuO_2$  düzlemlere ve zincirlere sahiptirler.  $CuO_2$  düzlemlere oksijen dop edileceğinden ortarombik yapıların oluşmasında etkilidirler (Şekil 2.8). Metal ve oksit süperiletkenlerin özellikleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Y123 fazının çekirdeklenme ve büyümesi başlangıç karışımının çekirdek sıklığına bağlıdır. Bu nedenle Y123 tane sayıları ve numune içine yerleşimi bilinmemektedir. Yüksek sıcaklık süperiletken maddeler son derece yöne bağlı (anizotropik) ve büyük tane sınırı açısına sahiptirler ki bu da  $J_c$  değerini umulanın altına çeker. Bu yüzden kristal



**Şekil 2.8.**  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  süperiletkeninin  $\text{CuO}_2$  düzlemleri ve  $\text{CuO}$  zincirlerini gösteren ortorombik birim hücre yapısı (Shiohara ve Endo, 1997; nature.com)

**Çizelge 2.1.** Metal ve Oksit süperiletkenlerin özellikleri (Shiohara ve Endo, 1997)

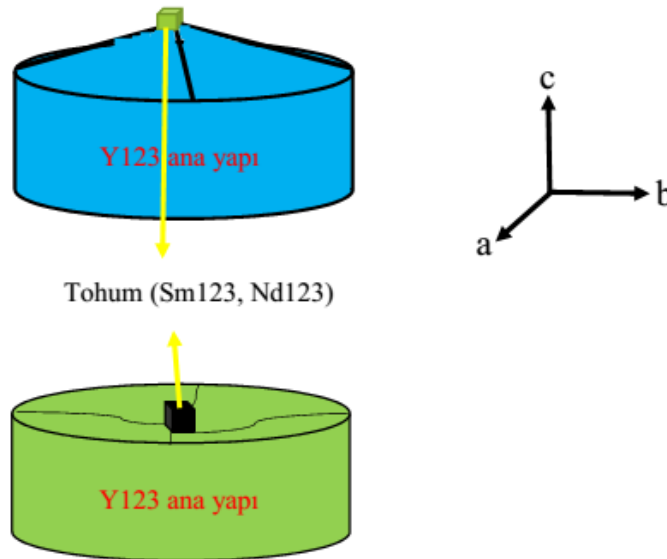
	Metal Süperiletkenler	Oksit Süperiletkenler
Boyut bağımlılığı	3-boyutlu	2-boyutlu
Kristal yapı bağımlılığı	Hassas değil	Çok hassas
Koherens uzunluğu	Uzun ( $>199 \text{ \AA}^\circ$ )	Çok kısa ( $<20-30 \text{ \AA}^\circ$ )
Birim hücre sınır etkileri	Küçük	Çok büyük

yerleşimi ve tanelerin büyüklüklerinin kontrolü önemlidir (Shiohara ve Endo, 1997). Büyük taneli yüksek sıcaklık süperiletkenler enerji depolama sistemleri, yük taşıma ve kaldırma, manyetik yatak, maglev treni ve alan tuzaklama mıknatısları gibi mühendislikte

geniş uygulama alanlarına sahiptirler (Hull, 2000; Murakami, 2001; Mizutani vd., 2003; Yamachi, 2005; Fujimoto, 1999; Fujimoto, 2000).

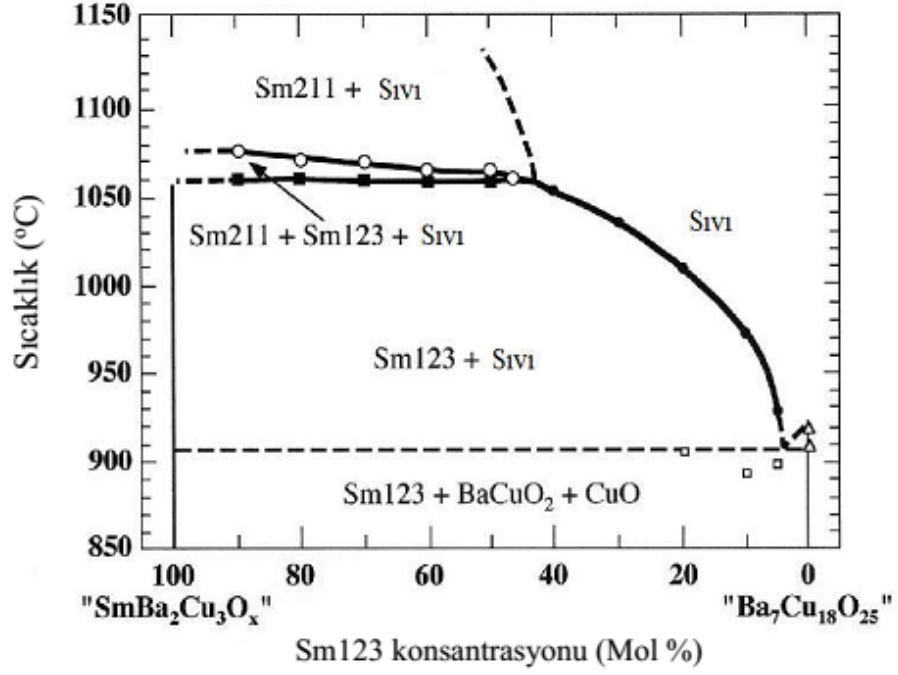
Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, Y123 için,  $Y_2O_3$ ,  $Sm_2O_3$ ,  $Nd_2O_3$ ,  $Gd_2O_3$  tozları ve MgO tek kristali tohum olarak kullanılarak heterojen çekirdeklenme oluşturulmuştur (Morita, 1991; Murakami, 1992; Kondoh, vd., 1992). Bu yeni oluşturulan metoda TSMG (Top Seed Melt Growth-Üstten Tohumlama Eritme Büyütme) metodu denilmiştir. Şekil 2.9 da görüldüğü gibi Y123 ana yapısının üzerine (çapı en az 15 mm) tohum olarak Sm123, Nd123 ve MgO gibi 2x2x2 mm boyutlarında bir tohum, soğuk ve sıcak tohumlama metodu kullanılarak üretilmiştir (Chen, vd., 2002; Muralidhar, vd., 2003; Nariki, vd., 2004; Iida, vd., 2005).

Üstten tohumlama eritme büyütme metodu ile yapılan çalışmalar sonucunda daha yüksek kritik geçiş sıcaklığı ( $T_C$ ), uygulanan manyetik alan değeri arttıkça daha büyük akım yoğunluğu ( $J_c$ ) değerine ( $\sim 10^5$  A/cm<sup>2</sup>) ulaşılmıştır (Murakami, 1992; Nariki, vd., 2004; Iida, vd., 2005, Babu, vd., 2011).

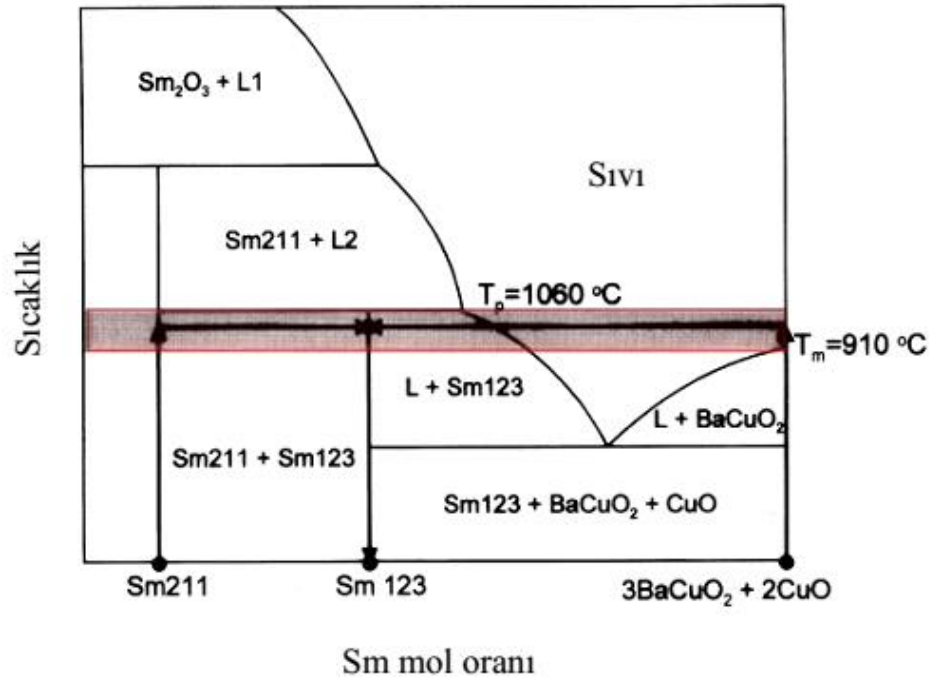


**Şekil 2.9.** Üstten tohumlama eritme büyütme (ÜTY) metoduna göre üretilen süperiletkenlerin şematik gösterimi (Murakami, 1991; Morita, 1991)

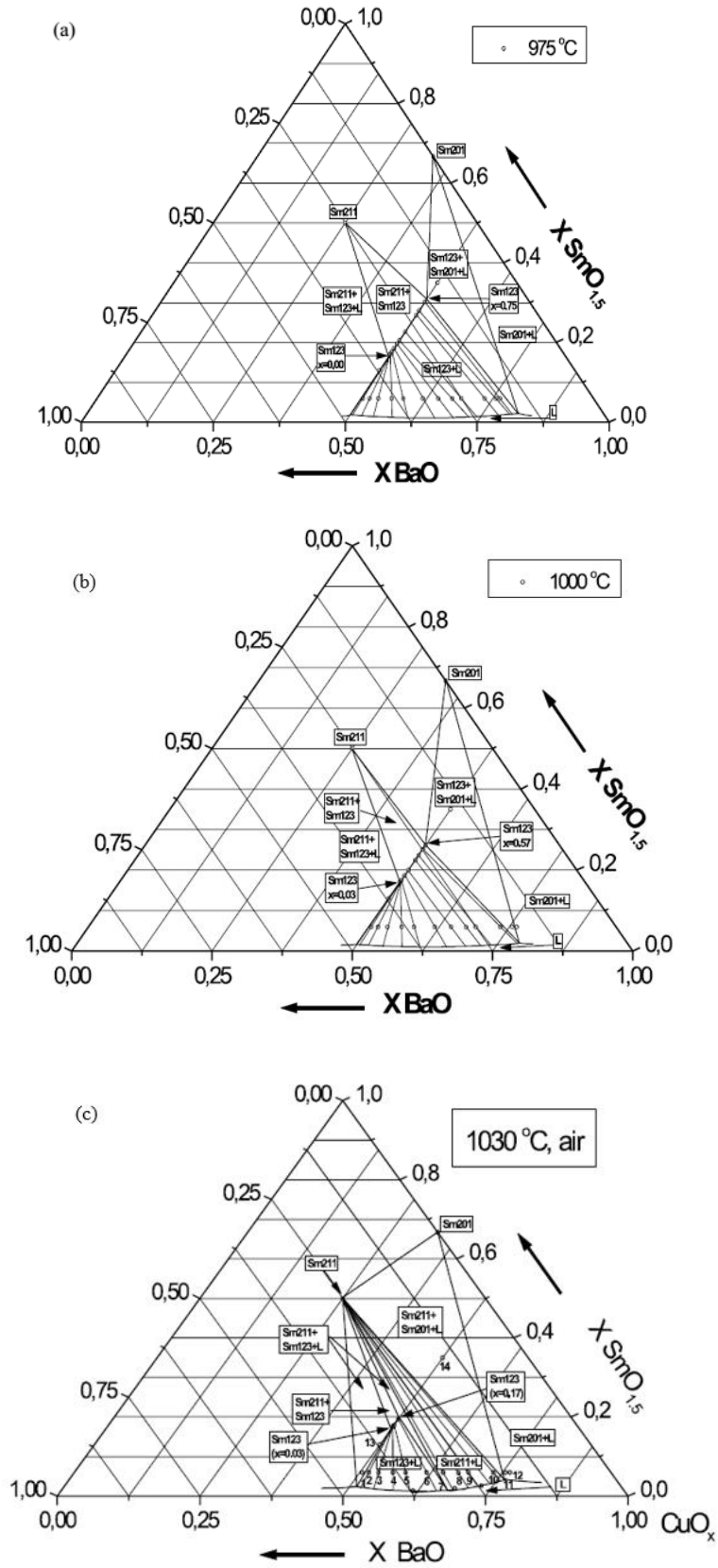
Üstten tohumlama eritme büyütme metodu ana yapı olarak kullanılan Y123 ve tohum olarak kullanılan Sm123'ün peritektik sıcaklığı ve faz diyagramları (Şekil 2.10, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12) temel alınarak üretilmektedir.



Şekil 2.10. Sm123'ün hava ortamında pseudo-binary faz diyagramı (Nishimura, 1996).



Şekil 2.11. SmBaCuO pseudo-binary faz diyagramı (Kim vd., 1998)



Şekil 2.12. Sm<sub>1.5</sub>-BaO-CuO'ün (a) 975 °C, (b) 1000 °C ve (c) 1030 °C'de hava ortamında quasi-ternary faz diagramı (Kuznetsov vd., 2001)

Çizelge 2.2’de bazı nadir toprak elementlerinin iyonik yarıçapları ve erime noktaları verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Bazı RE Elementlerinin iyonik yarıçapı ve erime noktaları (Murakami, vd., 1996)

<b>Nadir Toprak Elementi</b>	<b>Sm</b>	<b>Y</b>
İyonik Yarıçap (Å)	1.079	1.019
Erime Noktası (°C)	1060	1000

Bu çalışmanın amacı  $Y_1Ba_2Cu_3O_y$  süperiletkenine göre yüksek manyetik alan altında yüksek akım yoğunluğuna ve yüksek geçiş sıcaklığına sahip LRE(RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (LRE: Light Rare Element: Sm, Nd, Eu, Gd, Yb) süperiletkeni üretmektir. Üretim yöntemi olarak Üstten Tohumlama Eritme Büyütme Metodu [ ÜTY (Top Seed Melt Growth) ] ve Gömülü Tohum Yöntemi [ GTY (Embedded Seed) ] kullanılarak yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin fiziksel özellikleri araştırılacaktır.

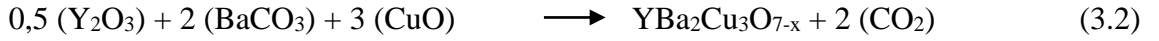
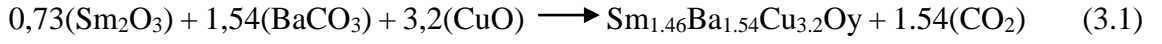
## BÖLÜM III

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. $\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.20}\text{O}_y$ (Sm123) ve $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Y123) Bileşiklerinin

##### Hazırlanması

Katıhal tepkime yöntemiyle hazırlanacak  $\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.20}\text{O}_y$  ve  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  bileşiklerini üretmek için aşağıdaki kimyasal tepkimelere uygun olarak;

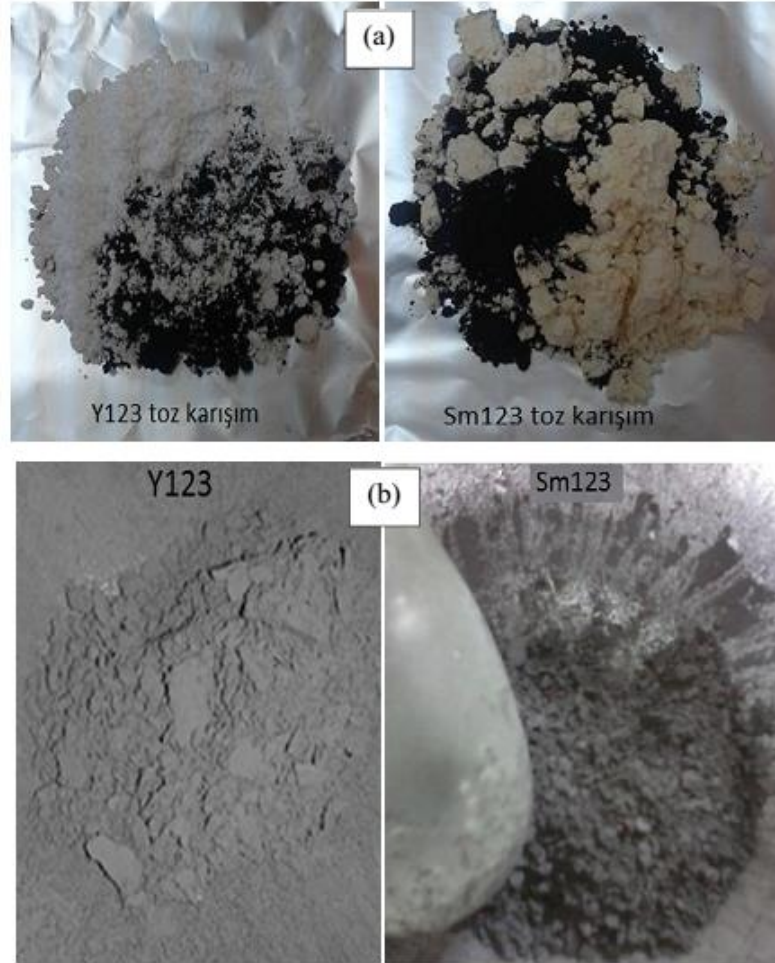


$\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaCO}_3$  ve  $\text{CuO}$  tozları 10 g bileşik hazırlamak için **RADWAG AS220/C/2** marka 4 digitli (0,0001 g) dijital hassas terazide tartıldı.

**Çizelge 3.1.** Y123, Sm123 başlangıç bileşiğinin hazırlanmasında kullanılan kimyasal toz miktarları

Kimyasal Tozun Adı	Sembolü	Saflık Derecesi (%)	Molekül Ağırlığı (a.u)	Bileşik Miktarı (10 g için)
Yttrium Oksit	$\text{Y}_2\text{O}_3$	99,99	225,81	1,5130
Baryum Karbonat	$\text{BaCO}_3$	99,99	197,35	5,2890
Bakır Oksit	$\text{CuO}$	99,99	79,54	3,1981
Samaryum Oksit	$\text{Sm}_2\text{O}_3$	99,99	348,7	3,1310
Baryum Karbonat	$\text{BaCO}_3$	99,99	197,35	3,7380
Bakır Oksit	$\text{CuO}$	99,99	79,54	3,1311

Cam ve porselen havanda kimyasal tozlar homojen bir şekilde 4 saat karıştırıldı ( Fotoğraf 3.1). Karıştırılan toz bileşikler alümina ( $Al_2O_3$ ) pota içerisine konuldu ( Fotoğraf 3.2 ) ve **KSL-1100X** 30 Segmentli 10X10X10 muffle fırında 880 °C sıcaklıkta Şekil 3.1 deki sıcaklık-zaman grafiğine göre 10 saat 3 defa kalsinasyon işlemine tabi tutuldu. Her kalsinasyon sonrası numuneler birer saat daha öğütülerek numuneler toplamda 4 defa 7 saat öğütüldü.

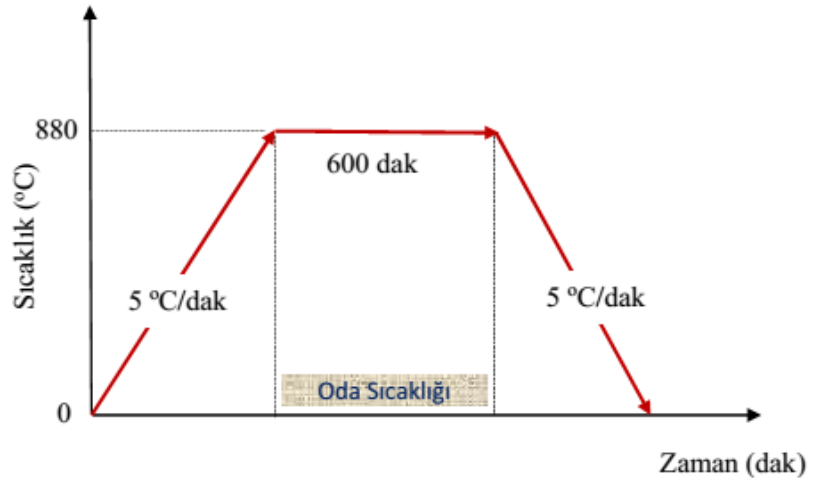


**Fotoğraf 3.1.** (a)Y123 ve Sm123 tozları (b) 4 saat öğütüldükten sonra Y123 ve Sm123 toz karışımları





**Fotoğraf 3.2.** Kalsinasyon öncesi ve kalsinasyon sonrası Sm123 ve Y123



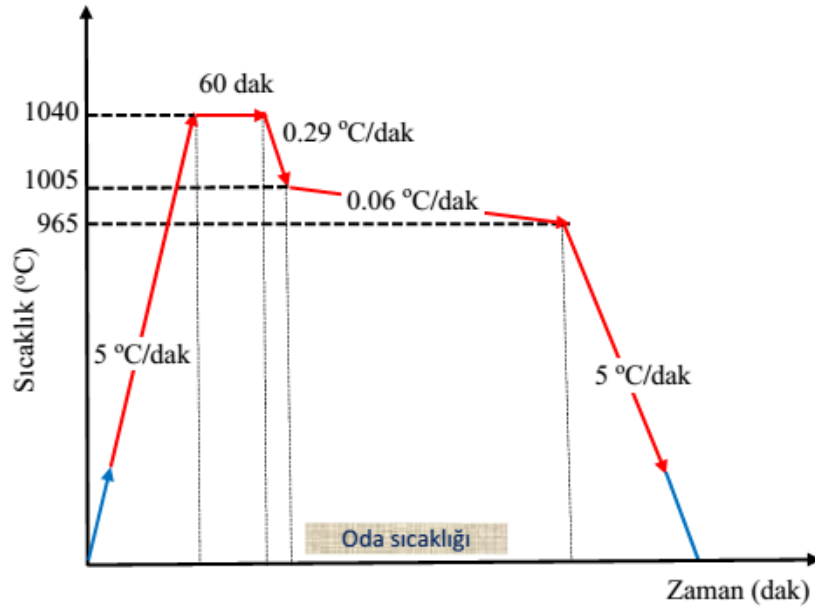
**Şekil 3.1.** Sm123 ve Y123 toz karışımlarının kalsinasyon işlemi sıcaklık-zaman grafiği

### 3.2. Üstten Tohumlama Eritme Büyütme Yöntemi ile Üretilen Malzemelerin Sinterlenmesi

$\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.20}\text{O}_y$  (Sm123) ve  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (Y123) bileşiklerinin sinterleme işlemi aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir; Kalsinasyon işlemi yapılan %50 Sm123 - %50 Y123 numunesinden 3'er gram alınarak toplamda 6 gr olacak şekilde karıştırılan toz bileşik tekrar iki saat daha öğütüldü. Öğütülen bu karışımdan 16 mm çapında preslenen numunenin (pres kalıpları Fotoğraf 3.3'de görülmektedir) üzerine 2x2x2 mm boyutlarında Sm123 tohumu konularak (Fotoğraf 3.4) sinterleme işlemine tabi tutuldu. Sinterleme işleminin sıcaklık zaman grafiği Şekil 3.2'de verilmiştir.

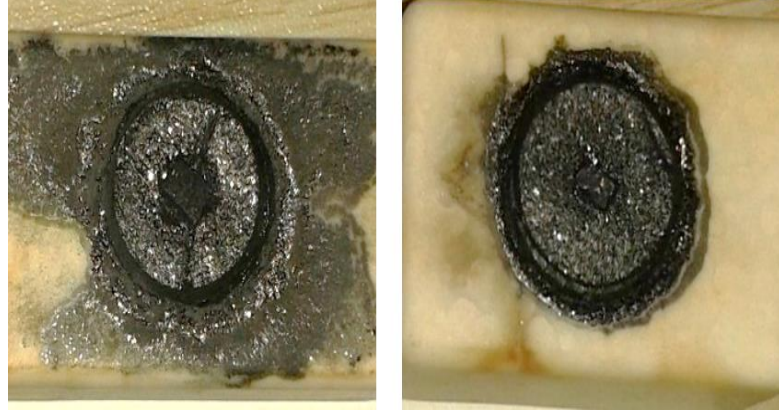


Fotoğraf 3.3. Süperiletken numune hazırlama da kullanılan çelik pres kalıpları

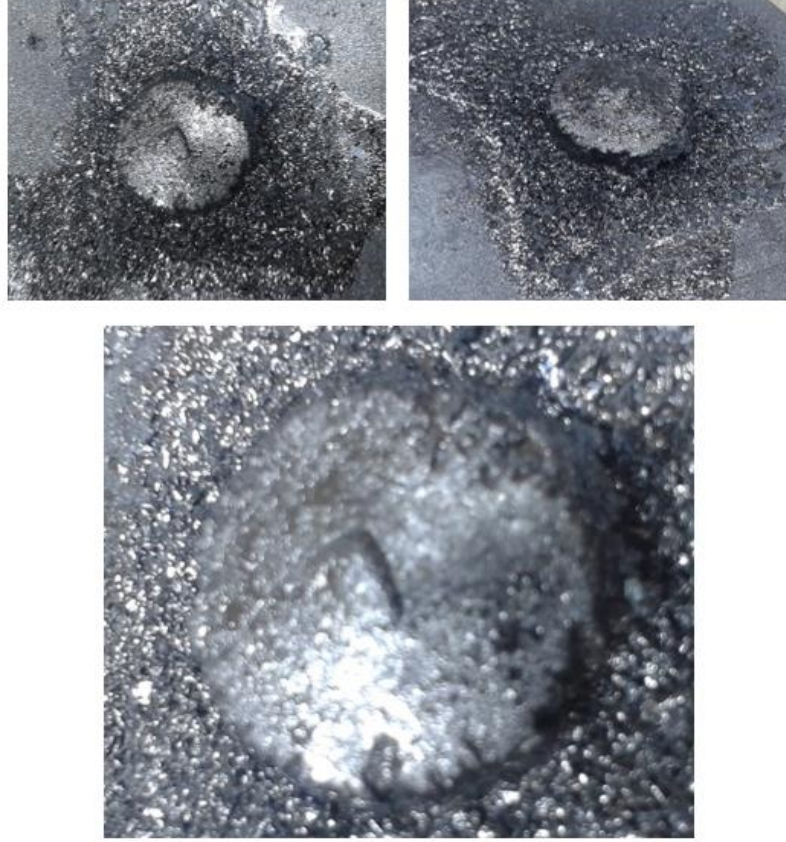


Şekil 3.2. Sinterleme işlemi sıcaklık-zaman grafiği

Sinterleme işlemleri sonrasında Üstten Tohumlama Yöntemine göre üretilen süperiletkenlerin fotoğrafları Fotoğraf 3.4, Fotoğraf 3.5, Fotoğraf 3.6, ve Fotoğraf 3.7’de görülmektedir.



**Fotoğraf 3.4.** Üstten tohumlama yöntemi ile Sm123 tohum kullanarak üretilen Y123 numuneler



**Fotoğraf 3.5.** Üstten tohumlama yöntemi ile Sm123 tohum kullanarak üretilen Y123+MgO numunesinin farklı açılardan görünümü



**Fotoğraf 3.6.** Üstten tohumlama yöntemi ile üretilen Sm123 tohumlu Y123 numunesinin altına yerleştirilen MgO peletinin numuneye etkisi



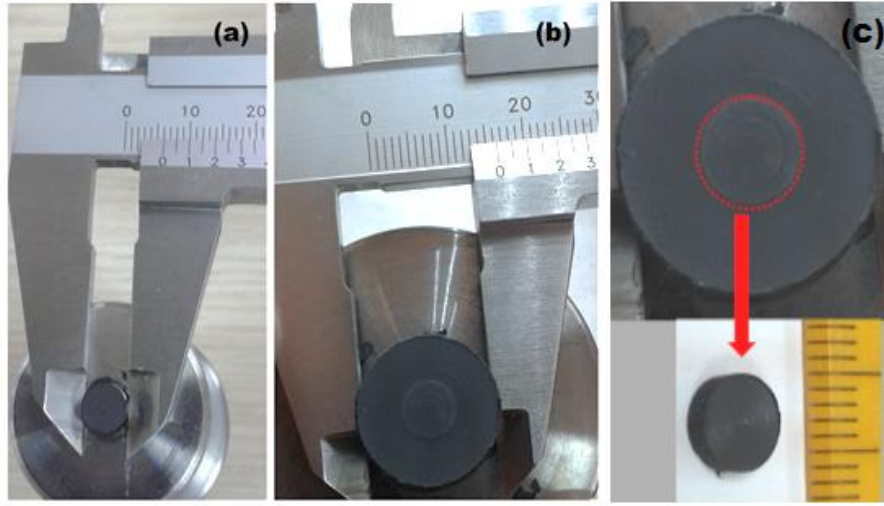
**Fotoğraf 3.7.** Üstten tohumlama eritme büyütme yöntemi ile üretilen örnekler



### 3.3. Gömülü Tohum Yöntemi (GTY) ile Üretilen Malzemelerin Sinterlenmesi

$\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.20}\text{O}_y$  (Sm123) ve  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (Y123) bileşiklerinin sinterleme işlemi aşağıdaki gibi gerçekleştirilmiştir;

Tohum üretmek için, kalsinasyon işlemi yapılan Sm123 numunesinden 300-700 mg alınarak 150 MPa basınç altında 6 mm çapında 5 tane numuneye soğuk pres yapıldı (Fotoğraf 3.8.(a)). Preslenen tohumların yükseklikleri 2-5 mm arasında değişmektedir.

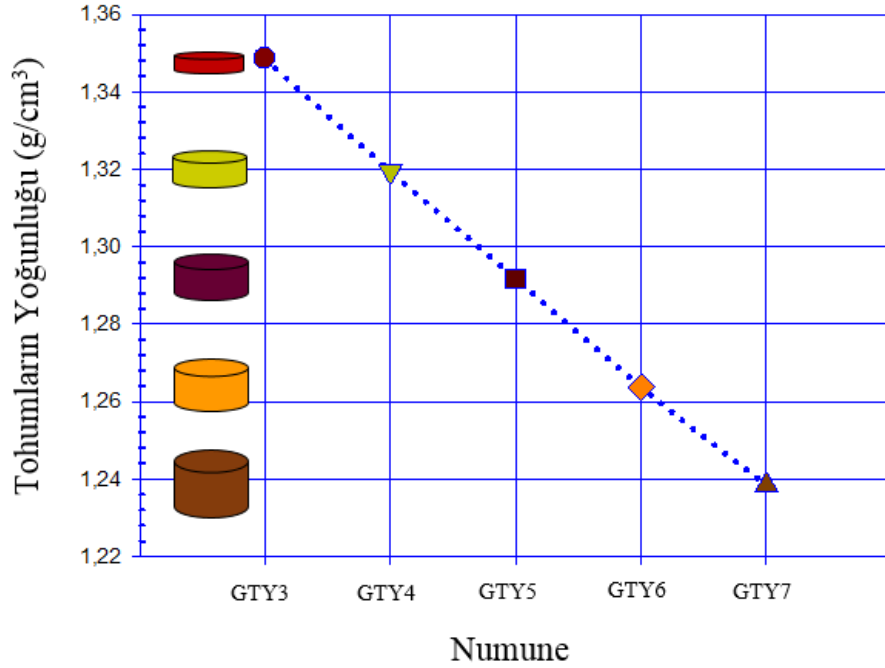


**Fotoğraf 3.8.** (a) 6 mm çapında preslenmiş tohum, (b) 16 mm çapında tohum içine yerleştirilmiş numune (c) tohumun yerleştirildiği bölge



**Fotoğraf 3.9.** 16 mm çapında çelik haznenin içine yerleştirilen tohum

Preslenen tohum numuneleri Fotoğraf 3.9’da görüldüğü gibi 16 mm çapında %50 Sm123 - %50 Y123 karışımının (2 saat öğütüldü) bulunduğu 16 mm çapındaki çelik pres haznesinin içine yerleştirildi ve 250 MPa basınç altında soğuk preslendi (Fotoğraf 3.8.(a) - 3.8.(b)). Preslenen tohum numunelerinin yoğunlukları Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Preslenen tohum numunelerinin yoğunlukları

Hazırlanan numunelere; GTYS (tohumsuz numune), GTY3 (300mg tohum konulan numune), GTY4, GTY5, GTY6, GTY7 (700 mg tohum konulan numune) kodları verildi.

Sinterleme sıcaklığının yüksek olması ( $T=1040\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nedeniyle fırın içinde numunelerin altına altlık olarak genellikle alümina pota ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) konulur, fakat alümina altlık üzerine bırakılan numunenin sinterlenmesi sırasında sıvı fazını kolaylıkla emmekte (absorblamakta) ve numunenin kompozisyonunu değiştirmektedir. Aynı zamanda domainlerin büyümesini de engellemektedir (Ren vd, 2004). Bu sorunu ortadan kaldırmak için, numune altına yerleştirilen MgO tek kristal peletler numune ve alümina potayı birbirlerinden ayırmak için kullanıldı. Fotoğraf 3.4 ve Fotoğraf 3.5 de görüldüğü gibi laboratuvarda üstten tohumlama eritme büyütme yöntemi (Top Seed Melt Growth) ile ürettiğimiz numunelerde aynı sorunlarla karşılaştığımızı göstermektedir.

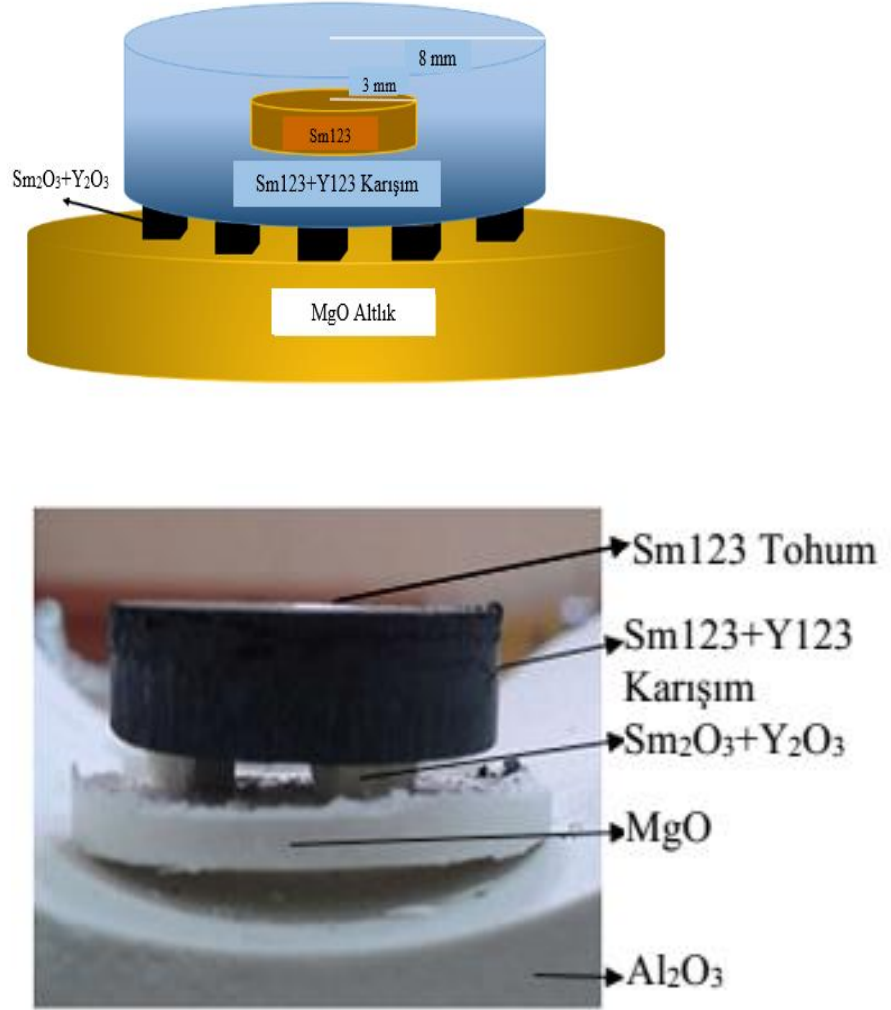
MgO, numuneye direk temas ettiğinde numunenin çekirdeklenmesini hızlandırmakta ve

bu yüzden MgO ve numuneyi birbirinden ayıracak şekilde numune altına %10-20 ( $\text{Yb}_2\text{O}_3+\text{BaCO}_3$ )+YBCO tozu preslenerek yerleştirilir (Meignan vd, 1997).

Katılma esnasında;

1. Sıvı fazın kaybolmasını önlemek
2. MgO'in neden olduğu çekirdeklenmenin büyümesinin hızlanmasını ortadan kaldırmak için

Şekil 3.4 de görülen yapı hazırlandı. Numune bu şekliyle Şekil 3.2 de verilen sıcaklık-zaman grafiğine göre sinterleme yapıldı.



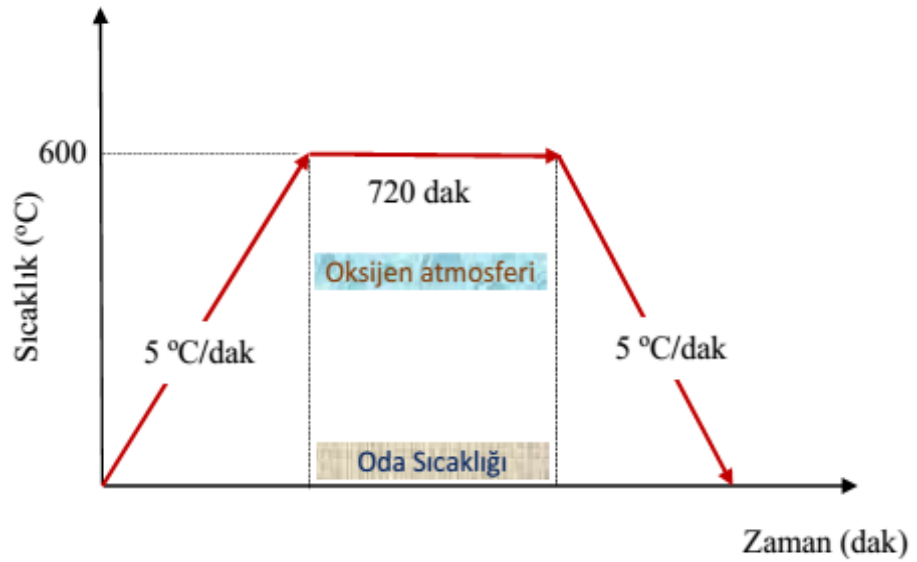
Şekil 3.4. Sinterleme işlemi için hazırlanan yapı

### 3.4.Oksijen Verme (Tavlama)

Üretilen numuneler Niğde Üniversitesi Fen Fakültesi yoğun madde fiziği laboratuvarında bulunan protherm marka fırında Şekil 3.5’ de görülen sıcaklık-zaman grafiğine göre 600 °C’de 12 saat 1 MPa basınç altında oksijen ortamında ısıl işleme tabi tutuldu (Fotoğraf 3.10).



Fotoğraf 3.10. Oksijen verme ünitesi



Şekil 3.5. Oksijen verme sıcaklık-zaman grafiği



### 3.5.Yapılan Ölçümler

#### 3.5.1. Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Diferansiyel termal analiz sonuçlarından numunenin faz değişimi, erime sıcaklığı, endotermik ve ekzotermik reaksiyonları, buharlaşma, süblimleşme gibi özelliklerinin artan sıcaklığa veya zamana bağlı olarak ölçümleri yapılabilir. Referans numunesi ile (genellikle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu) örnek arasındaki sıcaklık farkını diferansiyel termal analiz aynı anda ölçer. Ölçüm sonuçları DTA için  $\mu$ V değerinde, TGA için % (yüzde) olarak aynı grafik üzerinde okunur.

Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında bulunan **Perkin Elmer Diamond** marka diferansiyel termal analiz (DTA) ve kütle değişimi (TGA) cihazında Fotoğraf 3.11 fırın sıcaklığı 50-1150 °C sıcaklık değerleri aralığında Sm<sub>1,46</sub>Ba<sub>1,54</sub> Cu<sub>3,2</sub> O<sub>7-x</sub> başlangıç tozundan numunenin DTA ve TGA verileri alındı. Verilerden numunenin kalsinasyon, sinterleme, oksijen alma ve faz geçiş sıcaklığları tespit edildi.



**Fotoğraf 3.11.** Perkin Elmer Diamond marka DTA ölçüm cihazı

### 3.5.2. X-Işını

Üretilen numunelerden elde edilen X-Işını kırınım desenleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında bulunan BRUKER AXS D8 ADVANCE ve Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Araştırma Laboratuvarında bulunan GNR APD 2000 Pro marka X-Işını Toz difraktometresinde  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1.540598 \text{ \AA}$ , 40 kV, 30 mA) ışını kullanılarak tüm ölçümler oda sıcaklığında  $20^\circ \leq 2\theta \leq 60^\circ$  aralığında 10 °/dak tarama hızında 0.02°'lik örnekleme aralığında alındı. Ölçüm yapılmadan önce numuneler toz hale getirildi.

### 3.5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM fotoğrafları Erciyes Üniversitesi Teknoloji ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında bulunan LEO 440 marka ve Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Araştırma Laboratuvarında bulunan Hitachi SU1510 marka taramalı elektron mikroskop fotoğrafları 2µm-50µm aralığında çekilmiştir. SEM fotoğraflarından taneciklerin boyutu, şekli ve tanecik sınırları hakkında bilgi edinildi.

### 3.5.4. Manyetik Alınganlık

Malzemelerin AC alınganlık ölçümleri Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji araştırma laboratuvarında bulunan ve %100 Türk yapımı bir ölçüm cihazında yapıldı. Cihaz minimum 20 K düşük sıcaklık, 50 Hz-10000 Hz frekans aralığı, maksimum 8 Oe manyetik alan değerine kadar ölçüm yapabilmektedir. Cihaz (Fotoğraf 3.12) yardımıyla manyetik alınganlık ve öz direnç ölçümü yapılmaktadır.



**Fotoğraf 3.12.** Manyetik alınganlık ölçüm cihazı

### **3.5.5. Manyetik Kaldırma (Levitasyon)**

Niğde Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yoğun Madde Fiziği laboratuvarında tasarımı Doç.Dr. İbrahim Karaca'ya ait olan tamamı el yapımı ve % 100 Türk Malı olan manyetik kaldırma deney düzeneğinin şematik çizimi Şekil 3.6' da gösterilmektedir.

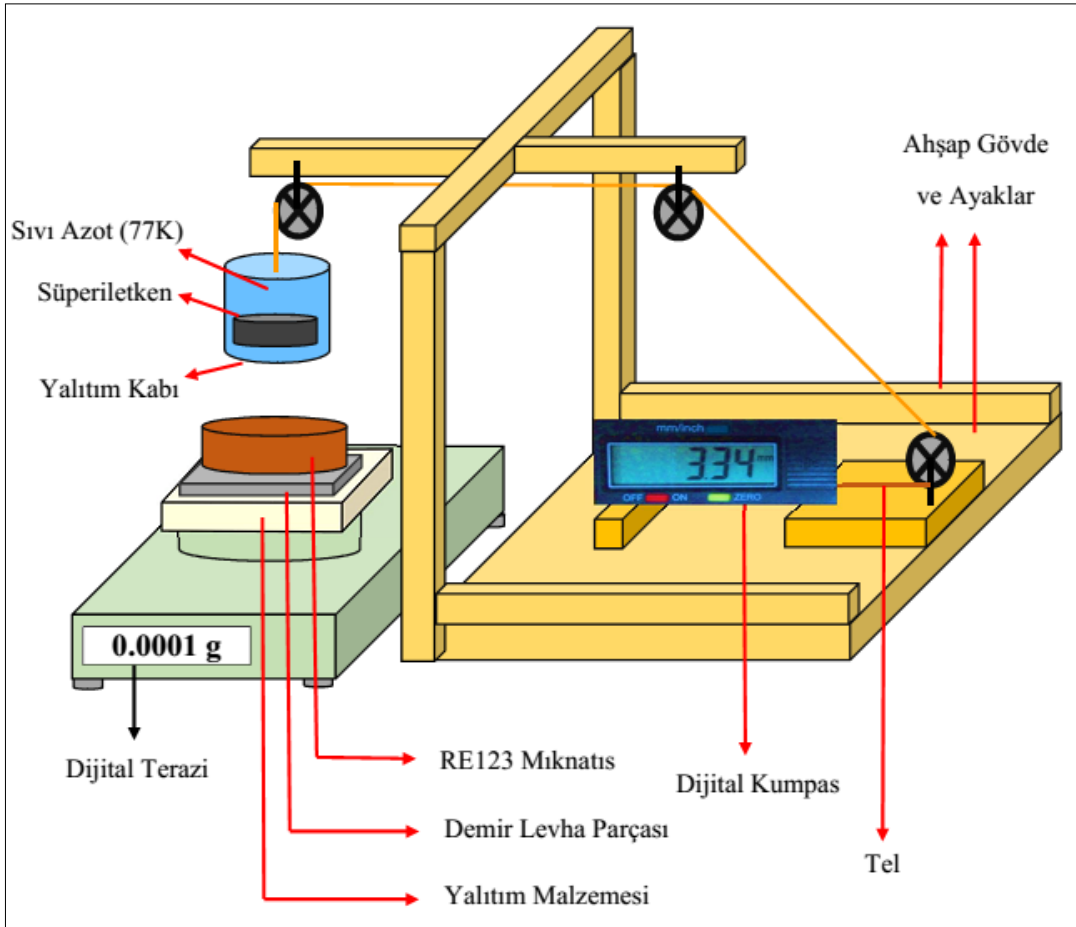
Deney sistemi başlıca üç kısımdan oluşmaktadır.

1. Ana yapı ve 0,01 mm hassasiyete sahip asansör sistemi
2. Sıvı azot yalıtım kabı ve süperiletken malzeme
3. 0,0001g hassasiyete sahip dijital terazi ve sürekli mıknatıs (maksimum=0,5 T)

Deneyin yapılışı

1. Deney düzeneği kuruldu. Hassas terazinin ve dijital kumpasın kalibrasyonları yapıldı. Deney düzeneğinde levha biçimindeki demir parçasının kullanılmasının amacı, sürekli mıknatıstan kaynaklanan manyetik akı yayılmasını engelleyerek ölçüm sonuçlarını olumsuz etkilenmemesini sağlamaktır ( Chun ve Lee, 2002).

2. Ölçümü yapılacak süperiletken malzeme sıvı azot ortamında alansız soğutma (ZFC) işlemine tabi tutuldu.
3. Kalibrasyon sınırları içerisinde yaklaşık olarak 8-10 cm uzaklık başlangıç noktası seçilerek, yalıtım kabının sürekli mıknatısa olan uzaklığı belirli adımlarla (0,25-0,5 cm aralığında) azaltılarak minimum uzaklık olan 0,25 cm'ye kadar inildi. Uzaklık azalırken her bir adımda belirlenen manyetik alan etkisinin doyuma ulaşmış bir değer olabilmesi için en az 10 saniye beklendikten sonra kütle değişiminin dataları alındı.
4. Minimum uzaklık mesafesi başlangıç seçilerek süperiletken numune mıknatıstan belirli adımlarla (0,25-0,5 cm aralığında) artırılarak uzaklaştırıldı. Uzaklık artarken her bir adımda kütle değişimi dataları belirlenen manyetik alan etkisinin doyuma ulaşmış bir değer olabilmesi için en az 10 saniye beklenilerek alındı.
5. Alınan datalar veri analiz programları yardımıyla incelendi.

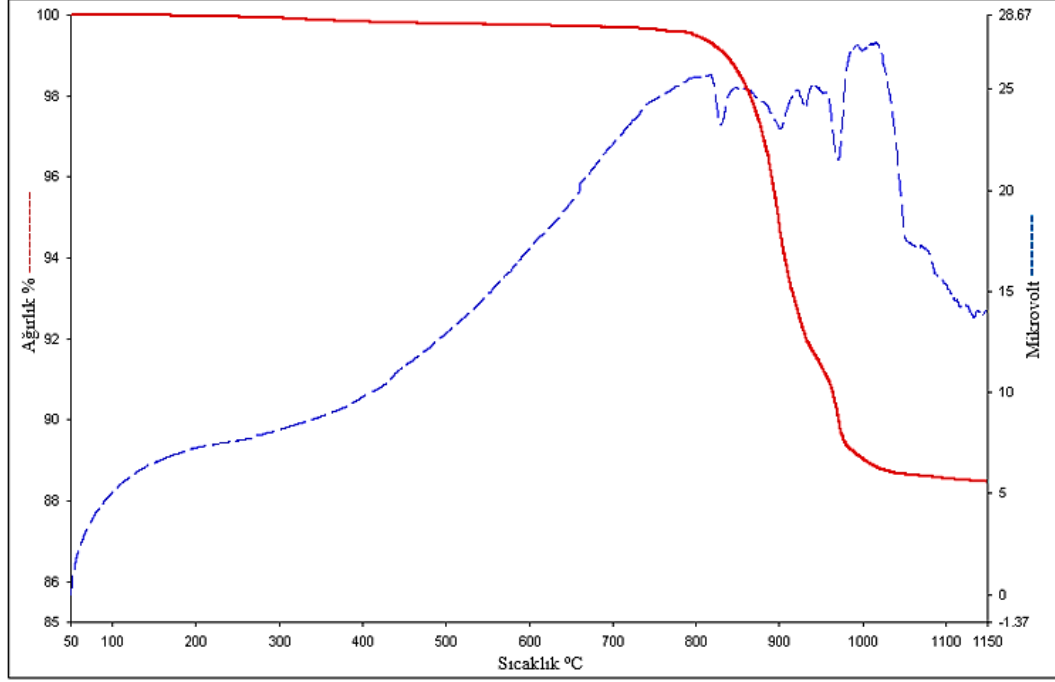


Şekil 3.6. Manyetik kaldırma deney düzeneği

## BÖLÜM IV

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 4.1. Diferansiyel Termal Analiz Sonuçları (DTA)



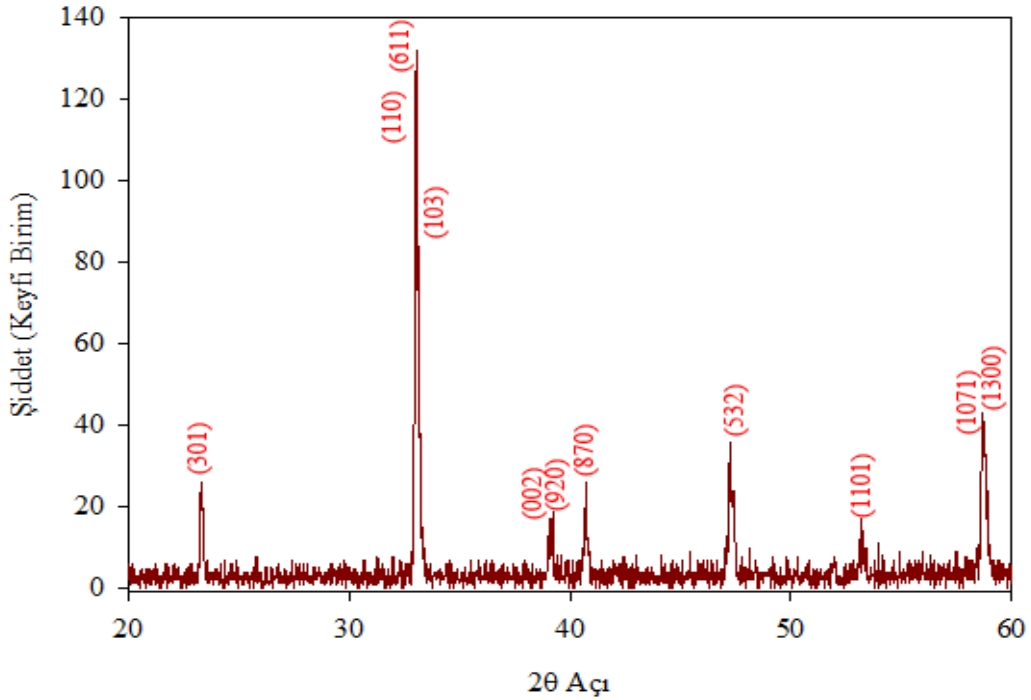
Şekil 4.1.  $\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.2}\text{O}_y$  yapılu bileşiğin DTA eğrisi

Şekil 4.1'deki DTA ve TGA eğrilerinden yararlanarak üretimini planladığımız malzemenin ana yapısı olan Sm123 süperiletkeninin kalsinasyon ve sinterleme sıcaklıkları belirlenmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi malzemede ilk erimenin görüldüğü sıcaklık olan 810-840 °C ve 860-920 °C sıcaklık aralığı kalsinasyon sıcaklık aralığı olarak belirlenmiştir. İki farklı sıcaklık aralığının gözükmesinin sebebi malzemenin polikristal olması ve yapı içerisindeki ana kristal oluşumunu belirleyen iki farklı fazın bulunmasıdır. Bu fazlar Sm123 ve Sm211 dir (Nishimura, 1996). Bu durumun faz diyagramından da yaklaşık olarak benzer anlama geldiği görülmektedir. Bu çalışmada kalsinasyon sıcaklığı olarak malzemenin polikristal olmasından kaynaklanan açığa çıkabilecek olumsuz etkileri ortadan kaldırmak amacıyla kalsinasyonun tam anlamıyla gerçekleşebilmesi için 880 °C sıcaklık seçilmiştir.

Malzemenin sinterleme sıcaklık aralığı 1010-1060 °C aralığı belirlendi. Bu aralığın seçilmesinin nedeni malzemenin içerisindeki tüm fazların erime başlangıcı olan 1010 °C olması ve erimenin tamamen 1060 °C de bitmesidir. 1010-1060 °C sıcaklık aralığından malzememiz için en uygun 1040 °C sıcaklığı sinterleme sıcaklığı seçildi. Bir miktar daha yüksek sıcaklık seçilebilirdi fakat malzeme içerisinde aşırı kütle kayıplarına sebep olma ihtimaline karşı ve diğer olumsuz etkenlerden dolayı tedbir amaçlı bu sıcaklık seçilmiştir.

#### 4.2. X-Işını Sonuçları

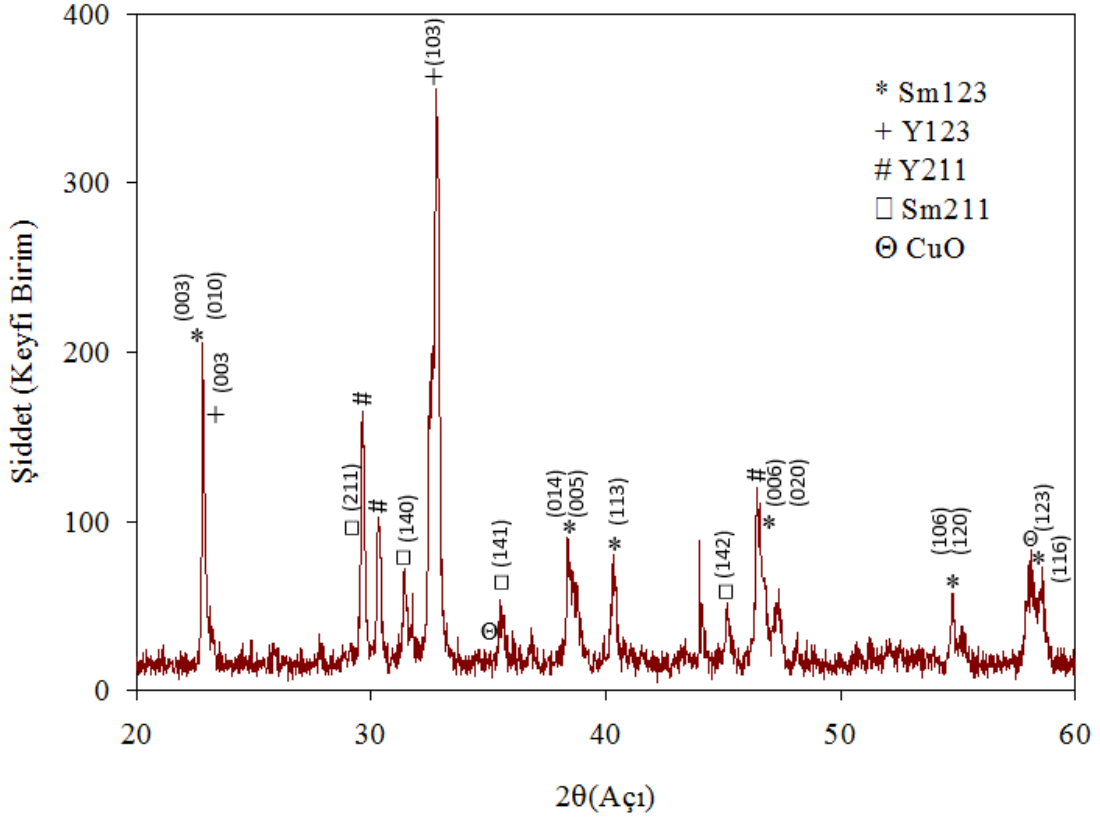
Tohumlama yönteminde kullanılacak olan ana malzemeyi oluşturan Sm123, Sm123+Y123 karışımından oluşan yüksek sıcaklık süperiletkenleri kalsinasyon sonrası üretim aşamasında belirtildiği gibi sinterleme işlemine tabi tutuldu. Tabi tutulduktan sonra alınan X-ışını kırınım verileri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



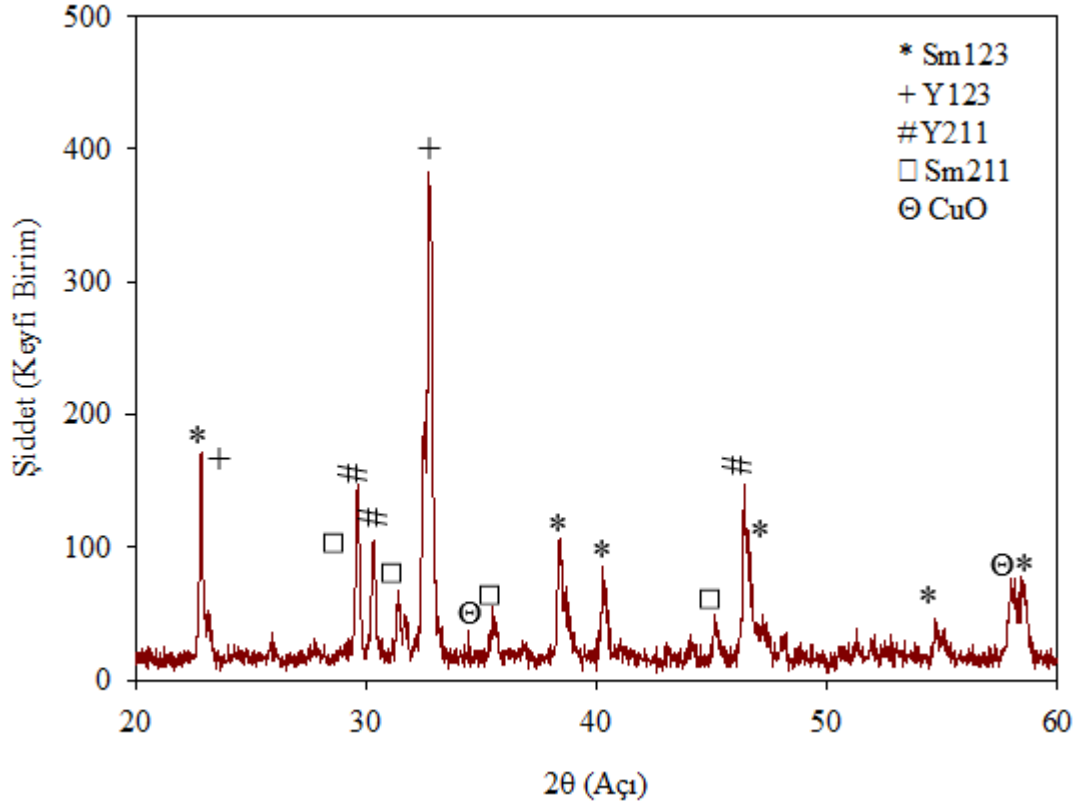
Şekil 4.2.  $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.2}O_y$  yapılı bileşiğin X-ışını deseni

Şekil 4.2 den görüleceği gibi poli kristal yapıya sahip Sm123 malzemesindeki kristal oluşumu ve bunlara ait pikler belirgin bir şekilde görülmektedir. Karşılaştırma amacıyla saf Sm123 yüksek sıcaklık süperiletkenine ait ve benzer ısıtım işlemine tabi tutularak

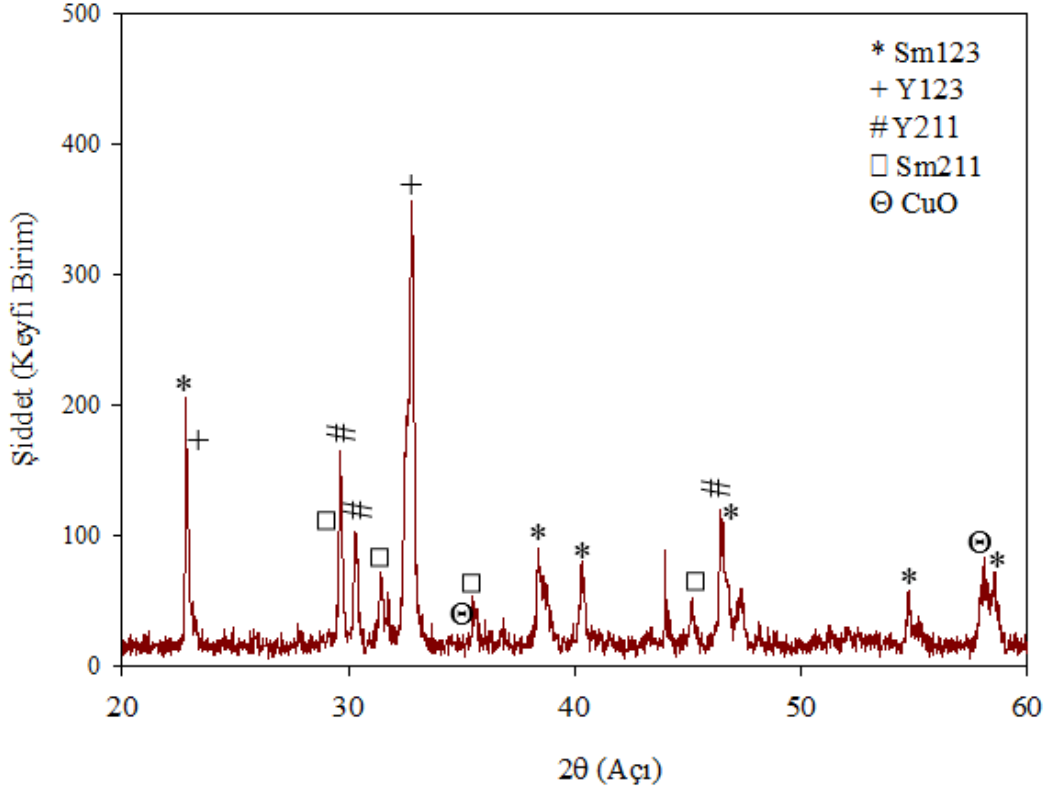
sinterleme işlemi yapılmış literatürdeki sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar literatürle uyum içerisindedir. X-Işını kırınım deseninden görüleceği gibi belirgin pikler farklı  $2\theta$  değerlerinde oluşmakta ve özellikle  $2\theta=32.80$ ,  $2\theta=32.82$  ve  $2\theta=33.055$  de en büyük pik şiddeti (110), (103), (611) ile belirgin olan pikte malzemenin kristalleştiğini doğrulamaktadır.



Şekil 4.3. Saf (GTYS) numunesinin X-ışını deseni

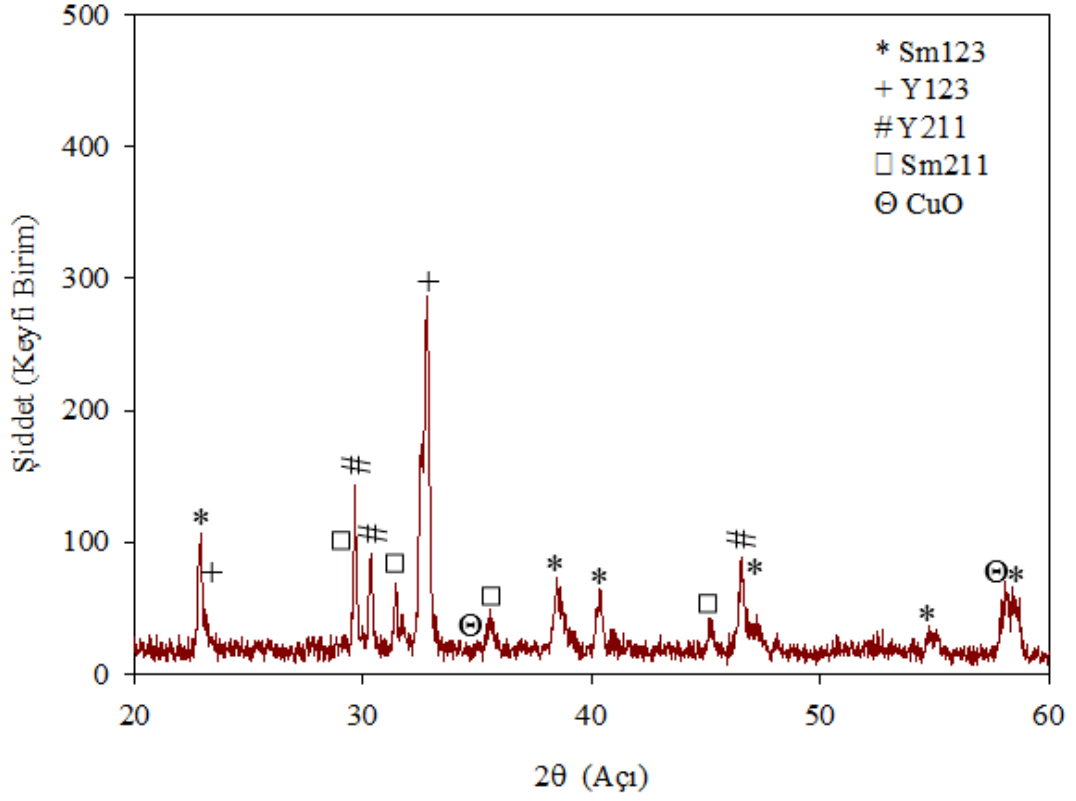


Şekil 4.4. 0,3g tohum katkılı (GTY3) numunenin X-ışını deseni

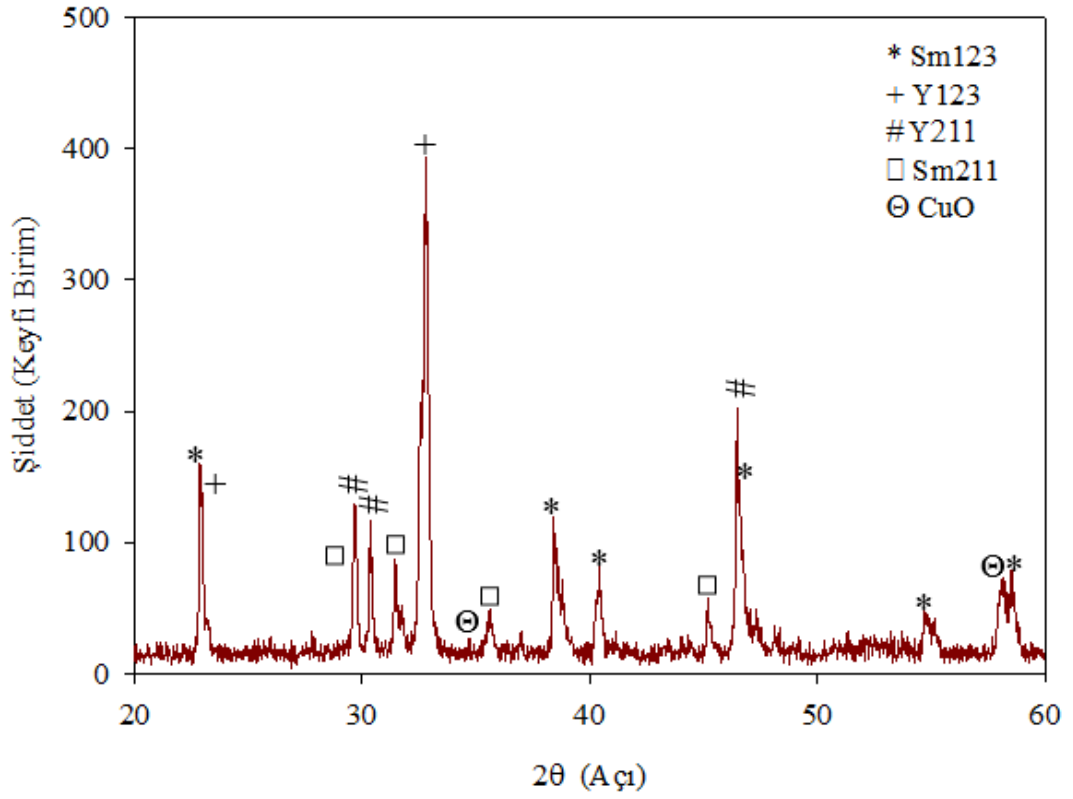


Şekil 4.5. 0,4g tohum katkılı (GTY4) numunenin X-ışını deseni

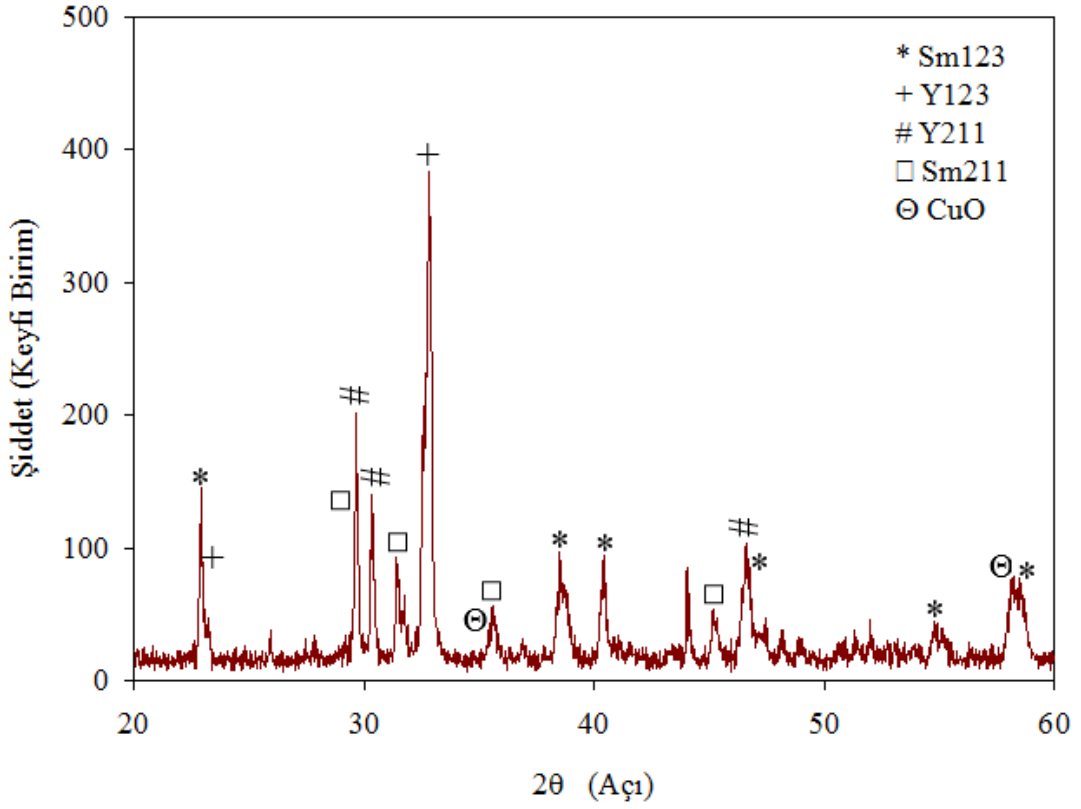




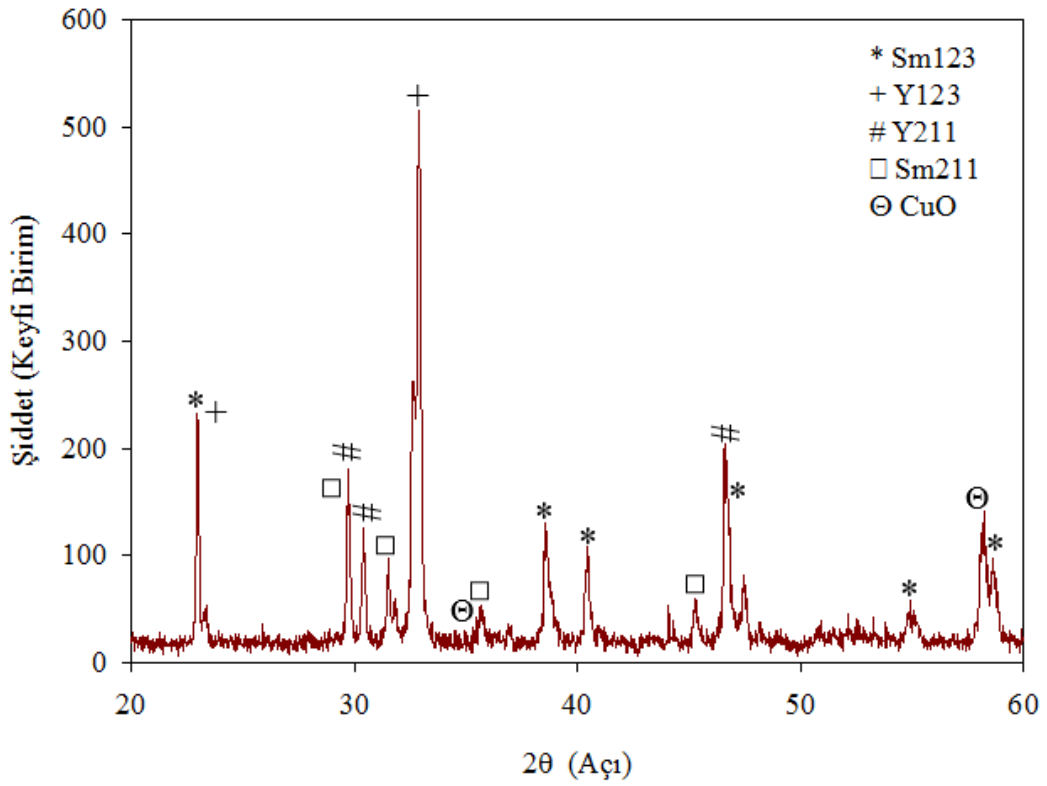
Şekil 4.6. 0,5g tohum katkılı (GT5) numunenin X-ışını deseni



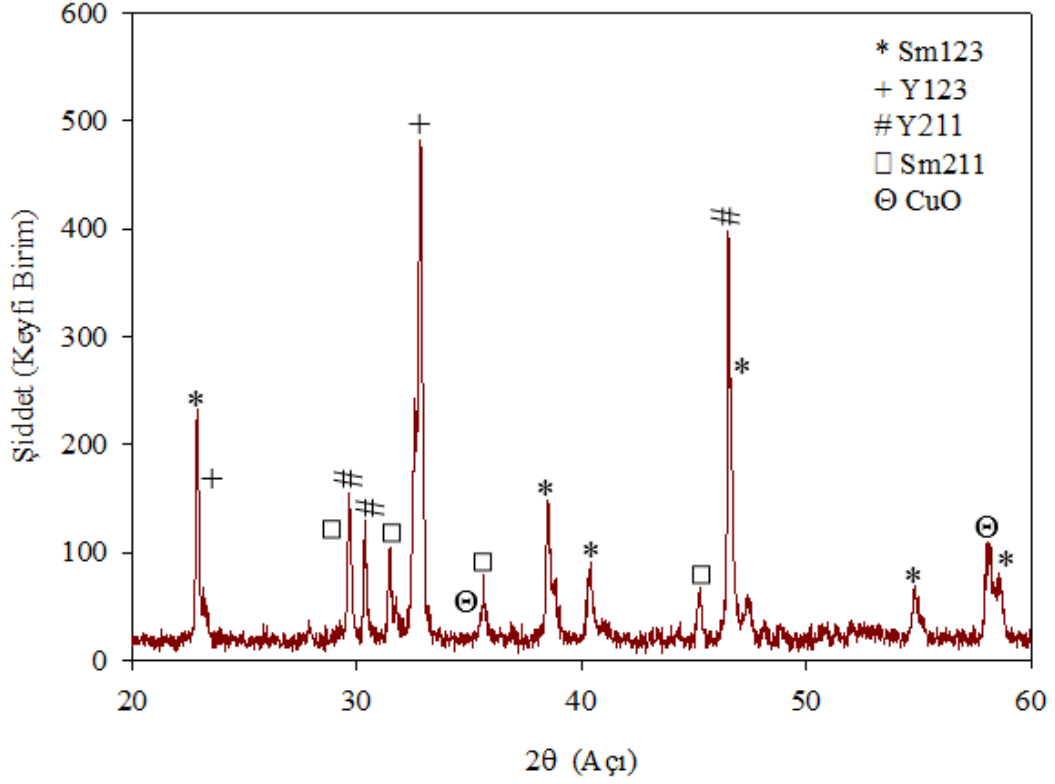
Şekil 4.7. 0,6g tohum katkılı (GT6) numunenin X-ışını deseni



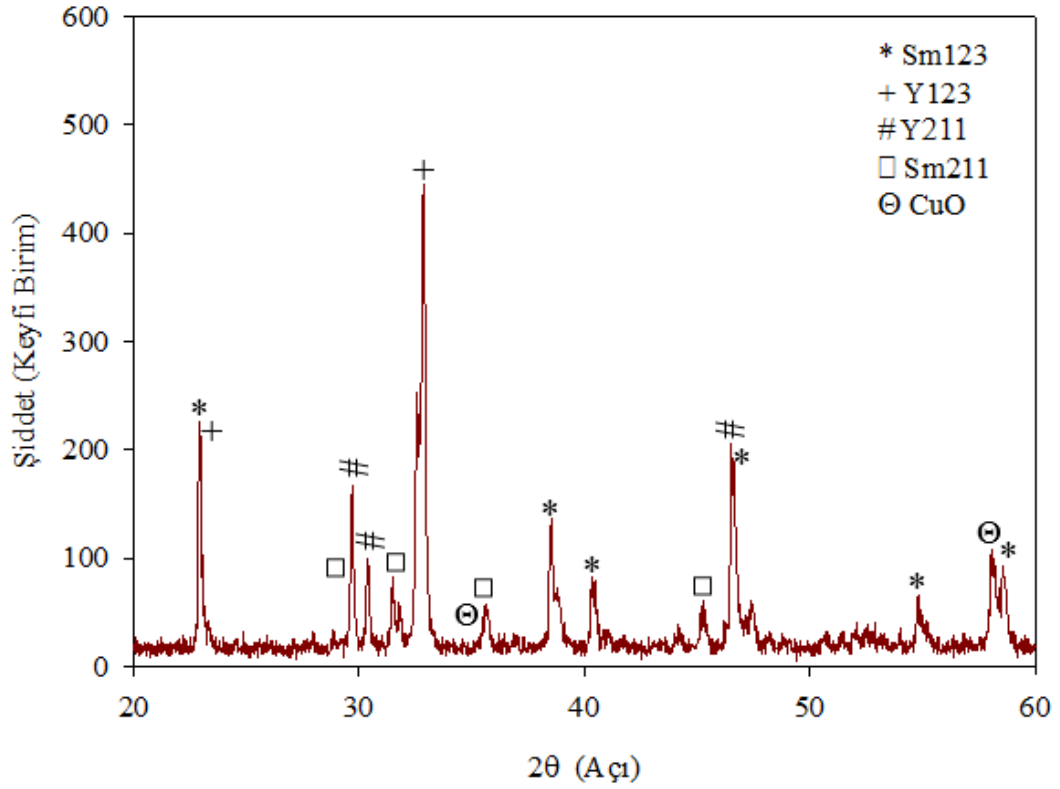
Şekil 4.8. 0,7g tohum katkılı (GTYS) numunenin X-ışını deseni



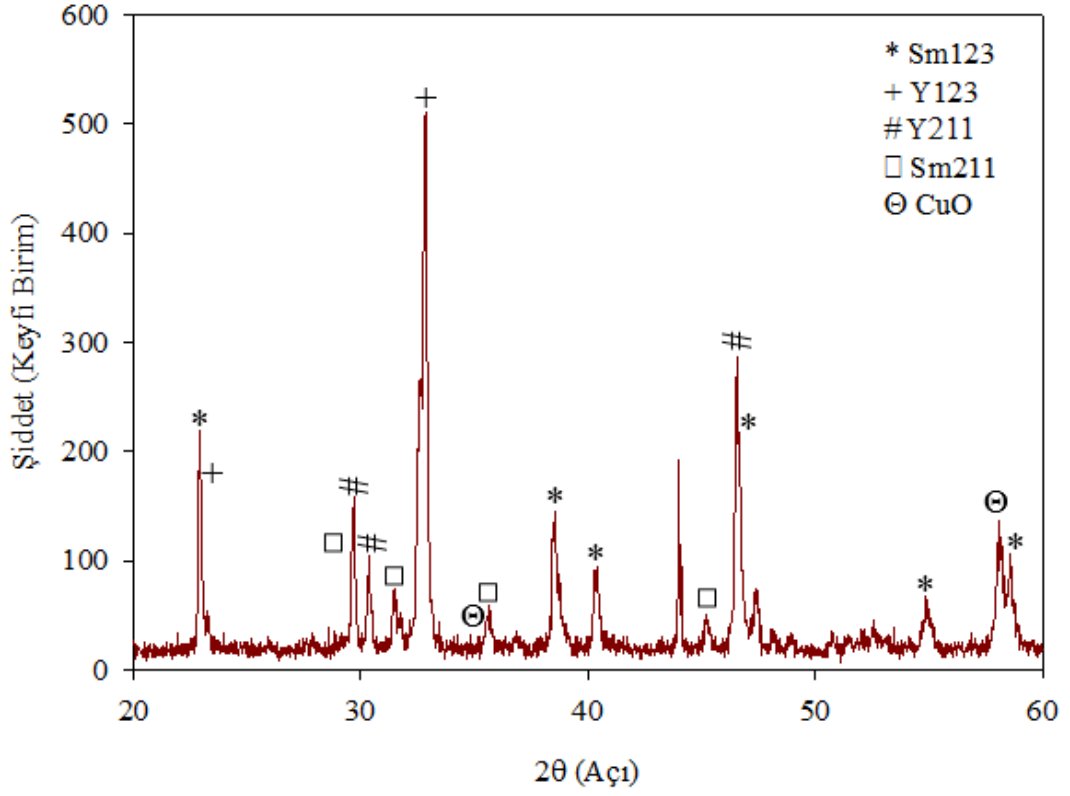
Şekil 4.9. 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra saf (GTYS) numunenin ölçülen X-ışını deseni



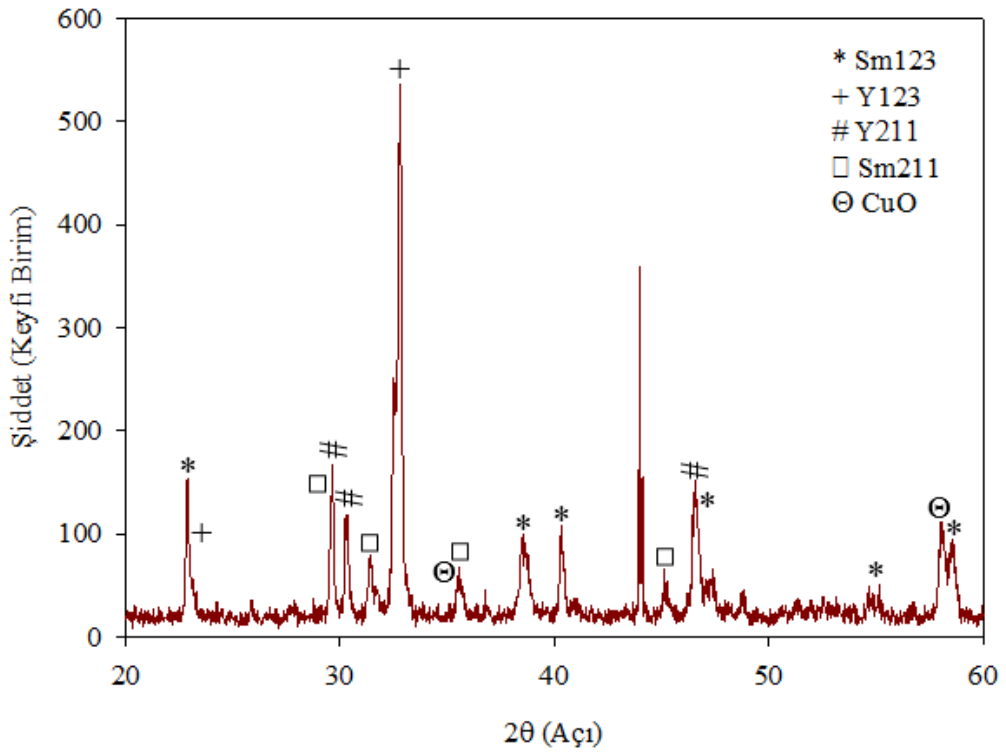
**Şekil 4.10.** 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,3g tohum katkılı (GTY3) numunenin ölçülen X-Işını deseni



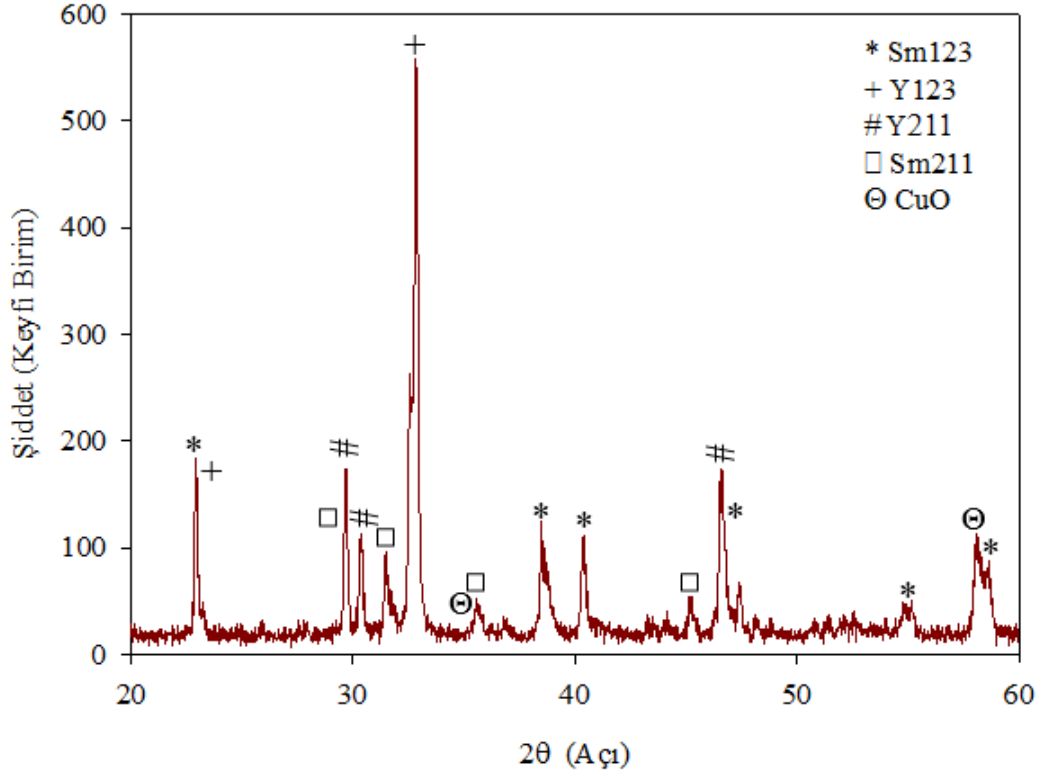
**Şekil 4.11.** 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,4g tohum katkılı (GTY4) numunenin ölçülen X-Işını deseni



**Şekil 4.12.** 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,5g tohum katkılı (GT5) numunenin ölçülen X-Işını deseni



**Şekil 4.13.** 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,6g tohum katkılı (GT6) numunenin ölçülen X-Işını deseni



**Şekil 4.14.** 600 °C de 12 saat oksijen ortamında bırakıldıktan sonra 0,7g tohum katkılı (GTY7) numunenin ölçülen X-Işını deseni

**Çizelge 4.1.** Literatürde Sm123, Y123, Sm211 ve Y211 X-Işını çalışan bilim adamları

Bilim Adanı (Adamları)	Çalışma Yılı
Young A Jee, vd.	1998
Alev Ateş	1998
Jia-Zhan Chen	2002
M. Boffa, vd.	2003
Y. Shi, vd.	2005
Ping-Chi Hsieh, vd.	2005
Kemal Öztürk	2006
Lijie Sun, vd.	2009
Alev Aydınmer, vd.	2011

Şekil 4.3-4.14’de görüleceği gibi poli kristal yapıya sahip Sm123+Y123 malzemelerinde kristal oluşumu ve bunlara ait pikler belirgin bir şekilde görülmektedir. Bulunan pikler saf Sm123, Y123, Sm211 ve Y211 yüksek sıcaklık süperiletkenine ait ve benzer ısı işleme tabi tutularak sinterleme işlemi yapıldı ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırıldı. Literatürdeki benzer sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar literatürle uyum içerisindedir.

**Çizelge 4.2.** Numunelerin örgü parametreleri ve kristal yapıları

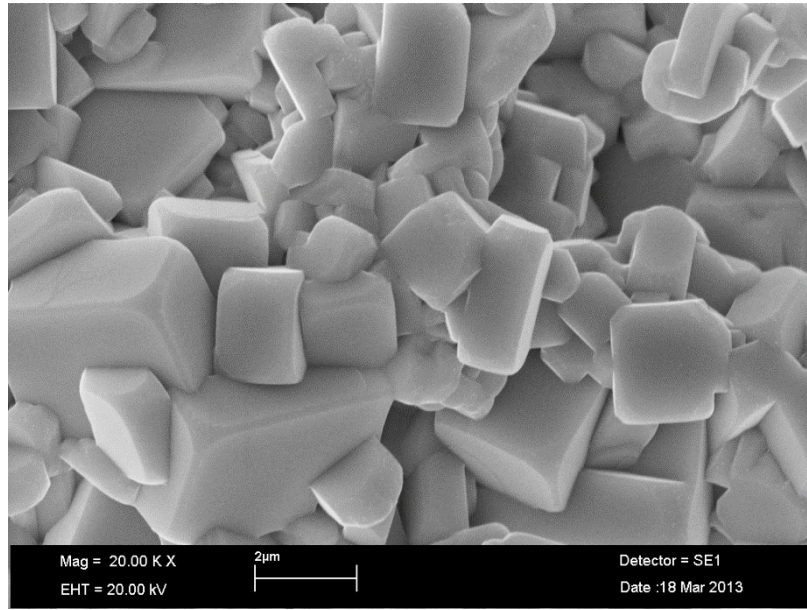
Numune Adı	Kristal Yapısı	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Hücre Hacmi ( $\times 10^{-30} \text{ m}^3$ )
Sm123	Ortorombik	5.6076	4.0889	20.8734	478.612
	Tetragonal	20.4164	20.4164	4.5974	1916.34
GTYS	Tetragonal	9.4310	9.4310	37.7740	3359.76
GTY3	Ortorombik	14.7520	24.1840	4.3951	1568.01
GTY4	Ortorombik	12.1950	36.7400	3.9510	1770.22
GTY5	Ortorombik	14.7520	24.1840	4.3951	1568.01
GTY6	Ortorombik	12.1950	36.7400	3.9510	1770.22
GTY7	Ortorombik	12.1950	36.7400	3.9510	1770.22

X-Işını desenleri analiz edilerek, örgü parametreleri ve kristal yapı hakkındaki bilgilerde Çizelge 4.2 de verilmiştir. Sonuçlara göre oluşan genel yapının tetragonal ve çoğunlukla ortorombik birim örgü hücresi şeklinde olduğu görülmektedir ki bu da süperiletkenlik için en uygun örgü yapısıdır.

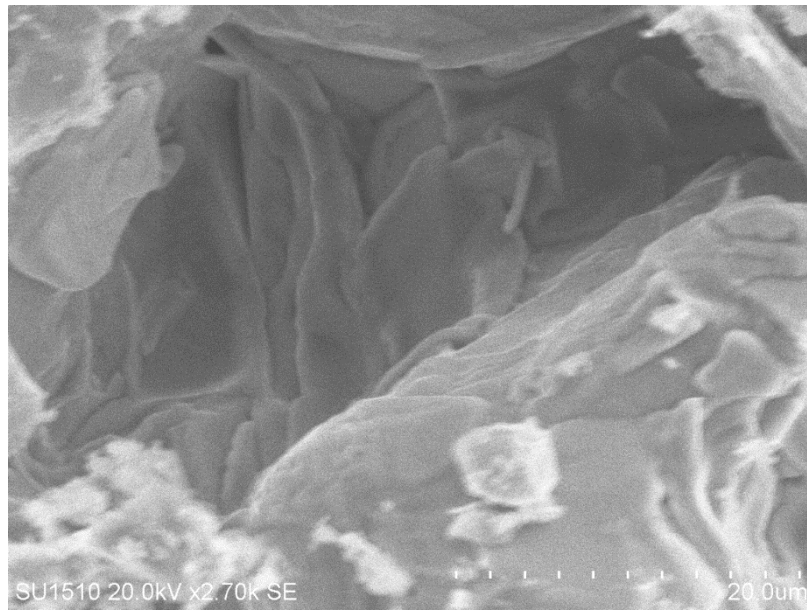
### 4.3. Elektron Mikroskop (SEM) Fotoğraf Sonuçları

Yüksek sıcaklık süperiletkenlerinde tane yapıları iki şekilde büyüme gösterir, bunlar ya iğnemi ya da sütümsal yapılardır. Tabakalı süperiletkenlerde kristal büyütme tekniğine bağlı olarak genellikle sütümsal büyütme görüldüğü rapor edilmektedir. Fotoğraf 4.1 de Sm123 ana yapısını oluşturan  $\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.2}\text{O}_y$  bileşiğinin SEM fotoğrafı

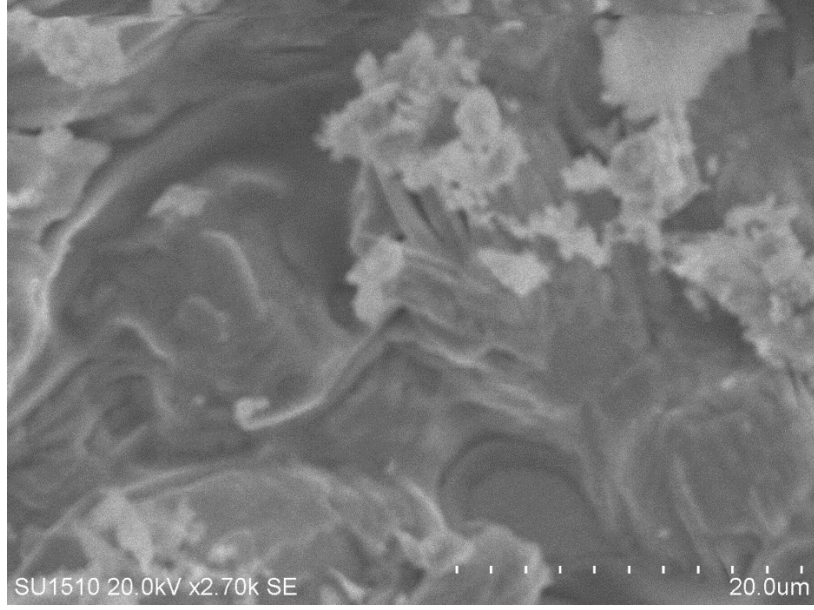
görülmektedir. Fotoğraftan da görüleceği gibi Sm123 yapısı sütünsal büyüme göstermiş ve bu sütünsal yapı tabakalar halinde üst üste binerek oluşmuştur. En küçük tane boyutu 1µm civarında iken en büyük tane uzunluğu yaklaşık 4 µm civarında olmuştur. Sem fotoğrafının çekimlerinde, üretilen parça üstel ve yanal olarak fotoğraflanmış. En iyi ve en belirgin görüntü ise numunenin deformasyon oluşturmadan iki parçaya ayrılmasıyla elde edilen yan yüzeyinden alınmıştır. Literatürde de benzer SEM fotoğrafları Sm123, yapısı için Çizelge 4.3’de verilmiştir.



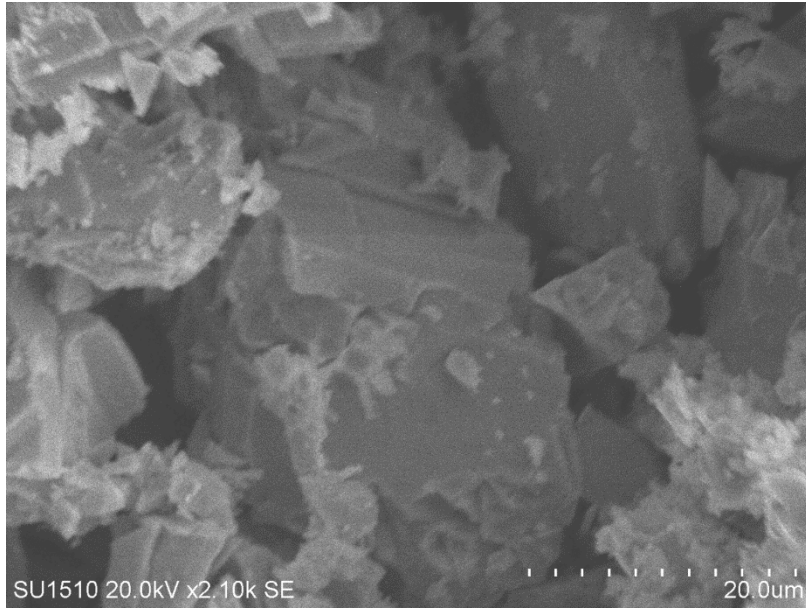
**Fotoğraf 4.1.**  $Sm_{1,46}Ba_{1,54}Cu_{3,2}O_y$  yapılı bileşiğin SEM görüntüsü



**Fotoğraf 4.2.** Saf (GTYS) numunenin SEM görüntüsü

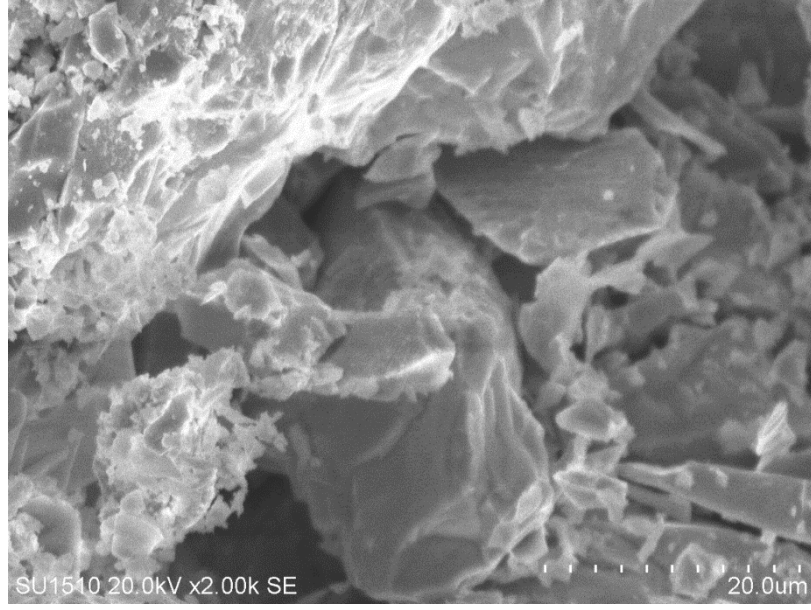


**Fotoğraf 4.3.** Oksijensiz 0,3 g tohum katkılı (GTY3) numunenin SEM görüntüsü

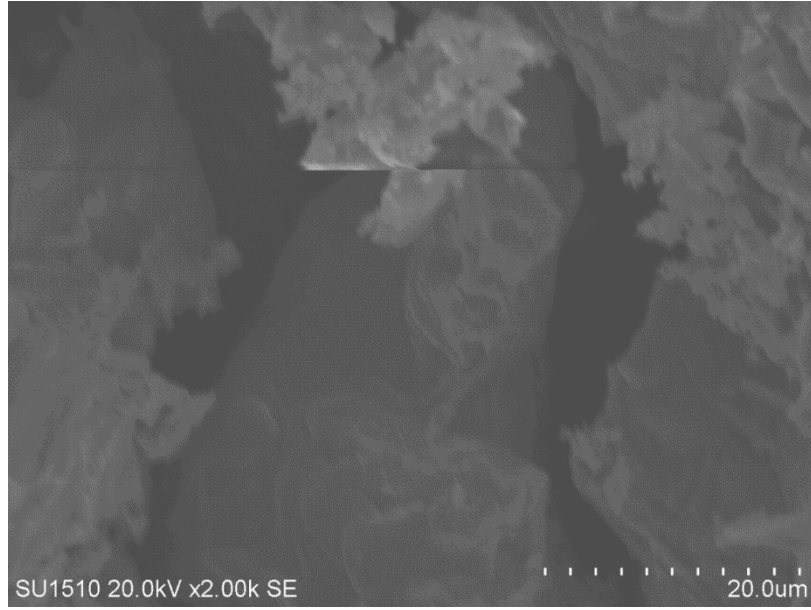


**Fotoğraf 4.4.** Oksijensiz 0,4 g tohum katkılı (GTY4) numunenin SEM görüntüsü

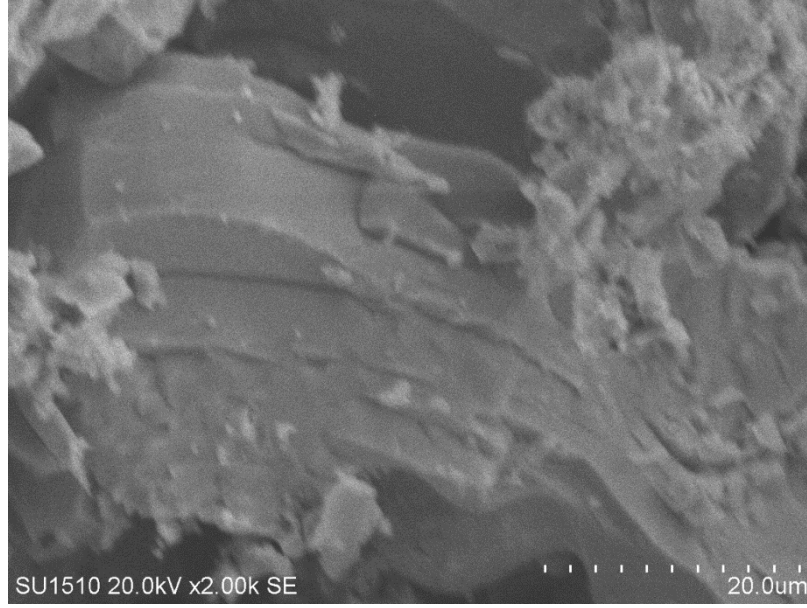




**Fotoğraf 4.5.** Oksijensiz 0,5 g tohum katkılı (GTY5) numunenin SEM görüntüsü

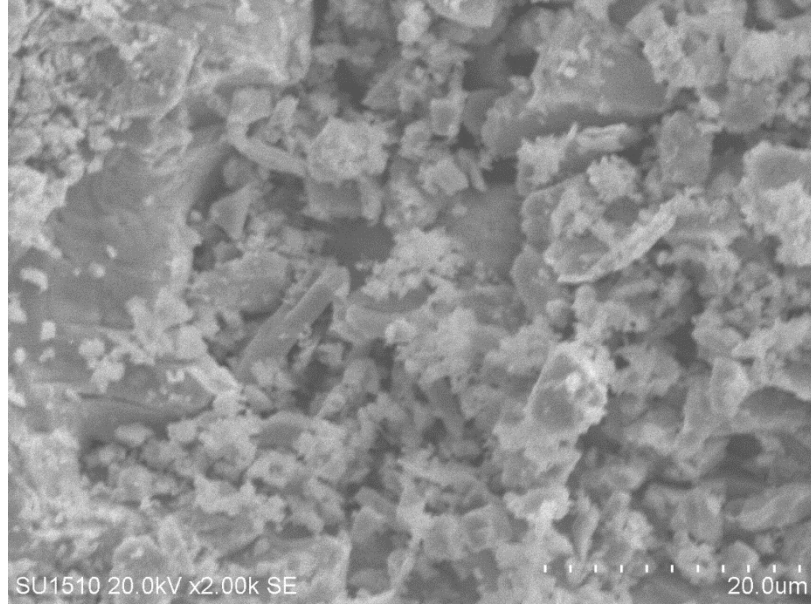


**Fotoğraf 4.6.** Oksijensiz 0,6 g tohum katkılı (GTY6) numunenin SEM görüntüsü

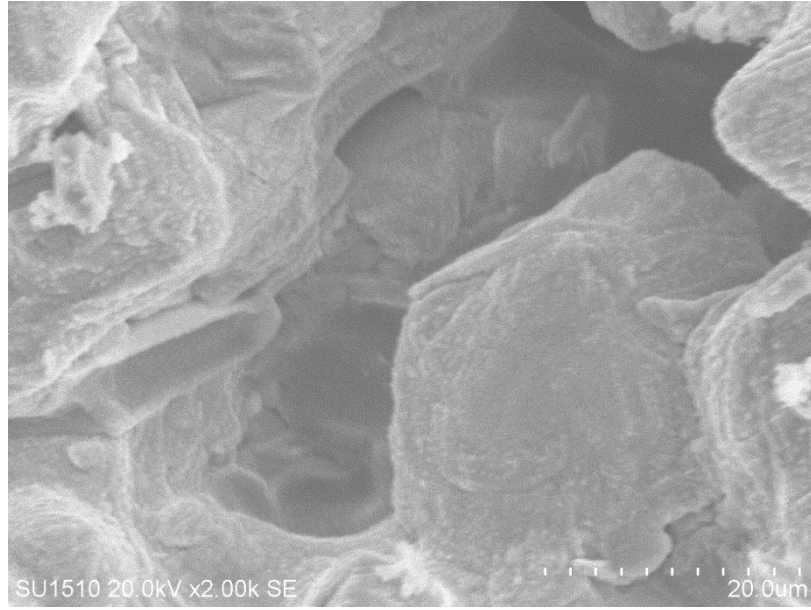


**Fotoğraf 4.7.** Oksijensiz 0,7 g tohum katkılı (GTY7) numunenin SEM görüntüsü

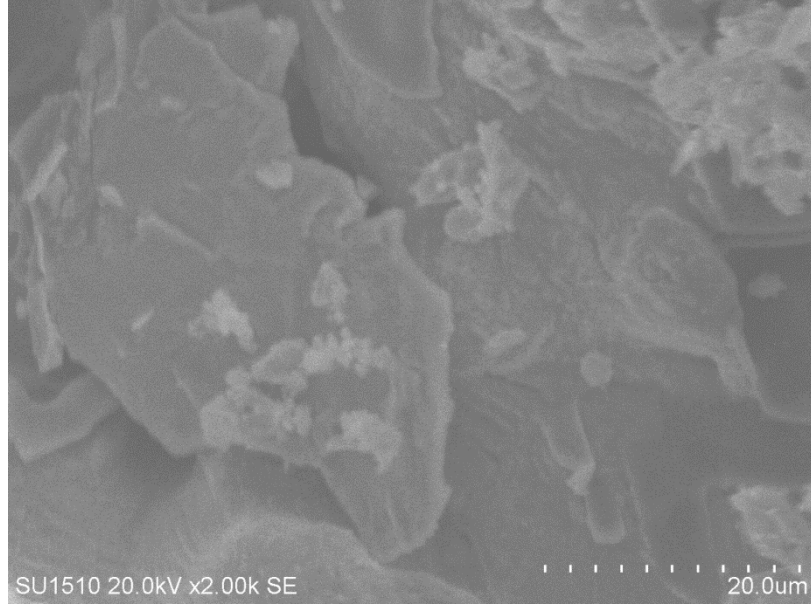
Tohum olarak  $\text{Sm}_{1.46}\text{Ba}_{1.54}\text{Cu}_{3.2}\text{O}_y$  (Sm123) ana yapısı kullanılan ve %50 Sm123+ % 50 Y123 bileşiğinin içine 0,3-0,7 g ağırlığında farklı tohum miktarları yerleştirilerek üretilen numunelerin, oldukça yüksek dayanıma sahip olmalarından dolayı sadece üst yüzeylerinden SEM çekimine uygun bölgelerinden elde edilmiş görüntüler Fotoğraf 4.2-4.7’de verilmiştir. SEM fotoğrafların dan da görüleceği gibi malzemelerin tabakalı olarak büyüdüğü ve bu tabakalar arasındaki boşluklu yapının da fazla olmadığı görülmektedir. Malzeme üst yüzeyinde görülen erimeler ve bu erimeler den dolayı açığa çıkan yüzeysel amorf oluşumların yapıda oluşması sebebiyle net SEM çekimine izin vermemektedir. Buna rağmen tabakalı olarak büyüyen süperiletkenlerin tane büyüklüklerinin saf Sm123’ e göre en küçük tanesinin  $4\mu\text{m}$  civarında en büyük tanesinin de yaklaşık olarak  $50\mu\text{m}$  civarında olduğu görülmektedir. Sonuçların literatürle uyumlu olduğu Çizelge 4.3’de verilmiştir.



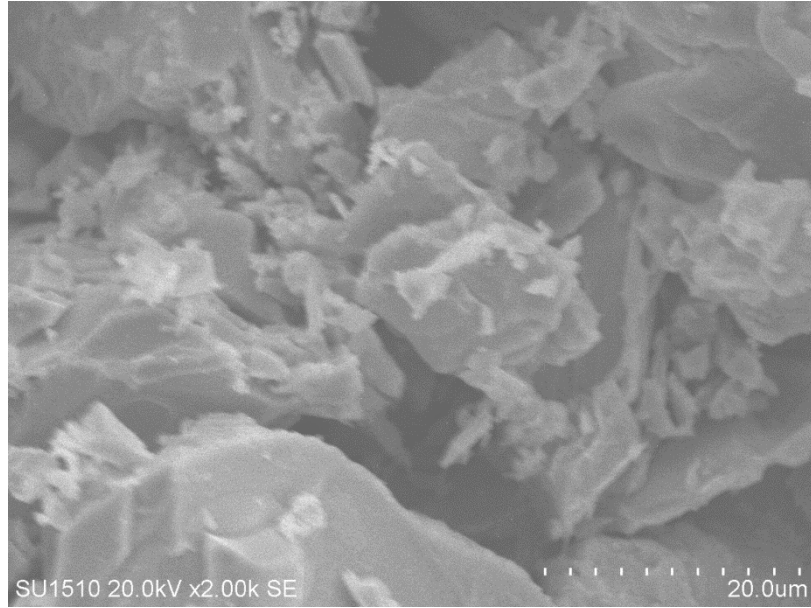
**Fotoğraf 4.8.** Oksijenli saf (GTYS) numunenin SEM görüntüsü



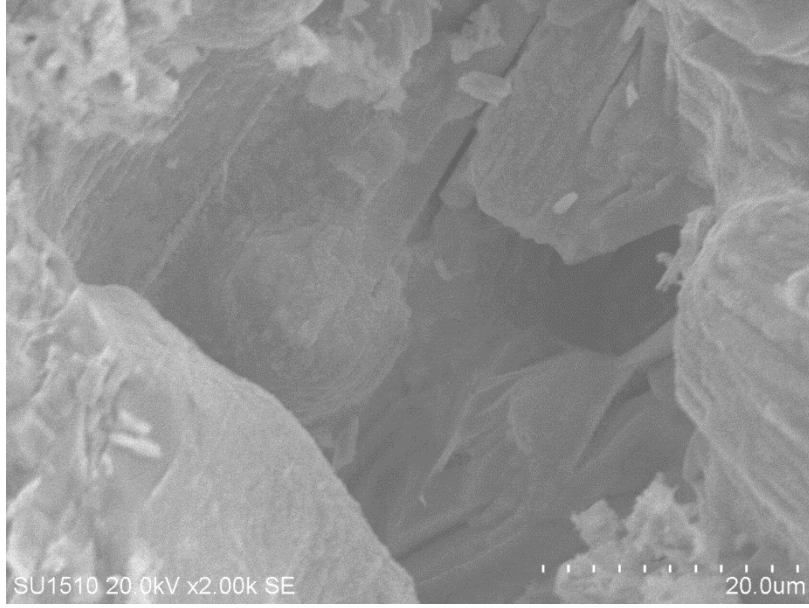
**Fotoğraf 4.9.** Oksijenli 0,3 g tohum katkılı (GTY3) numunenin SEM görüntüsü



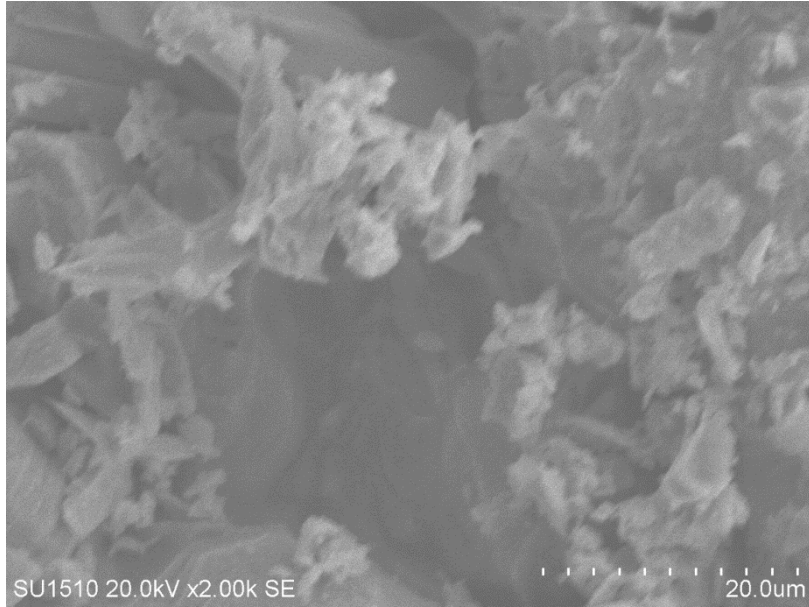
**Fotoğraf 4.10.** Oksijenli 0,4 g tohum katkılı (GTY4) numunenin SEM görüntüsü



**Fotoğraf 4.11.** Oksijenli 0,5 g tohum katkılı (GTY5) numunenin SEM görüntüsü



**Fotoğraf 4.12.** Oksijenli 0,6 g tohum katkılı (GTY6) numunenin SEM görüntüsü



**Fotoğraf 4.13.** Oksijenli 0,7 g tohum katkılı (GTY7) numunenin SEM görüntüsü

**Çizelge 4.3.** Literatürde Sm123, Y123, Sm211 ve Y211 SEM çalışan bilim adamları

Bilim Adamları	Çalışma Yılı
Jian Hu, vd.	2005
D. Grossin, vd.	2005
S. Nariki, vd.	2007
Xing-da Wu, vd.	2008
Xing-da Wu, vd.	2009
S. Umakoshi, vd.	2011
Nobuyoshi Sakamoto ve Tadahiro Akune	2011
B.-H. Jun, vd.	2011

Tohum olarak  $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.2}O_y$  (Sm123) ana yapısı kullanılan ve %50 Sm123+ % 50 Y123 bileşiğinin içine 0,3-0,7 g ağırlığında farklı tohum miktarları yerleştirilerek üretilen numunelere 600 °C de 12 saat oksijen ortamında tavlandıktan sonra çekilen SEM görüntüleri Fotoğraf 4.8-13 de verilmiştir. Oksijen vermeyle birlikte tabakalı yapıdaki süperiletkenin boşluklarının azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte tanelerin boyutunun en küçük 10 µm ile en büyük 60 µm olduğu görülmektedir. Sonuçların literatürle uyumlu olduğu Çizelge 4.3’de görülmektedir.

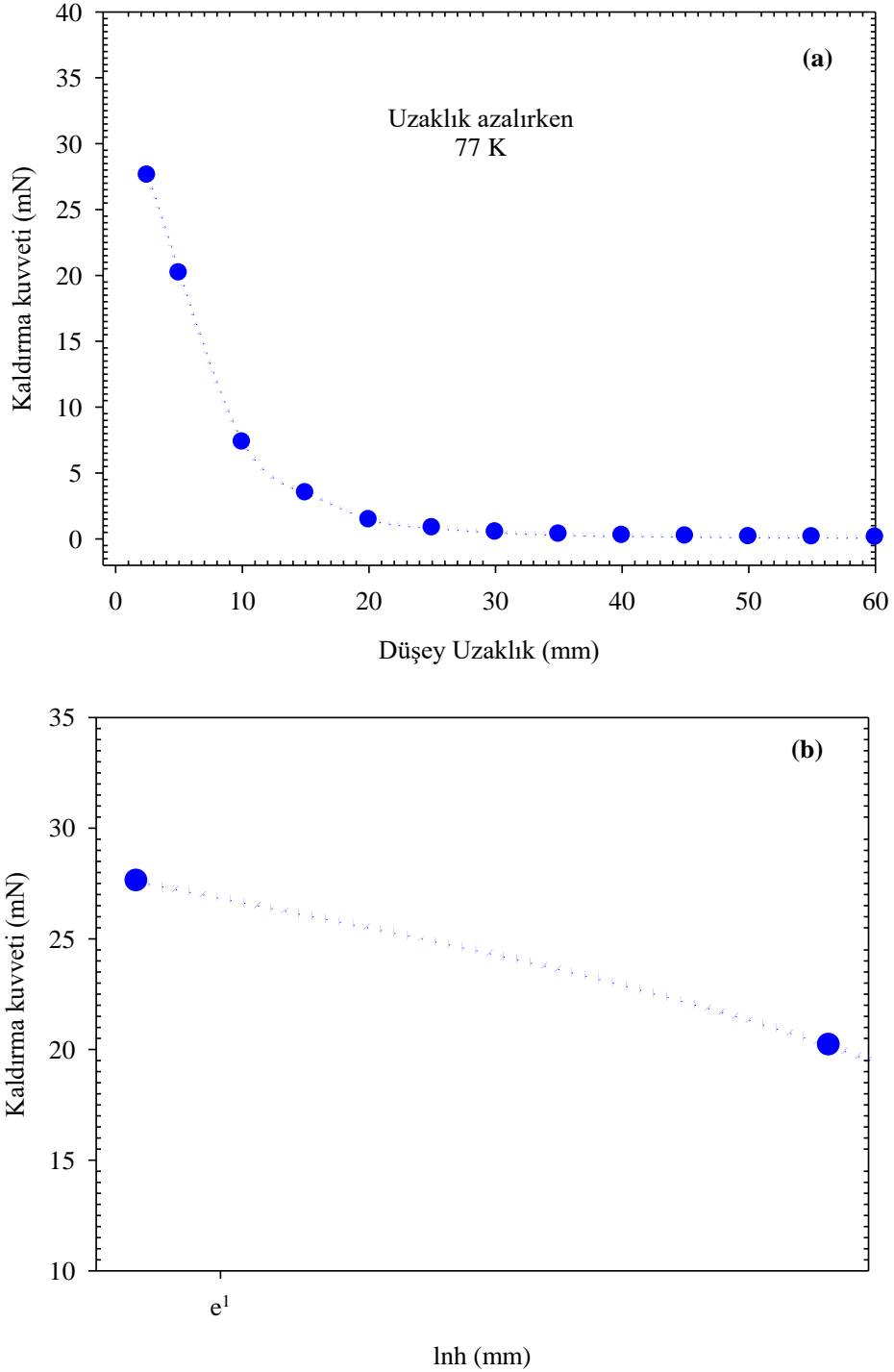
#### 4.4. Kaldırma Kuvveti ve Manyetik Alınganlık Sonuçları

Tohum olarak  $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.2}O_y$  (Sm123) ana yapısı kullanılan ve %50 Sm123+ % 50  $Y_1Ba_2Cu_3O_y$  (Y123) bileşiğinin içine 0,3-0,7 g ağırlığında farklı tohum miktarları yerleştirilerek numunelerin üretimi, sinterleme yapıldı. Bu numunelerin sıvı azot (77 K) ortamında ölçülen kaldırma kuvvetinin uzaklıkla değişim şekilleri, süperiletken numune permanent magnete yaklaşırken ve uzaklaşırken Şekil 4.15-4.26’de verilmiştir.

Sinterlenmiş numuneler 600°C de 12 saat oksijen ortamında tavlandı. Sonrasında numunelerin sıvı azot (77K) ortamında ölçülen kaldırma kuvvetinin uzaklıkla değişim şekilleri Şekil 4.27-4.38’de verilmiştir. Oksijenle tavlama yapıldığında fırın içine verilen oksijen basıncı yaklaşık 1 MPa (1 bar) dır.

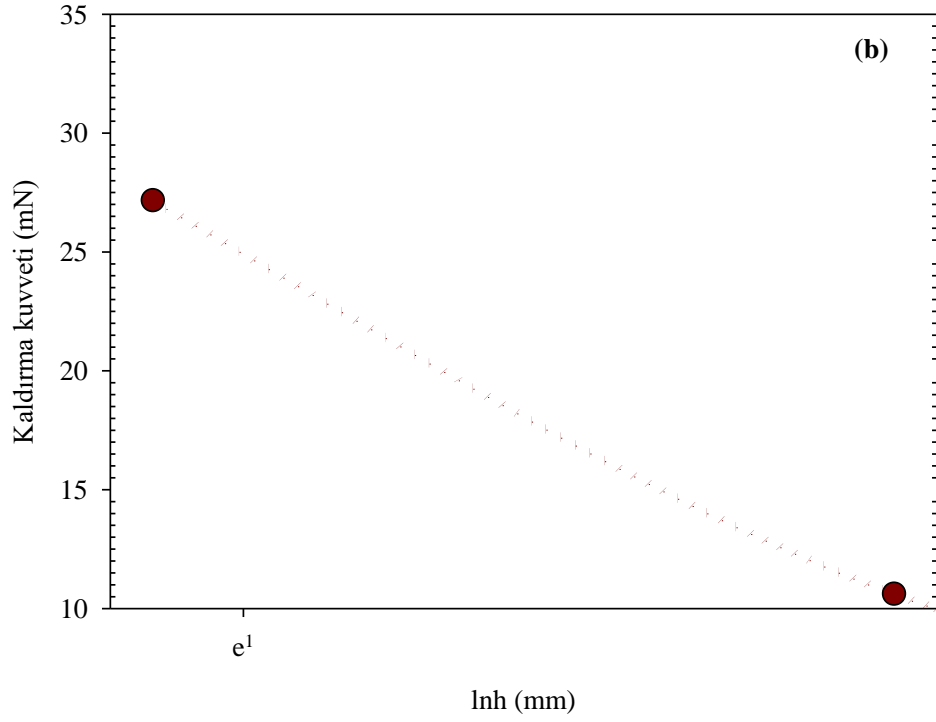
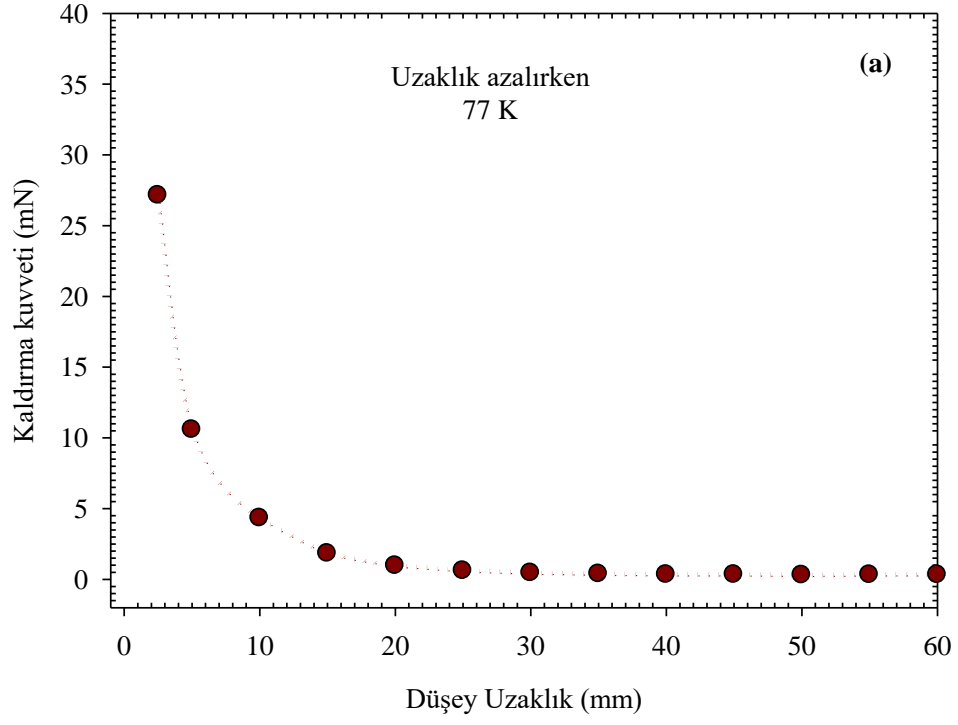
Bu şekillerde temel ölçüm prensibi süperiletken numune ile permanent magnet arasındaki mesafenin azalmasıyla ve artmasıyla alınan değerler görülmektedir. Şekillerden de görüleceği gibi mesafe yaklaşık olarak 30 mm civarına gelinceye kadar kaldırma kuvvetinin aynı değeri aldığı ve bu mesafeden daha düşük olan uzaklıklarda ise kaldırma kuvvetinin üstel şekilde arttığı görülmektedir. Bu artışı daha net bir şekilde gösterebilmek amacıyla permanent magnete süperiletken numunenin en yakın olduğu uzaklıklar için uzaklığın logaritması alınarak her bir değişimin ikinci bir grafiği (b) şekli olarak verilmiştir. Permanent magnete süperiletkenin en yakın mesafesi 2,5 mm dir.

**4.4.1. Sinterleme (hava ortamı) sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatis arasındaki uzaklık azalırken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları**

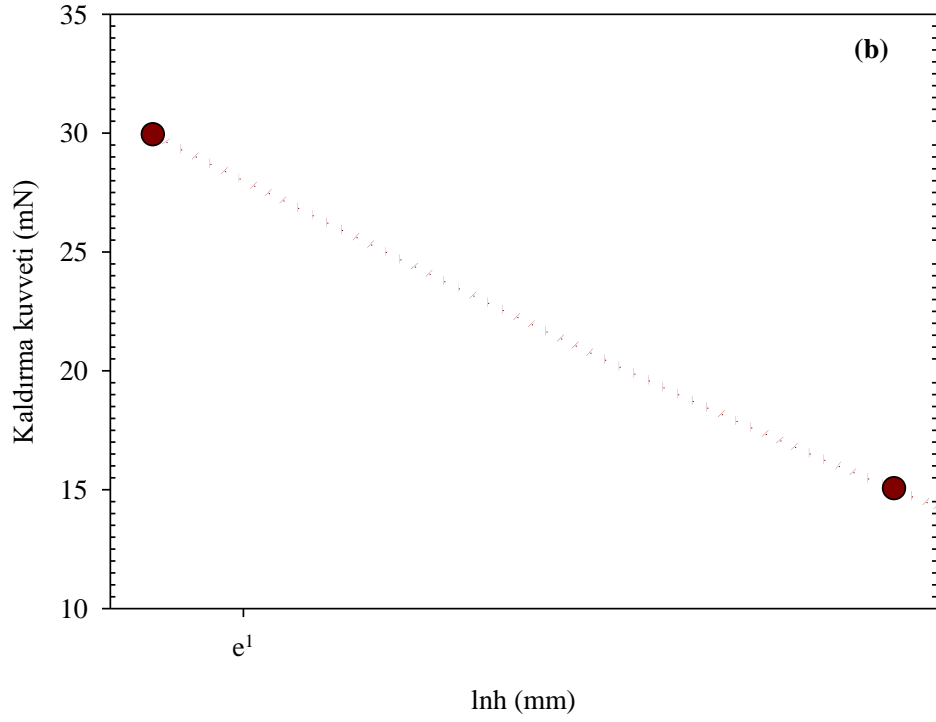
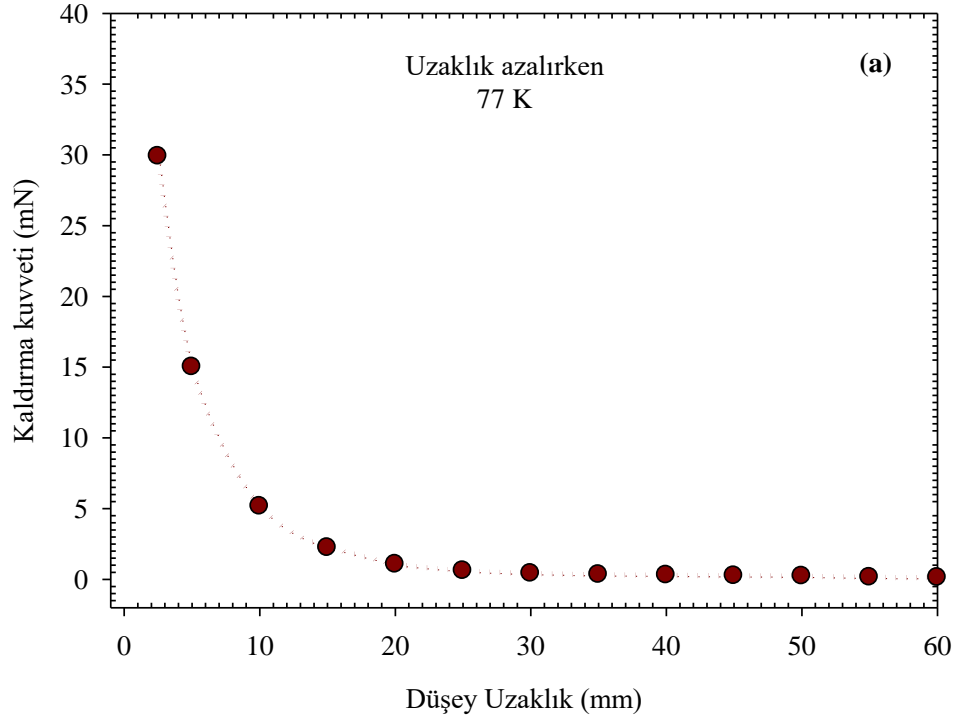


**Şekil 4.15.** Hava ortamında ÜTY ile üretilen numunenin mıknatisa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

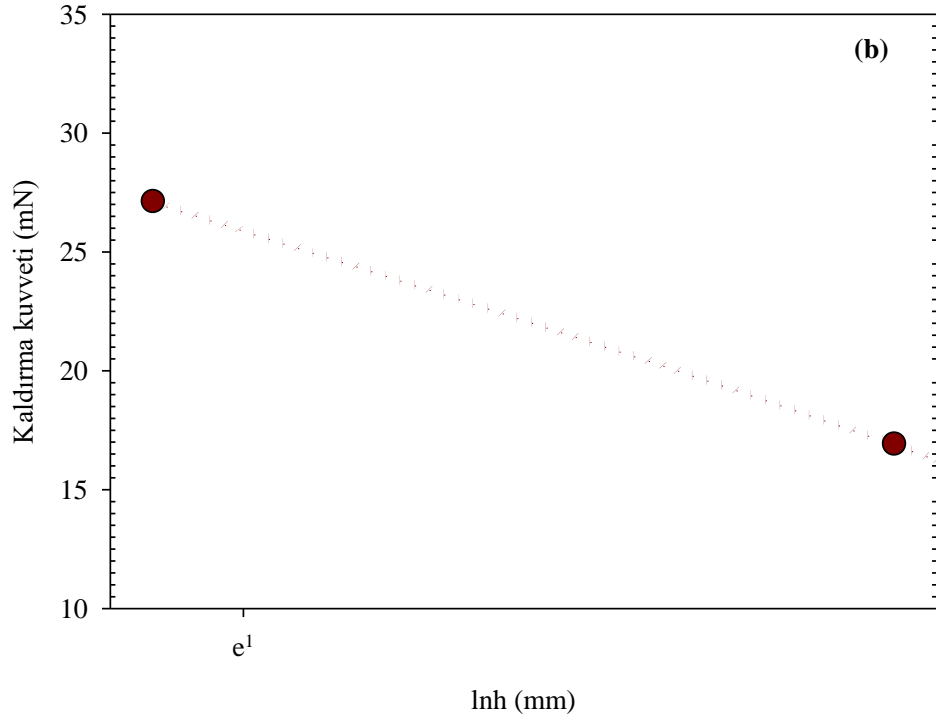
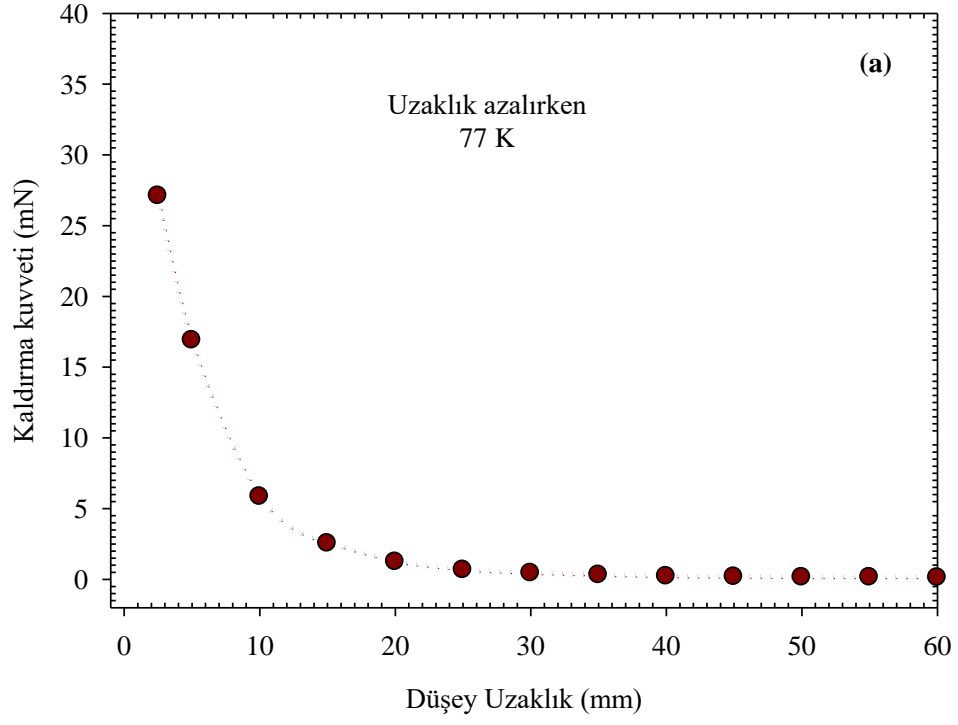




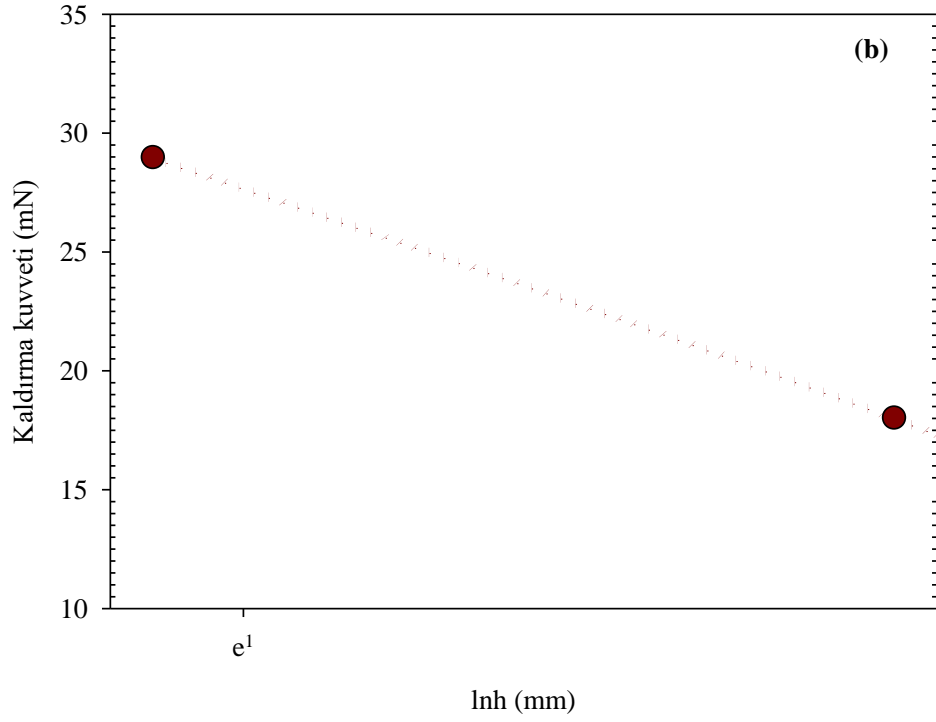
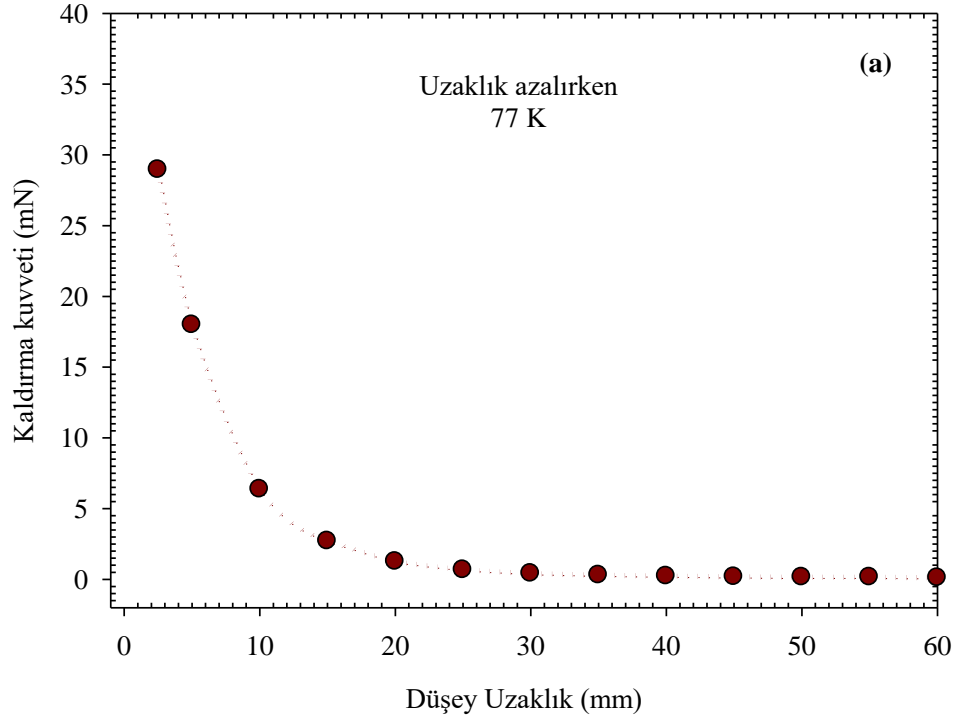
**Şekil 4.16.** Hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düsey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



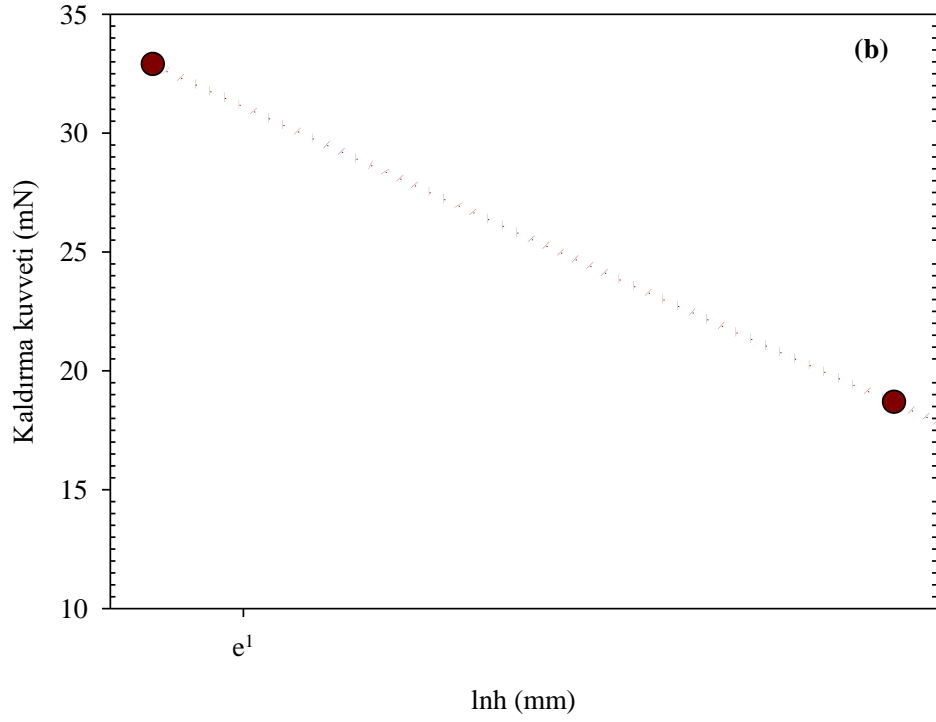
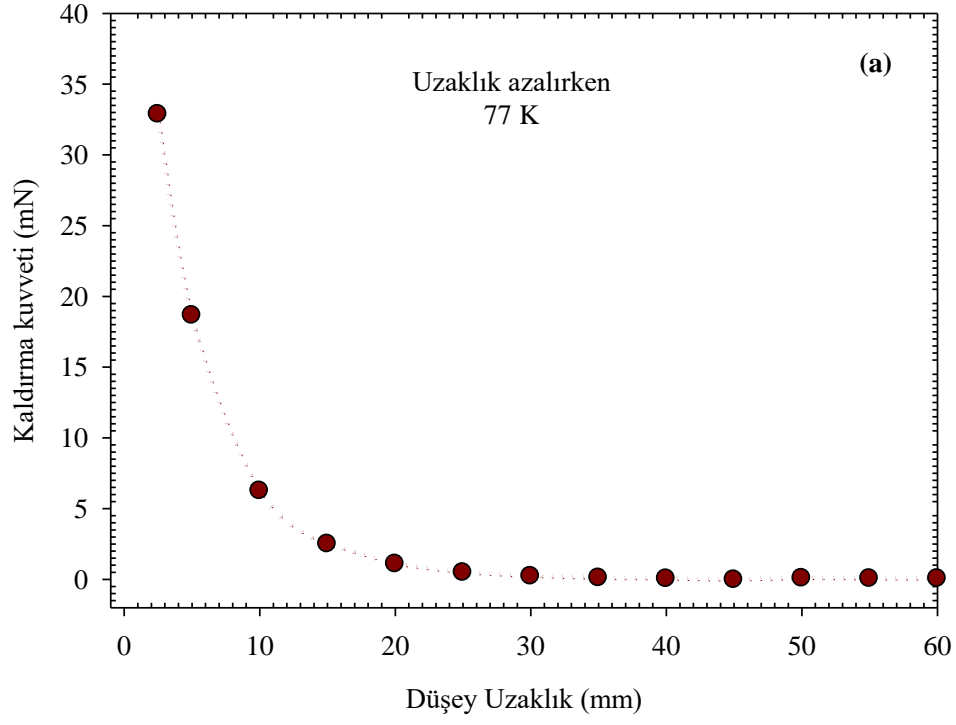
**Şekil 4.17.** Hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



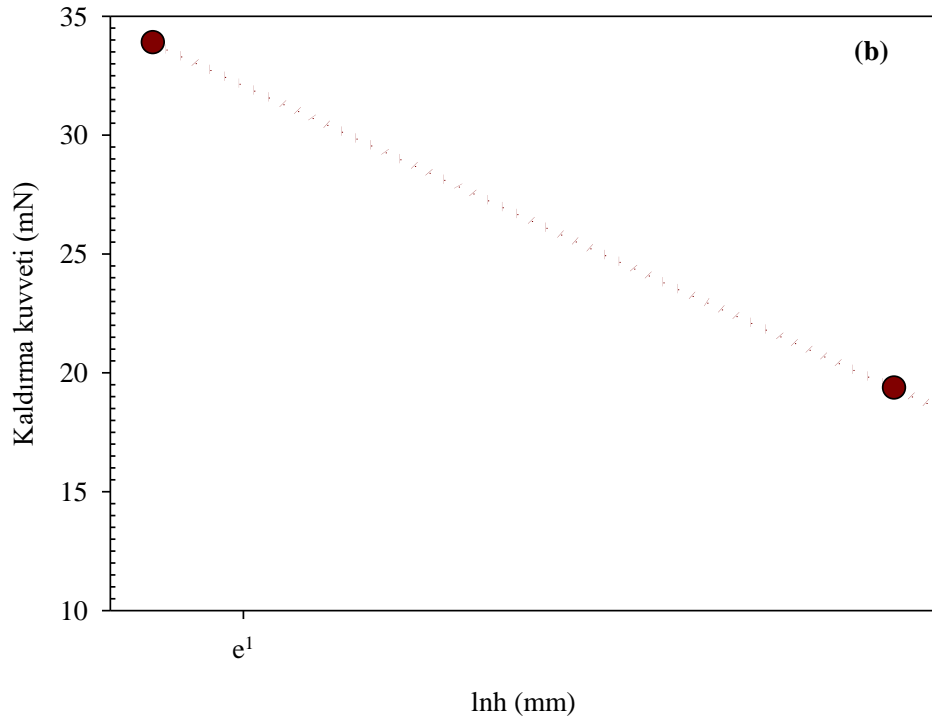
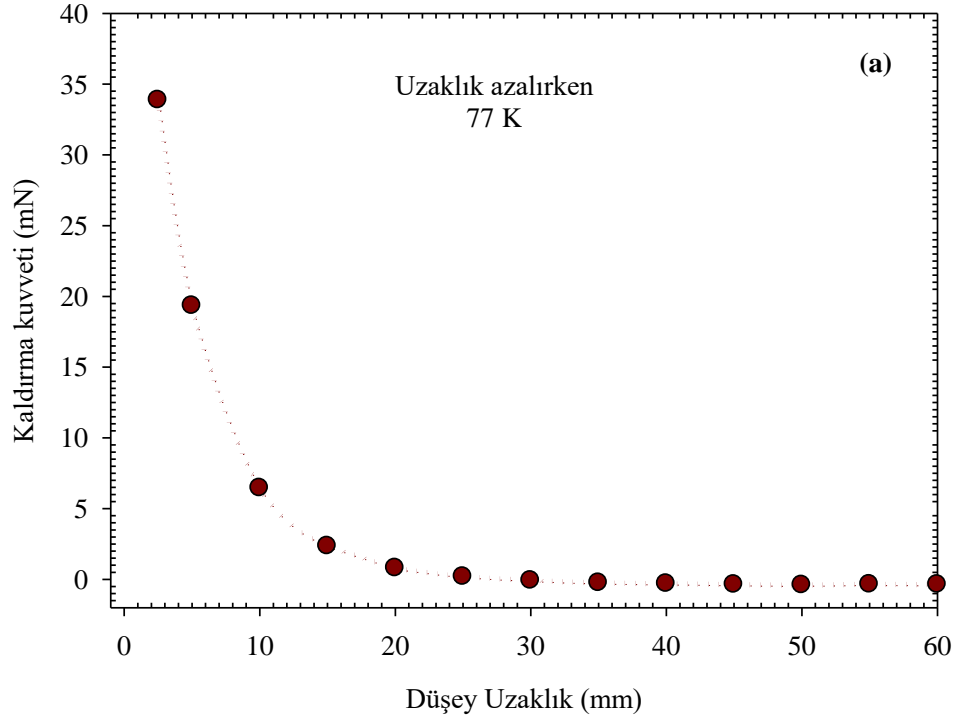
**Şekil 4.18.** Hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'ya bağlı değişimi



**Şekil 4.19.** Hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



**Şekil 4.20.** Hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'ya bağlı değişimi



**Şekil 4.21.** Hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi

Şekil 4.15. de hava ortamında üretilen ÜTY ile üretilen numunenin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh' a

bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.15.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken ÜTY numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,05'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,05 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **27,61 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.15 den görülmektedir.

Şekil 4.16 da hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.16.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTYS numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,01'lik artış değerlerini aldığı ve 0,08-0,44 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **27,12 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.16. den görülmektedir.

Şekil 4.17. de hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.17.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY3 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,05'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,08 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **29,90 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.17 den görülmektedir.

Şekil 4.18 de hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.18.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY4 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,15 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen

kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **27,09 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.18 den görülmektedir.

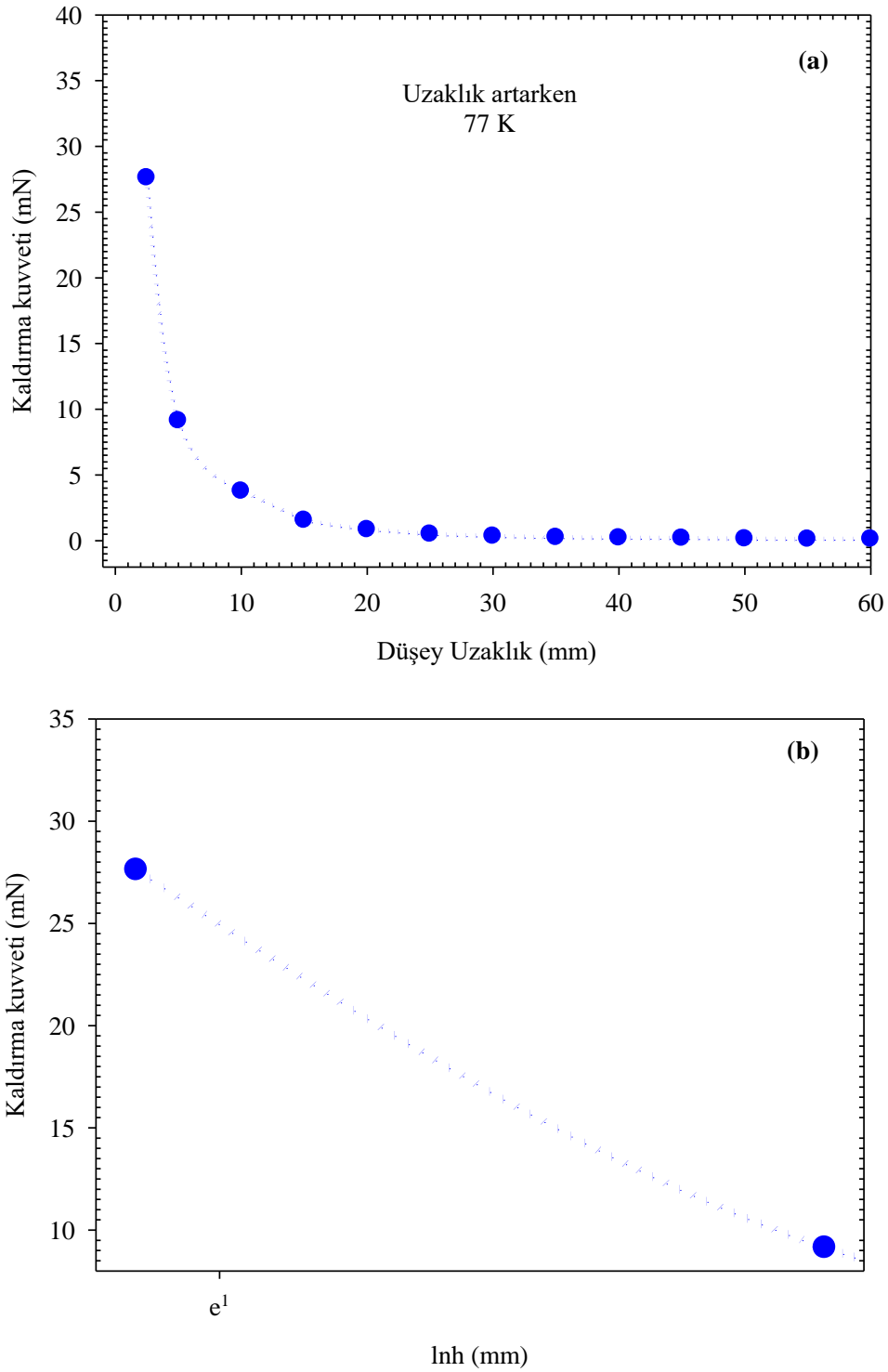
Şekil 4.19. da hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.19.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY5 numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,03'lik artış değerlerini aldığı ve 0.01-0.07 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **28,94 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.19 dan görülmektedir.

Şekil 4.20 de hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.20.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY6 numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı ve 0,01-0,10 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **32,85 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.20 den görülmektedir.

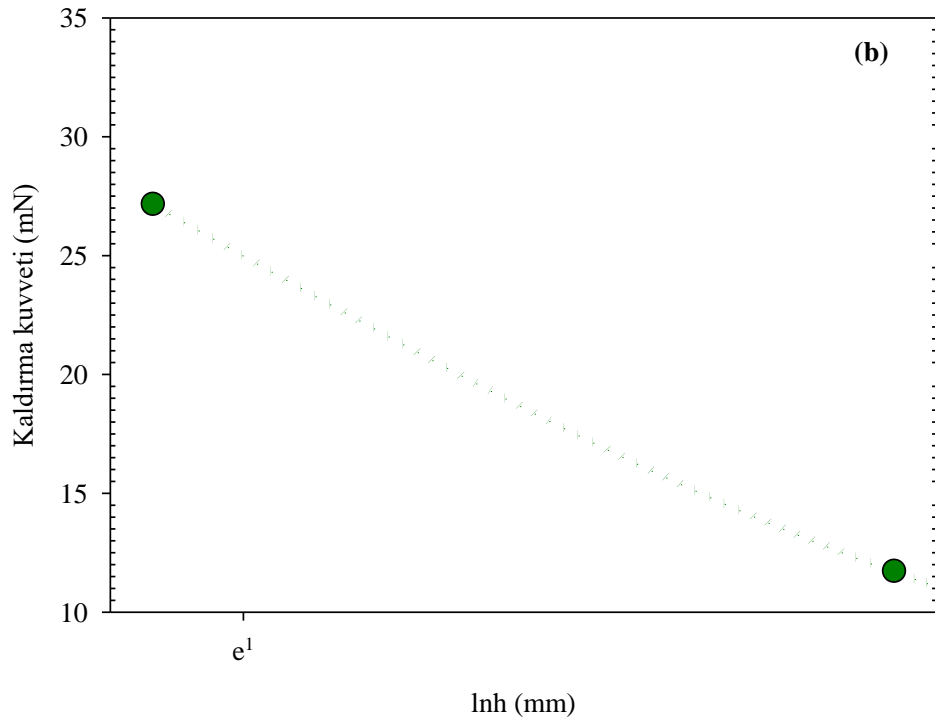
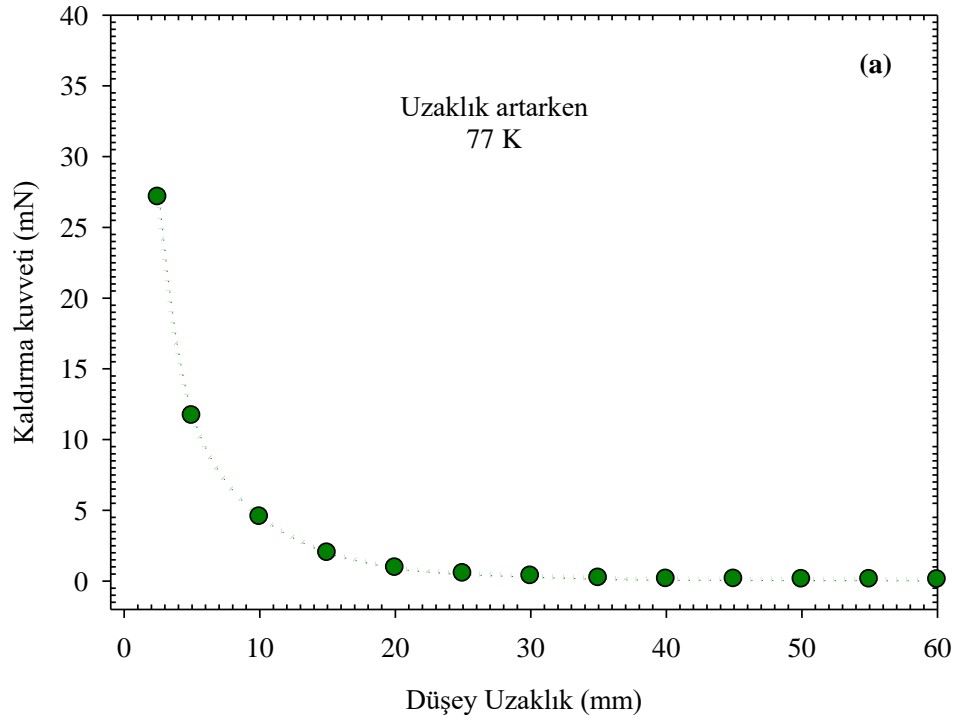
Şekil 4.21 de hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.21.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY7 numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 50 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı 50-30 mm arasında 0,03-0.15'lik düşüş ve 0,05-0,15 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **33,86 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.21 den görülmektedir.



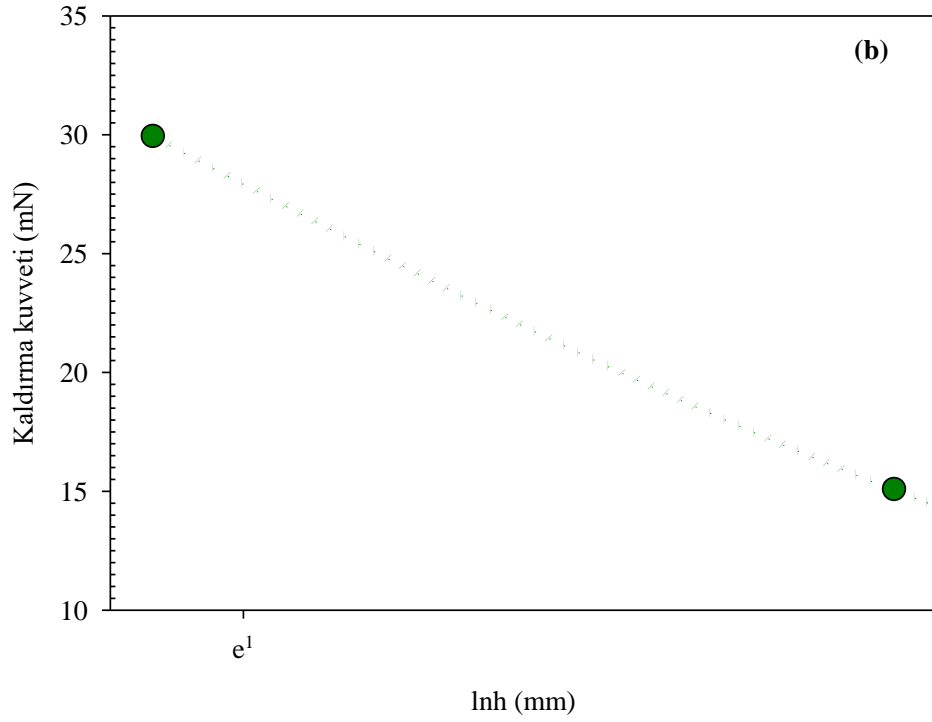
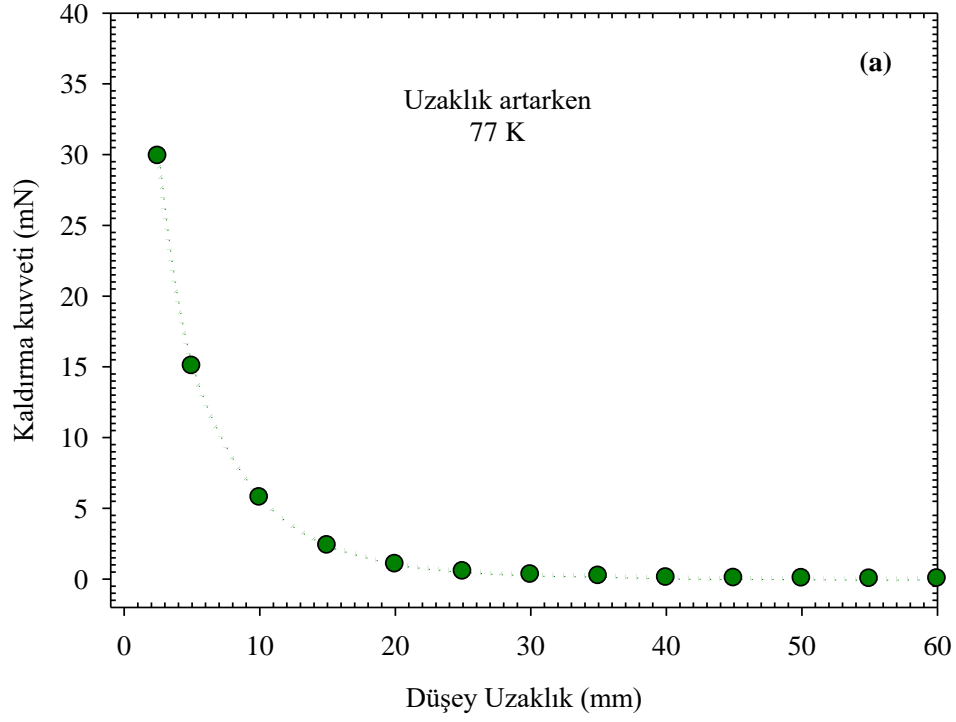
4.4.2. Sinterleme (hava ortamı) sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık artarken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları



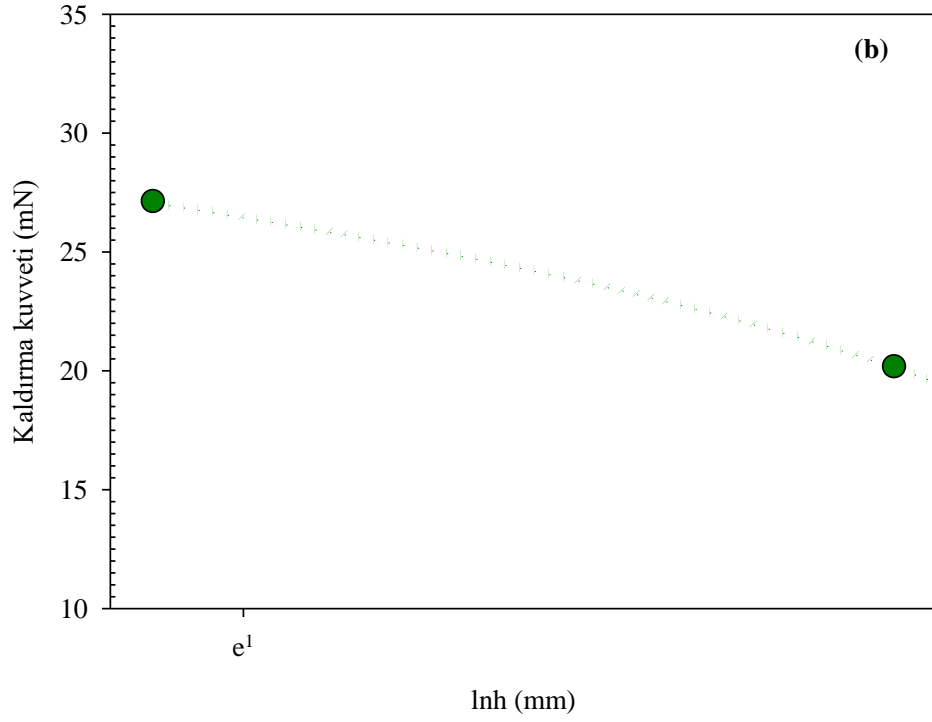
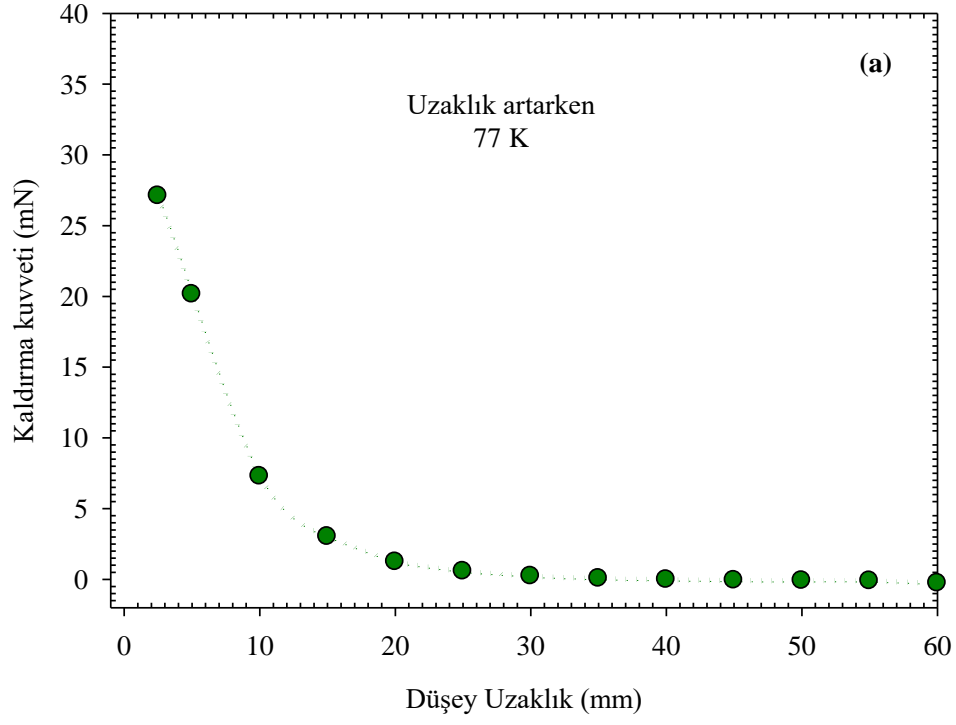
Şekil 4.22. Hava ortamında ÜTY ile üretilen numunenin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



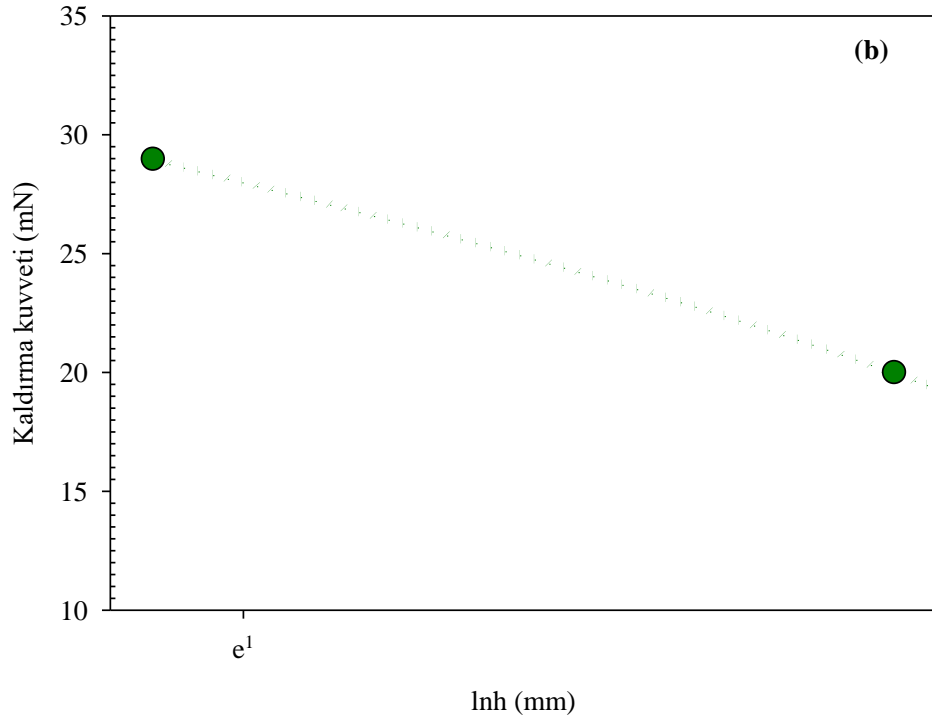
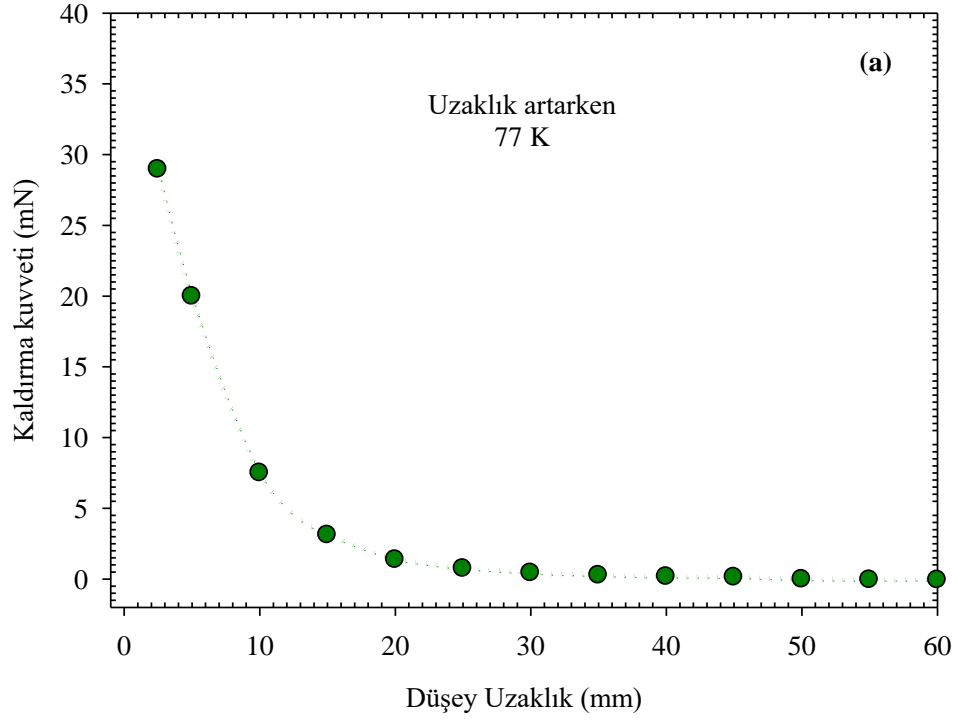
**Şekil 4.23.** Hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düsey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



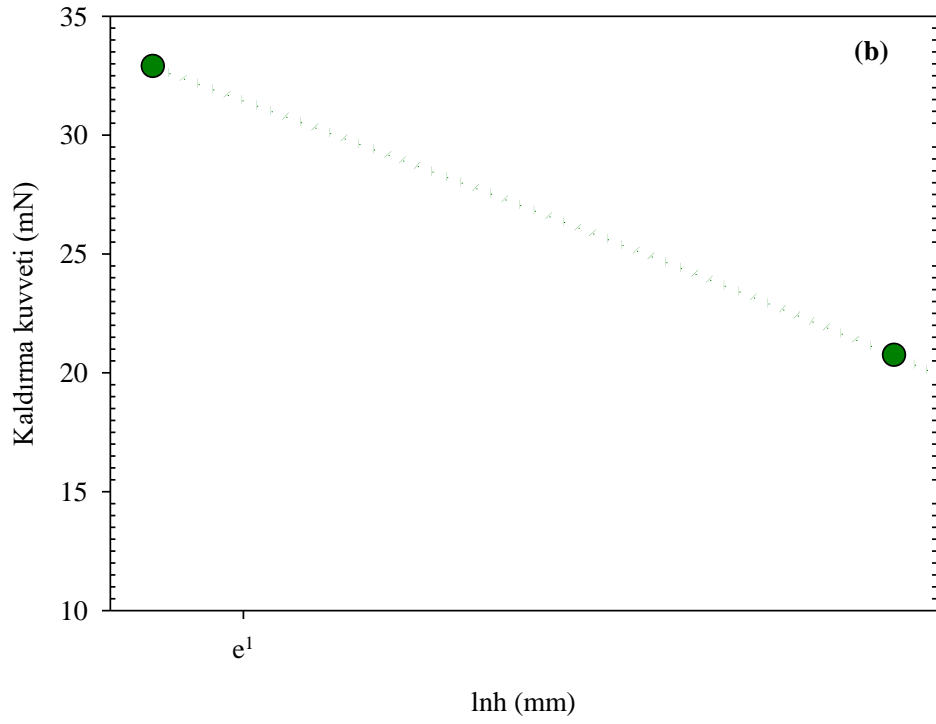
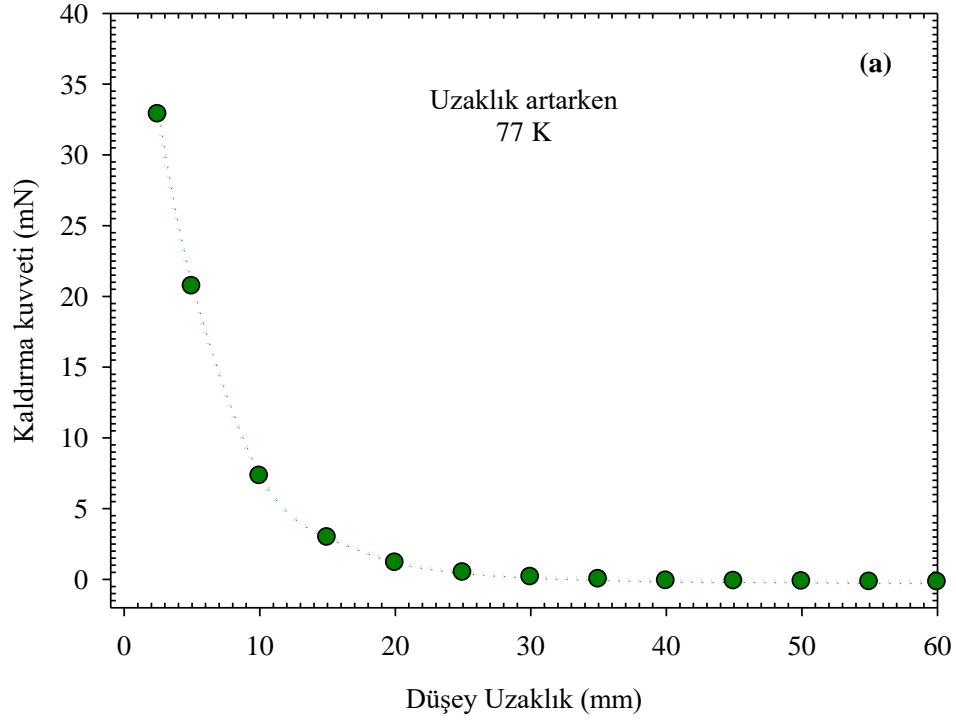
**Şekil 4.24.** Hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



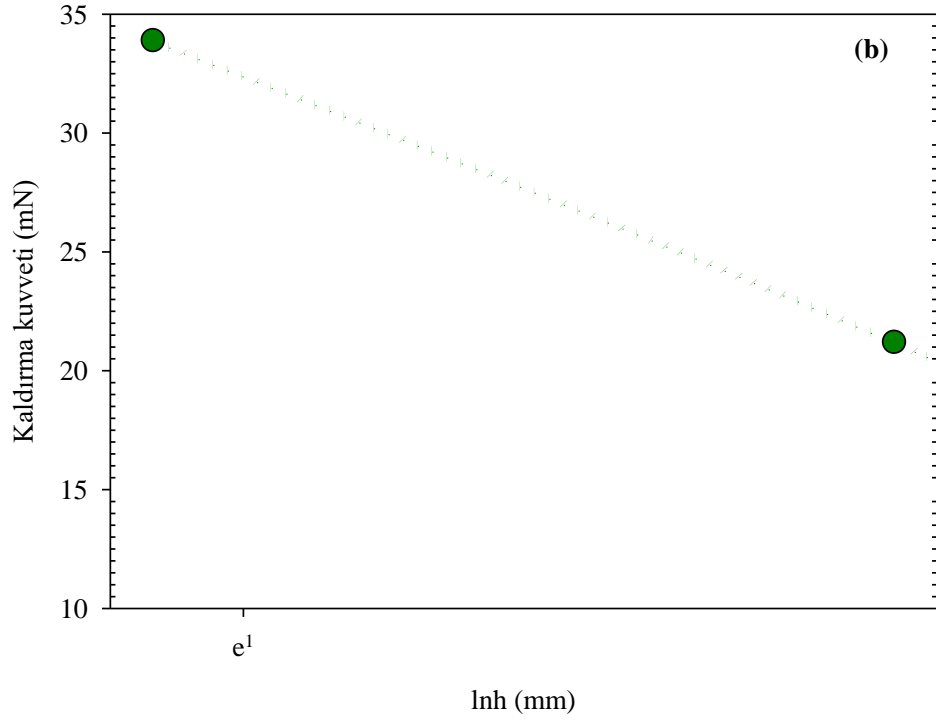
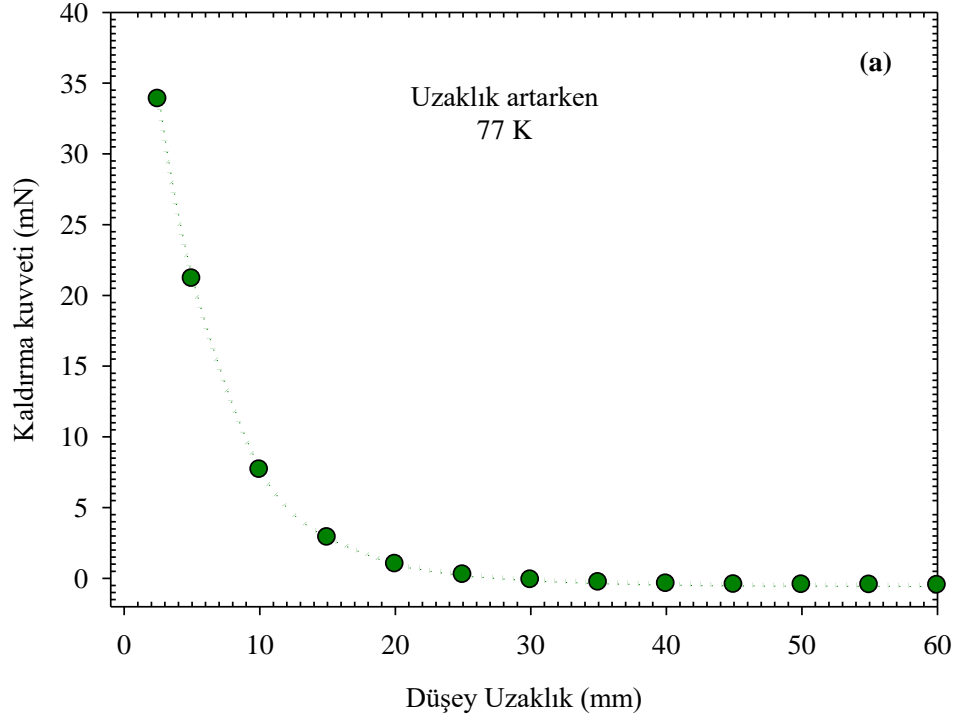
**Şekil 4.25.** Hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi



**Şekil 4.26.** Hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

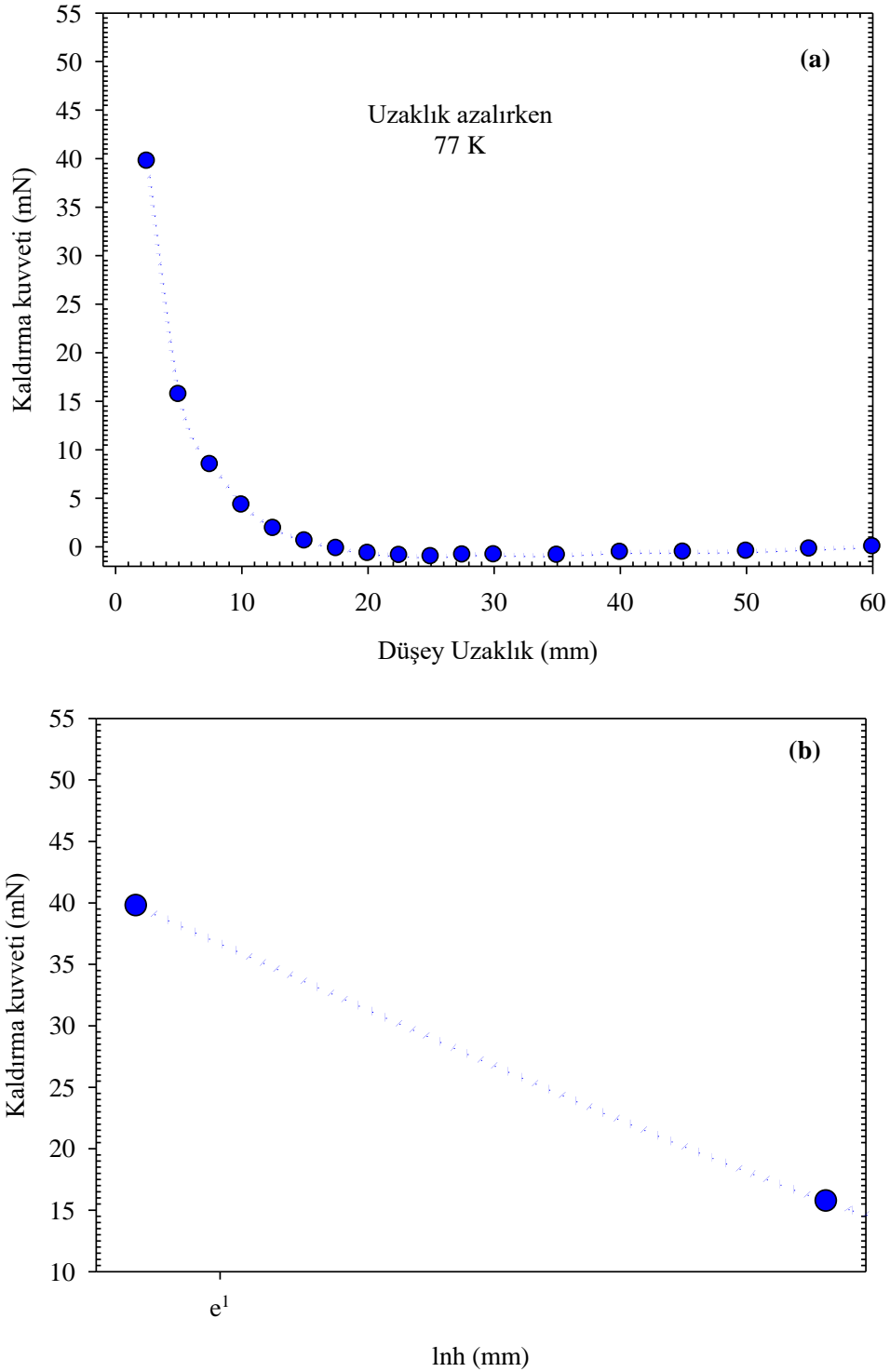


**Şekil 4.27.** Hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



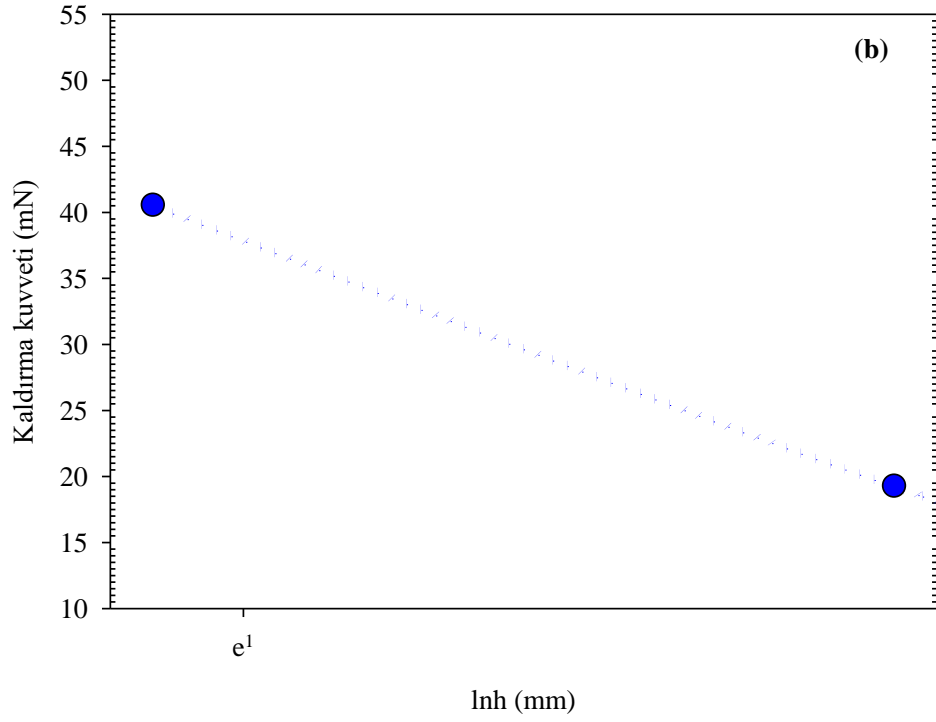
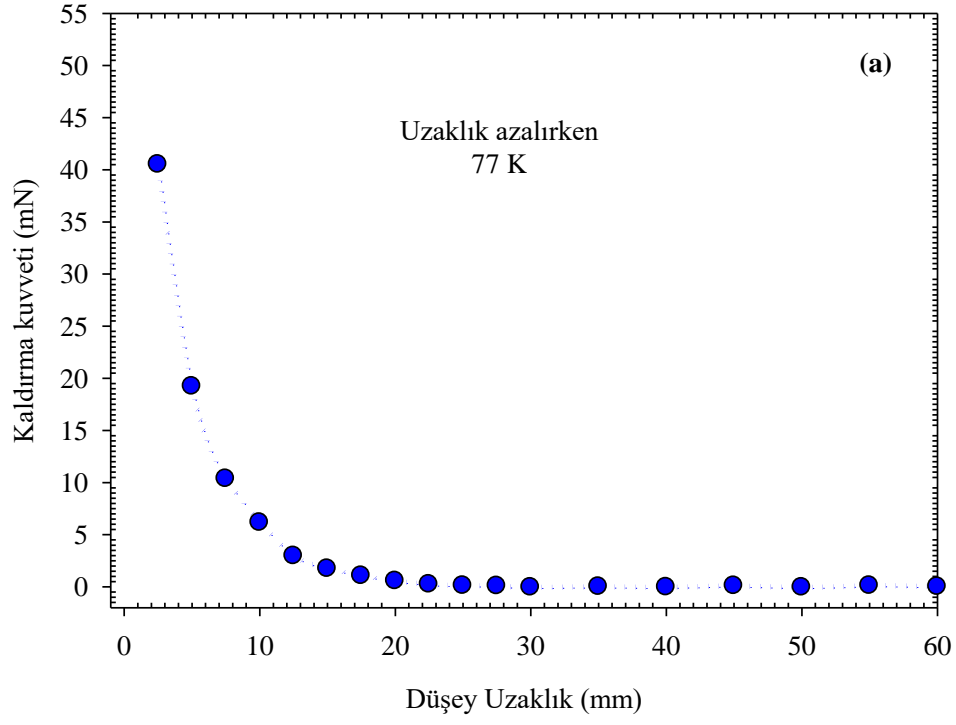
**Şekil 4.28.** Hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

**4.4.3. Tavlama (oksijen verme) sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık azalırken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları**

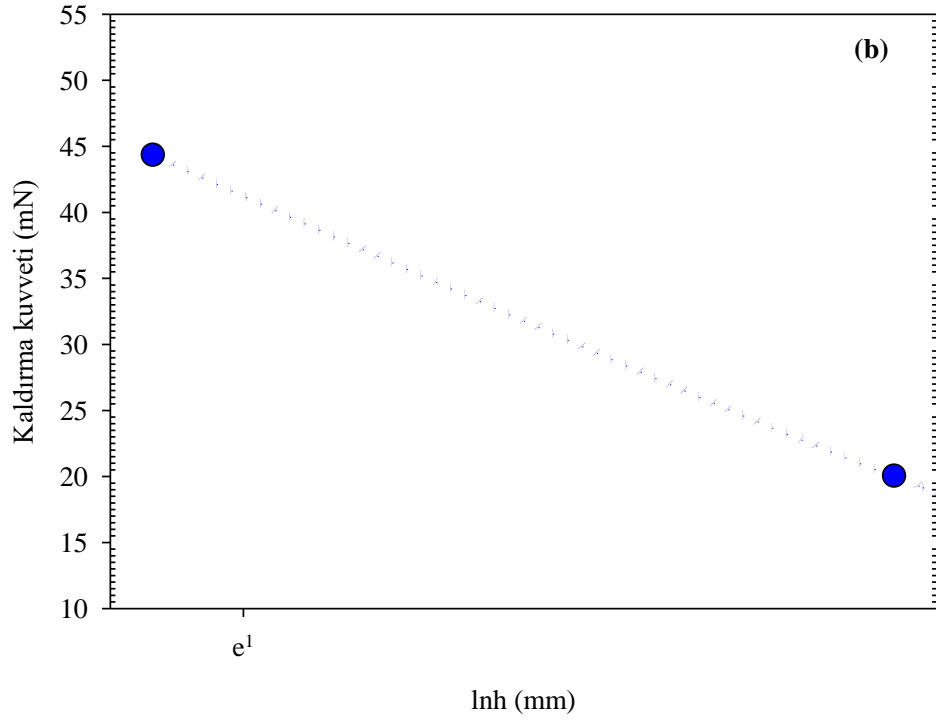
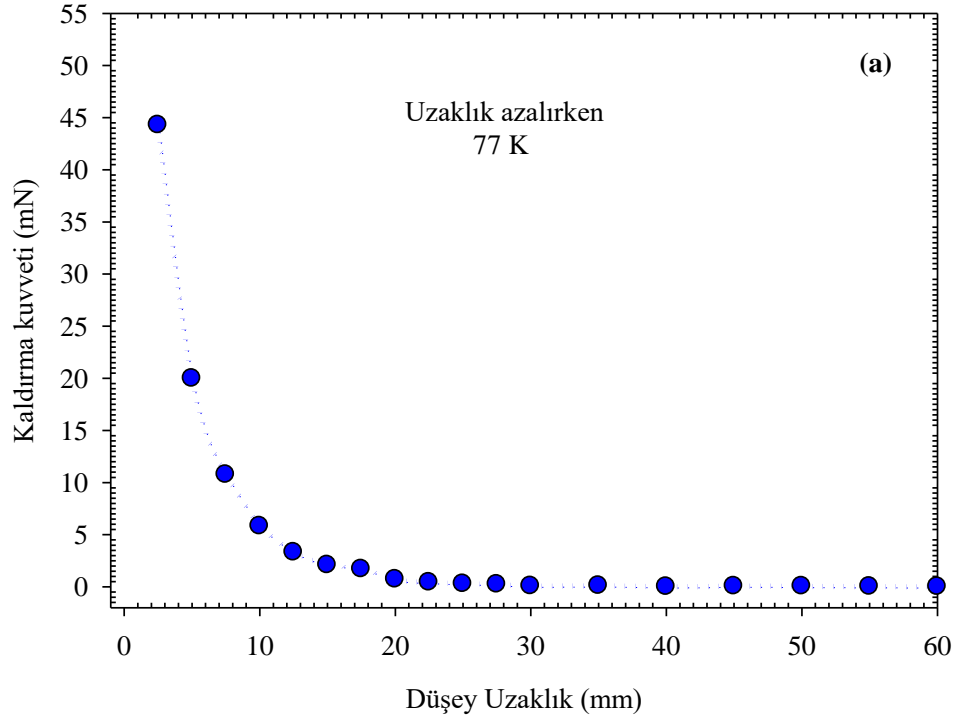


**Şekil 4.29.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi

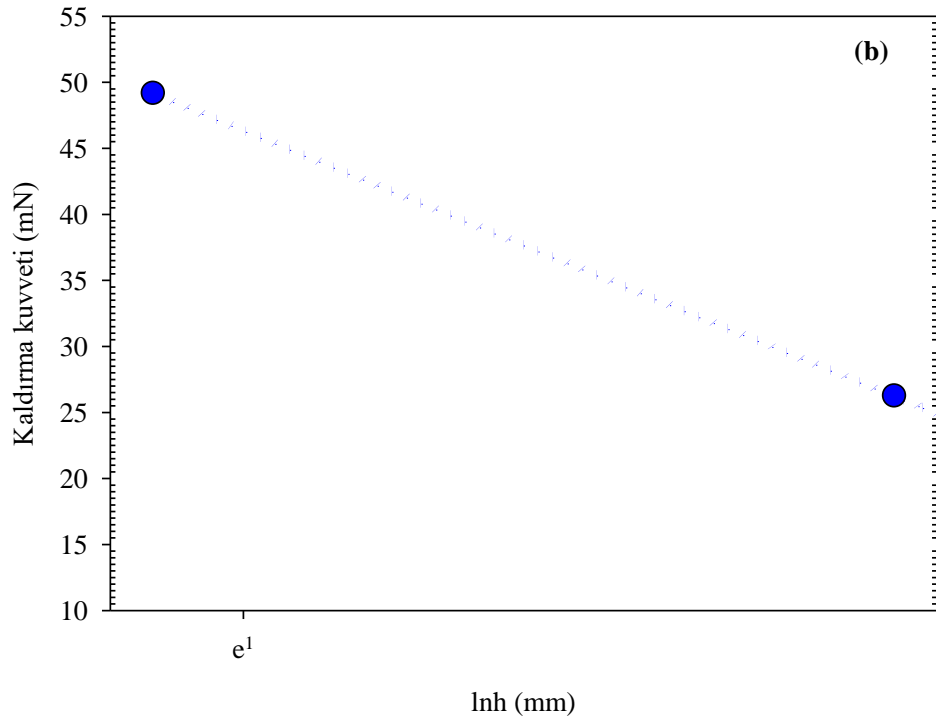
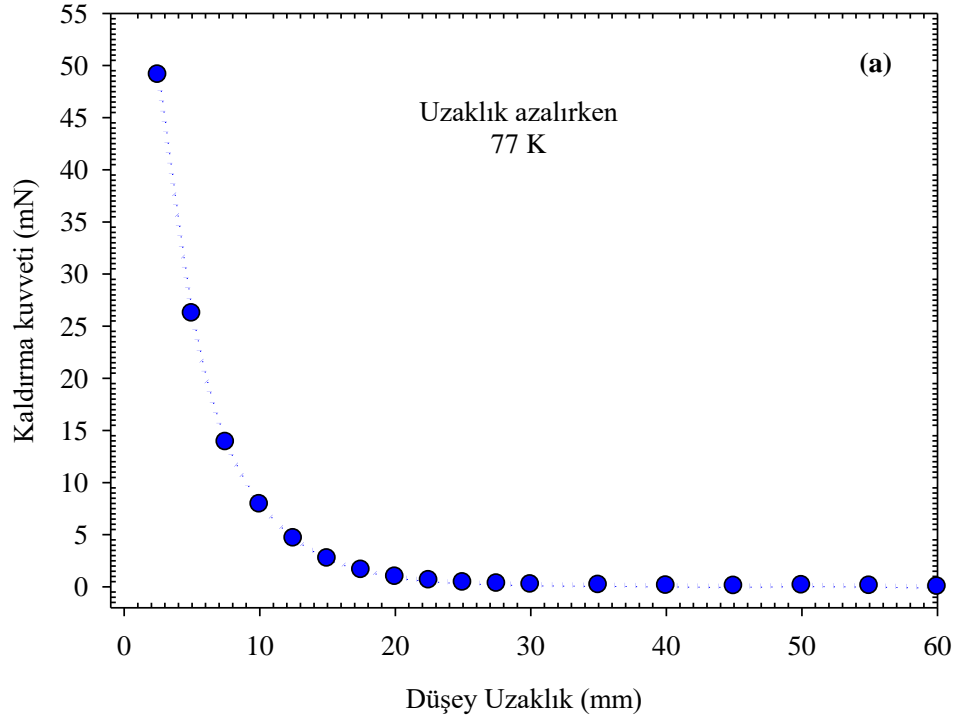




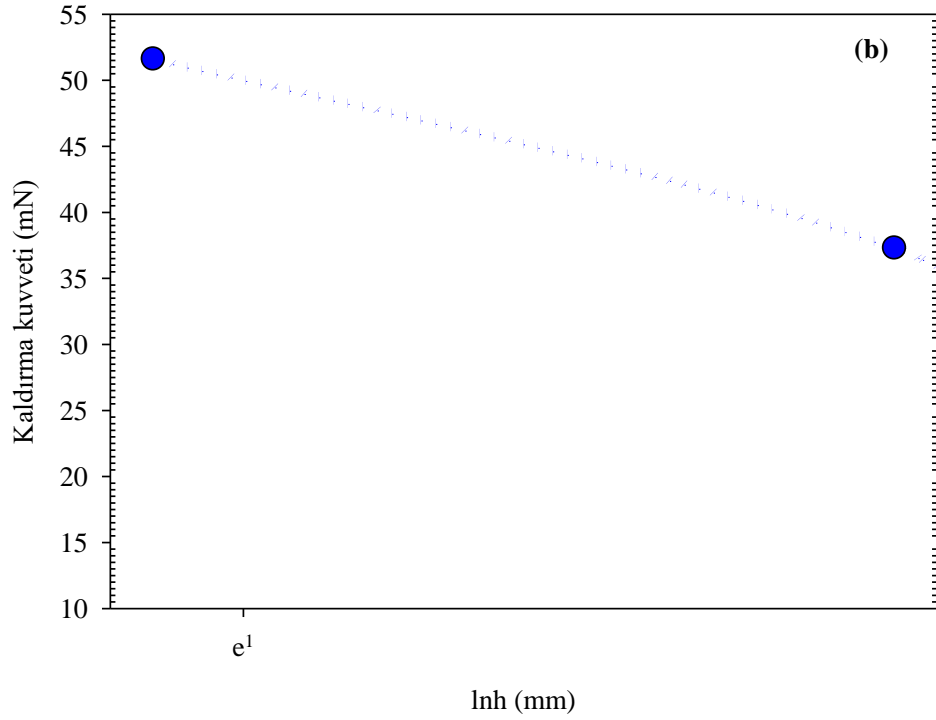
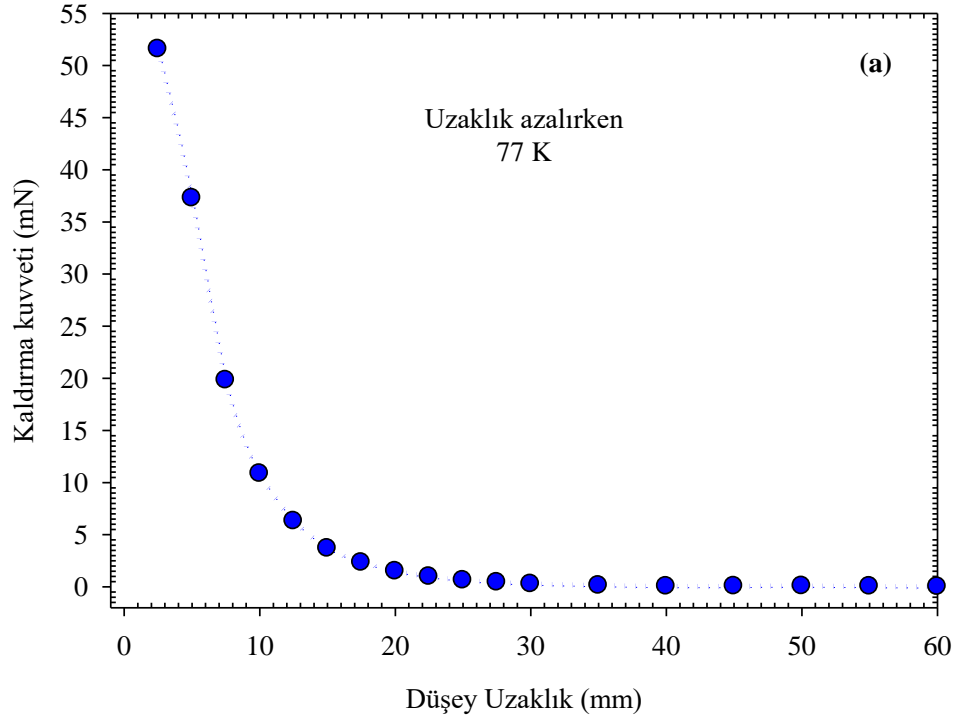
**Şekil 4.30.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh' a bağlı değişimi



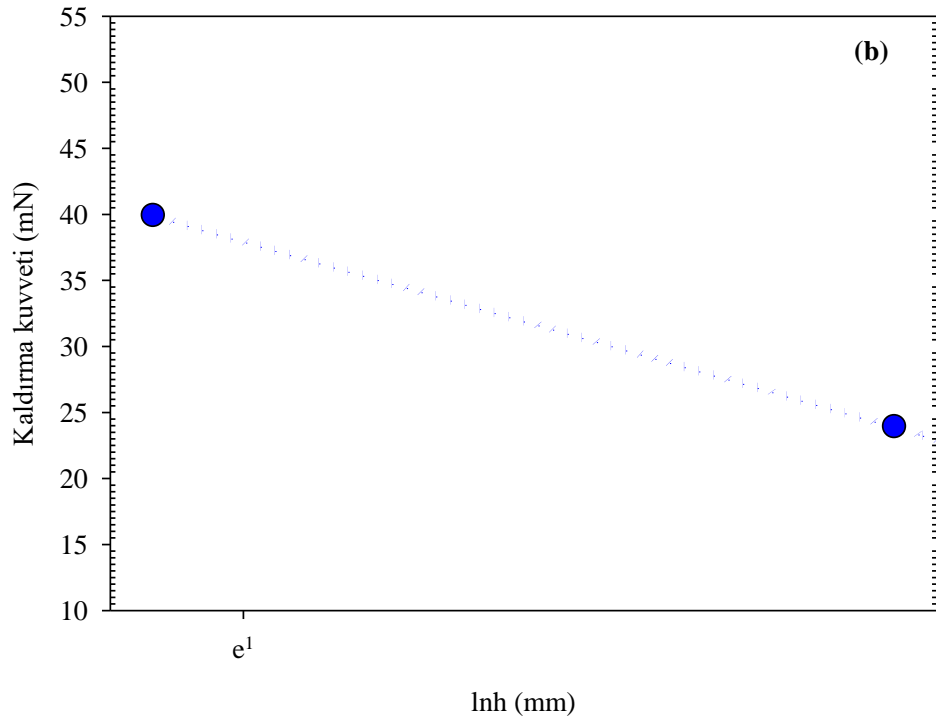
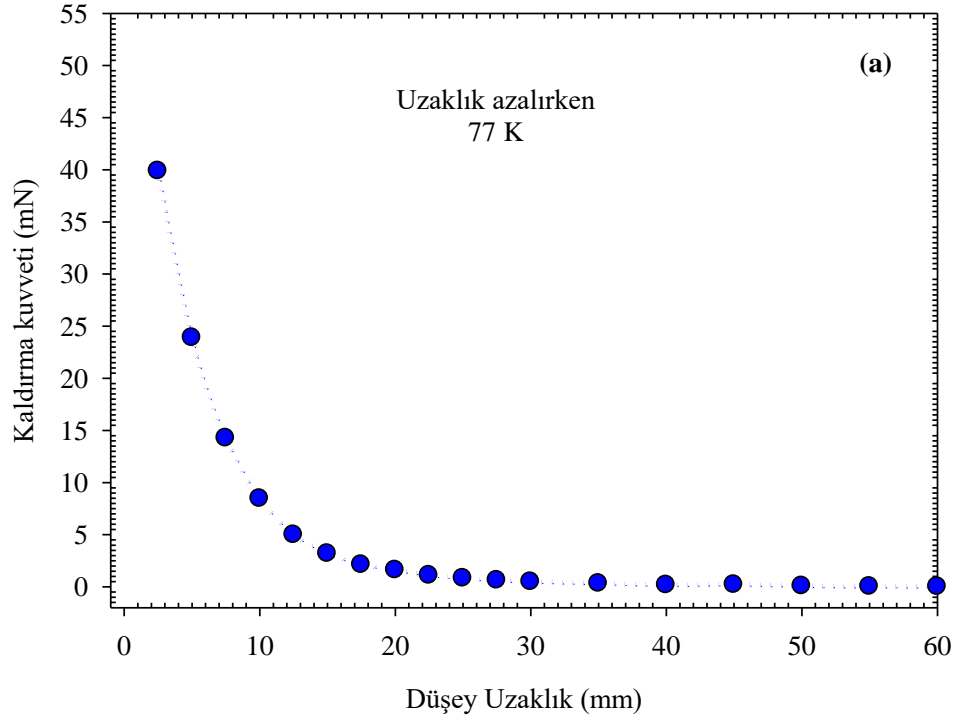
**Şekil 4.31.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düsey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi



**Şekil 4.32.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



**Şekil 4.33.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi



**Şekil 4.34.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düsey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin ln h'a bağlı değişimi

Şekil 4.29 da oksijen ortamında üretilen GTYS numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ ' a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.29.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTYS numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,1'lik artış değerlerini aldığı ve 0,1-0,3 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **39,72 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.29 dan görülmektedir.

Şekil 4.30 da hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ ' a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.30.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY3 numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,01'lik artış değerlerini aldığı ve 0,01-0,01 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **40,49 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.30 dan görülmektedir.

Şekil 4.31 de hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ ' a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.31.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY4 numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,03 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **44,27 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.31 den görülmektedir.

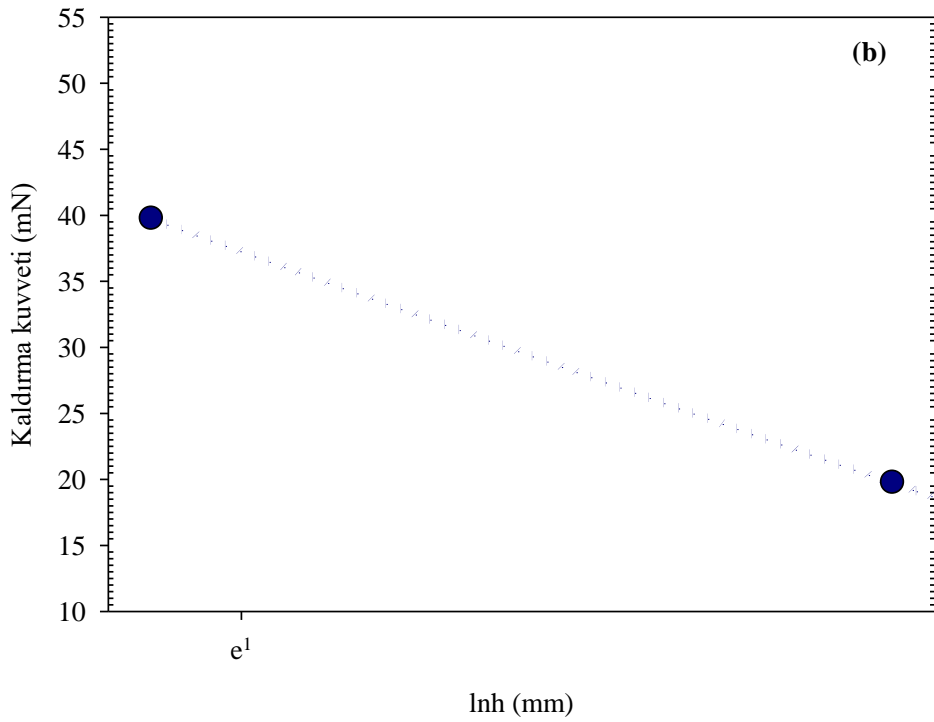
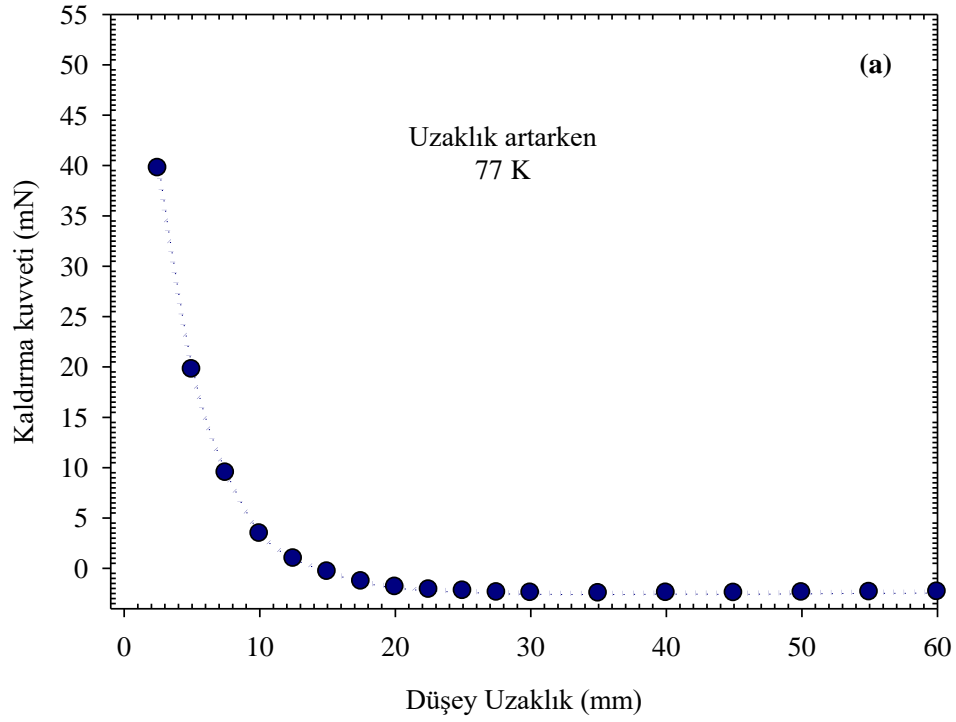
Şekil 4.32 de hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin miknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ ' a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.32.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY5 numunesinin sürekli miknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında

30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,05 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **49,11 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.32 den görülmektedir.

Şekil 4.33 de hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ ' a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.33.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY6 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,03'lik artış değerlerini aldığı ve 0,03-0,10 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **51,56 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.33 den görülmektedir.

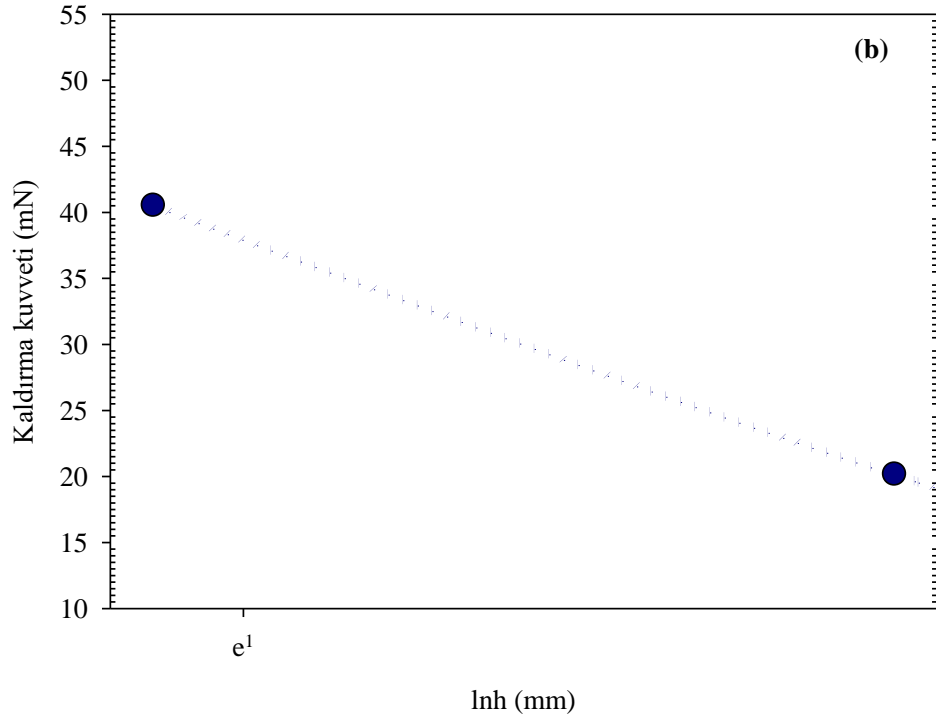
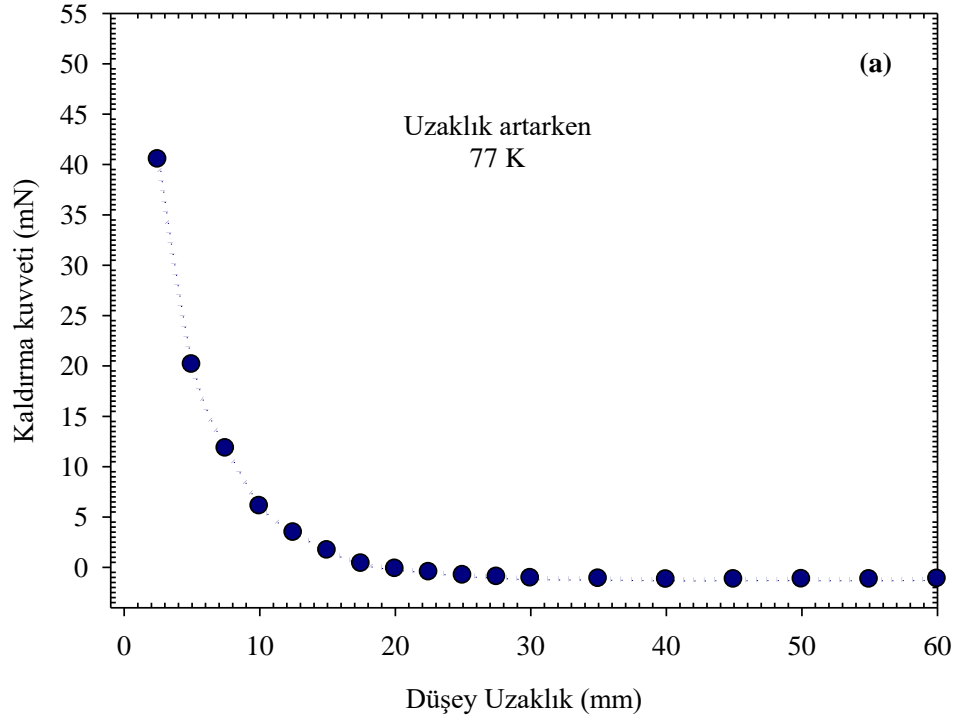
Şekil 4.34 de hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ ' a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.34.(a) dan da görüleceği gibi kaldırma kuvveti, süperiletken saf GTY7 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,04'lik artış değerlerini aldığı 0,04-0,10 aralığında ki kuvvet değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Beklenen kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin büyüklüğü ( $F_K$ ) **39,86 mN** olarak ölçüldüğü Şekil 4.34 den görülmektedir.

4.4.4. Tavlama sonrasında süperiletken numune ile permanent mıknatıs arasındaki uzaklık artarken kaldırma kuvveti ölçüm sonuçları

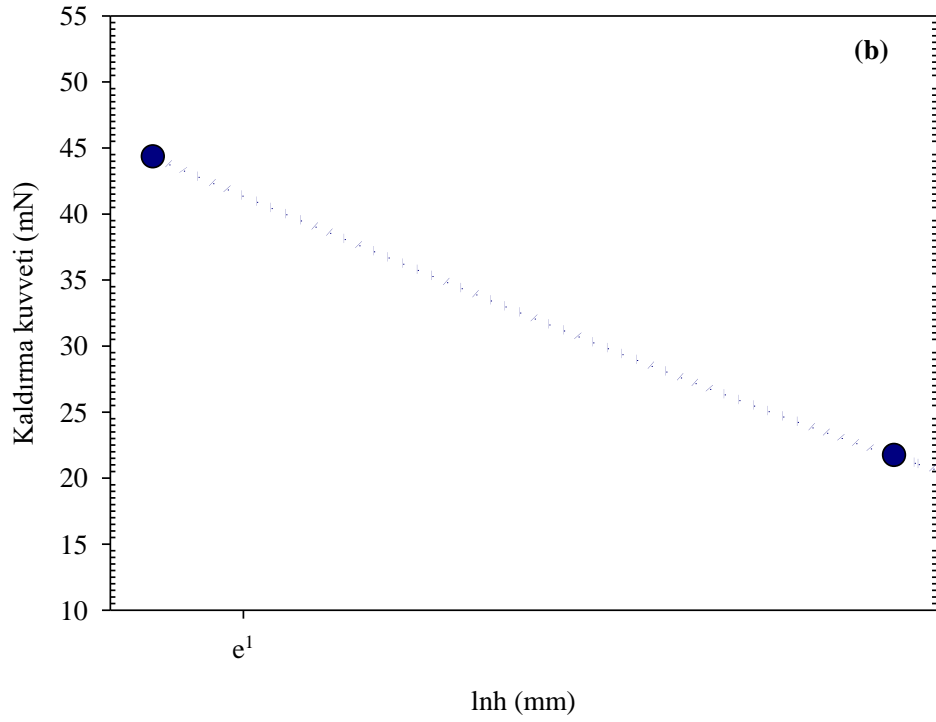
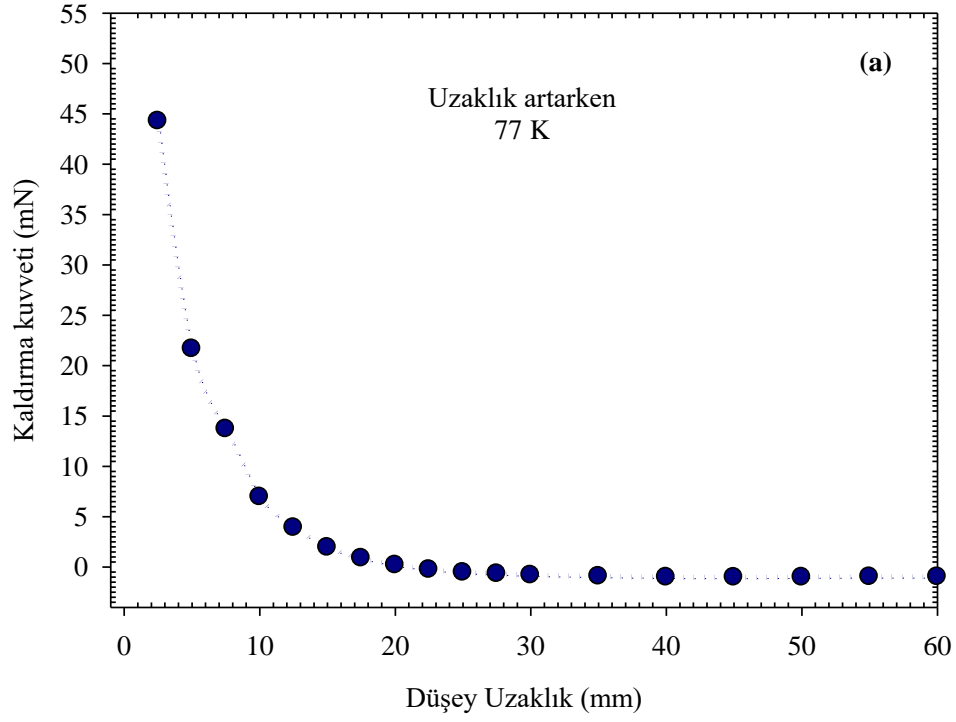


Şekil 4.35. 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTYS numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

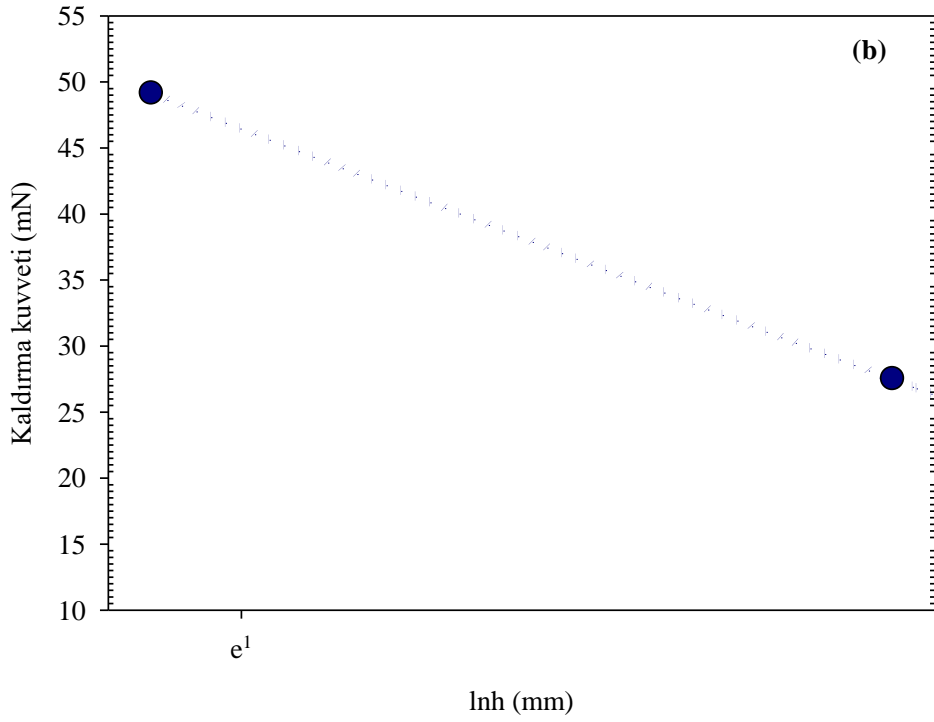
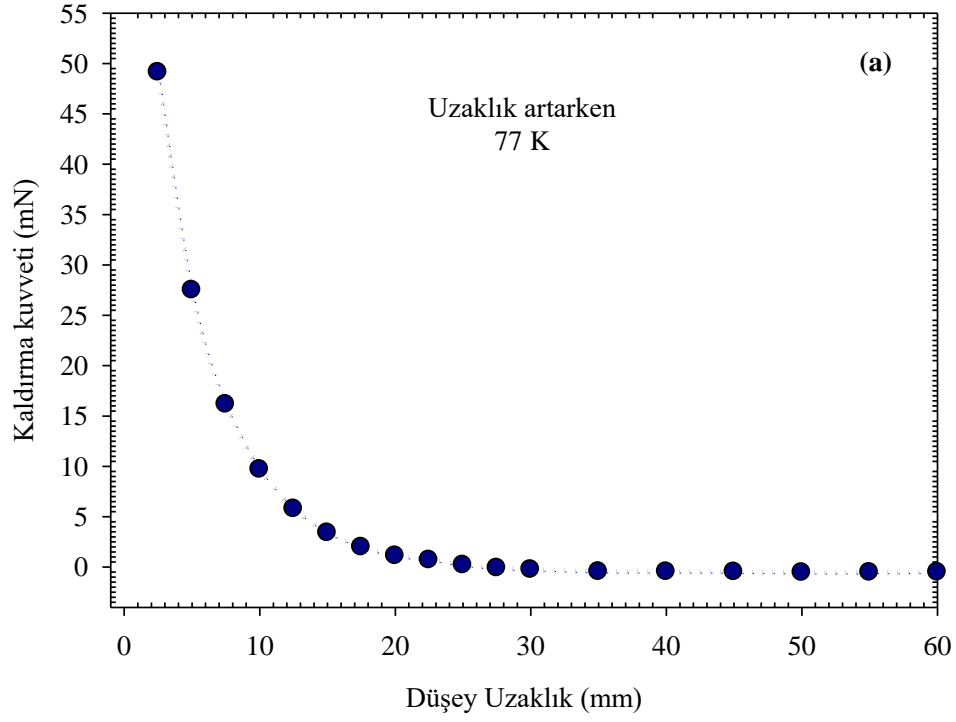




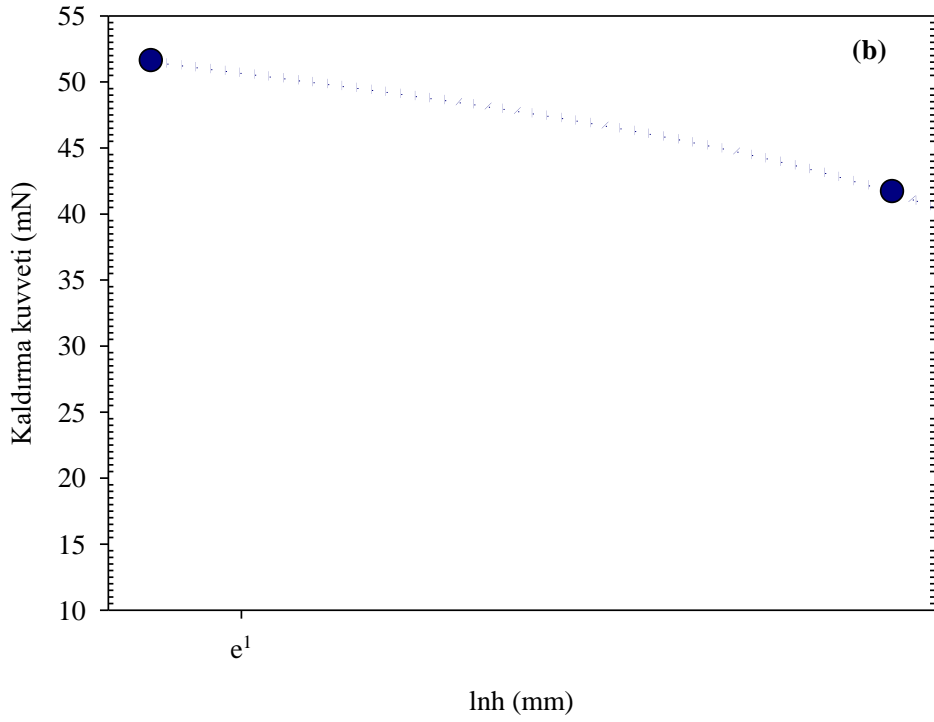
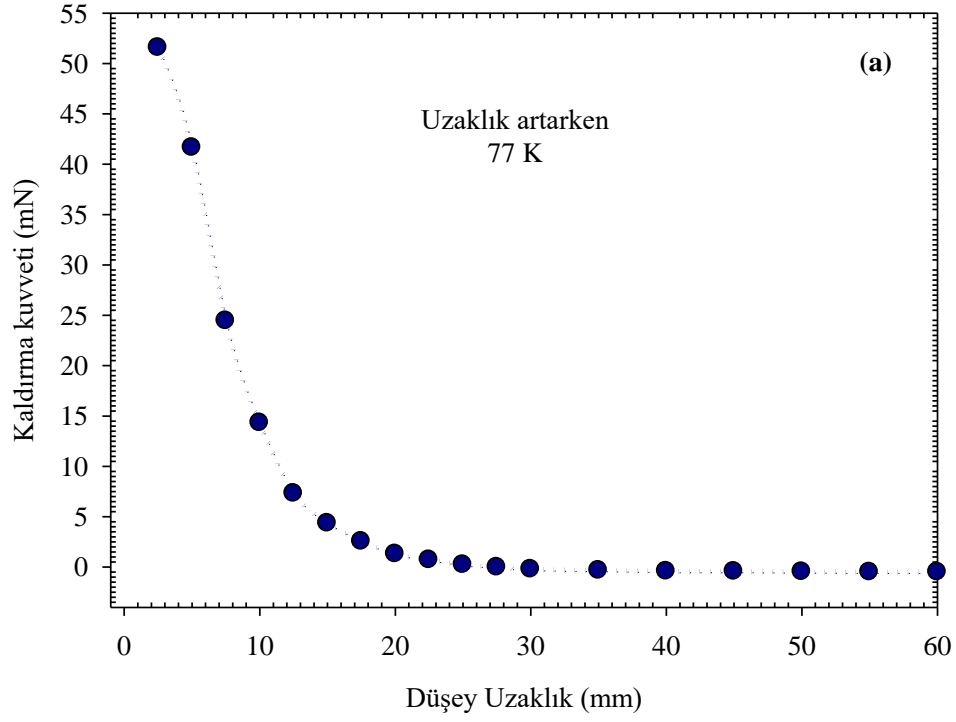
**Şekil 4.36.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY3 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh' a bağlı değişimi



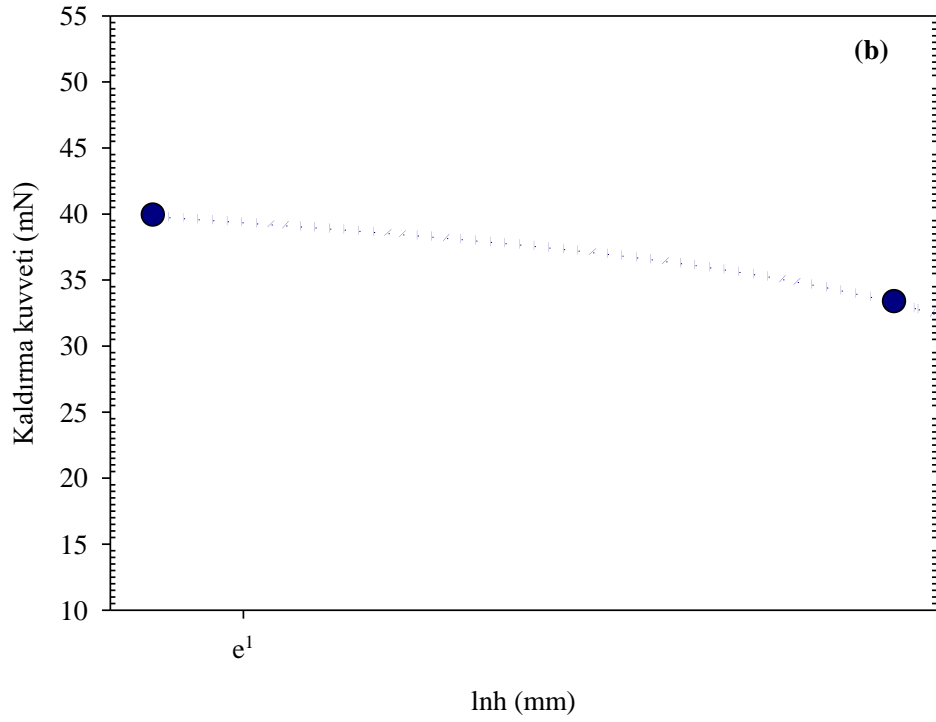
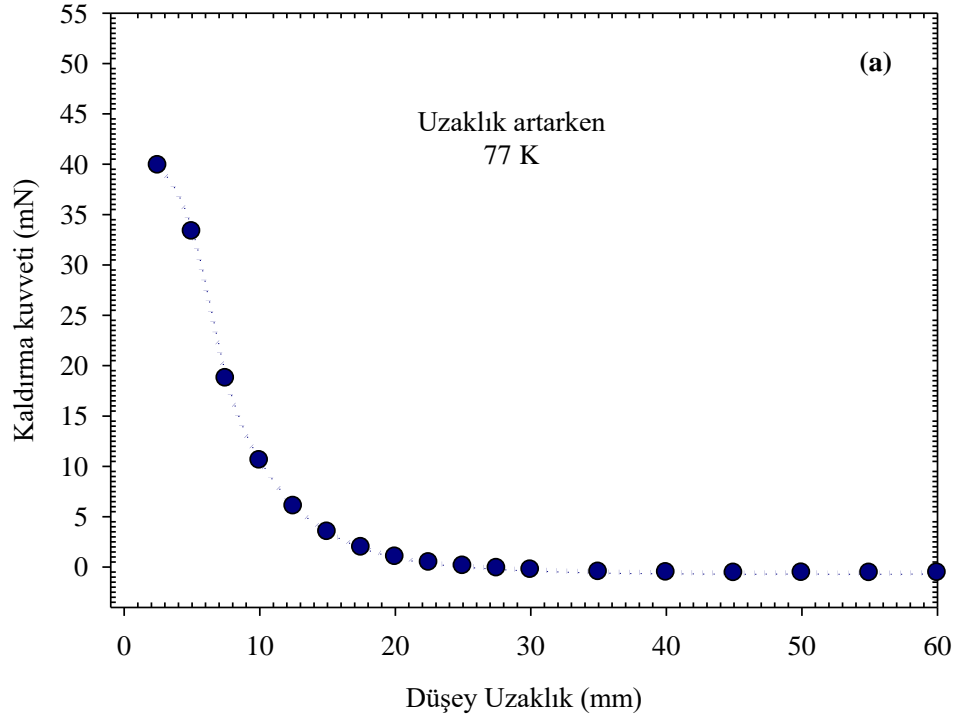
**Şekil 4.37.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY4 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi



**Şekil 4.38.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY5 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin lnh'a bağlı değişimi

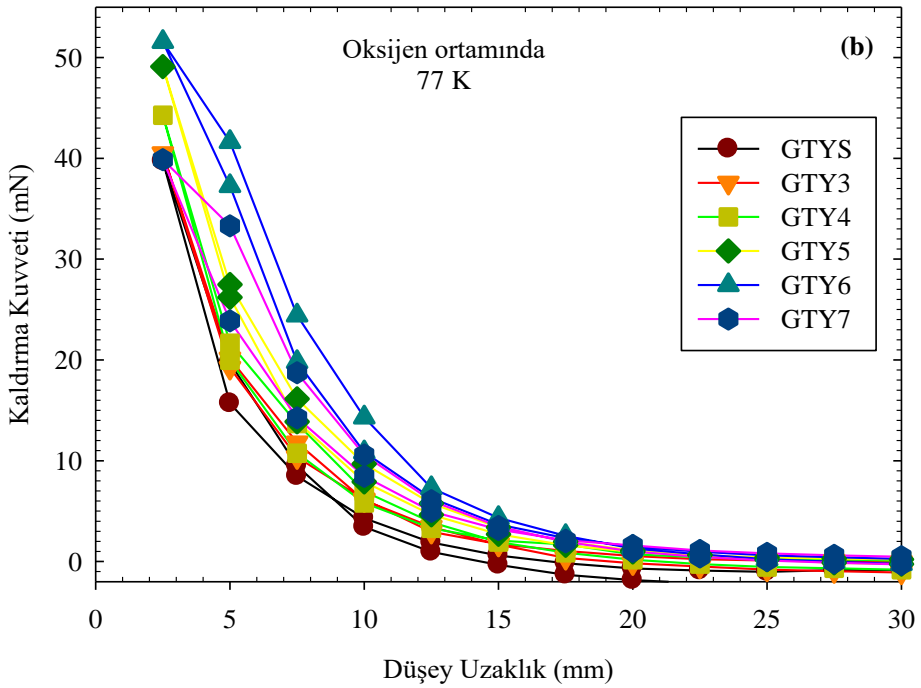
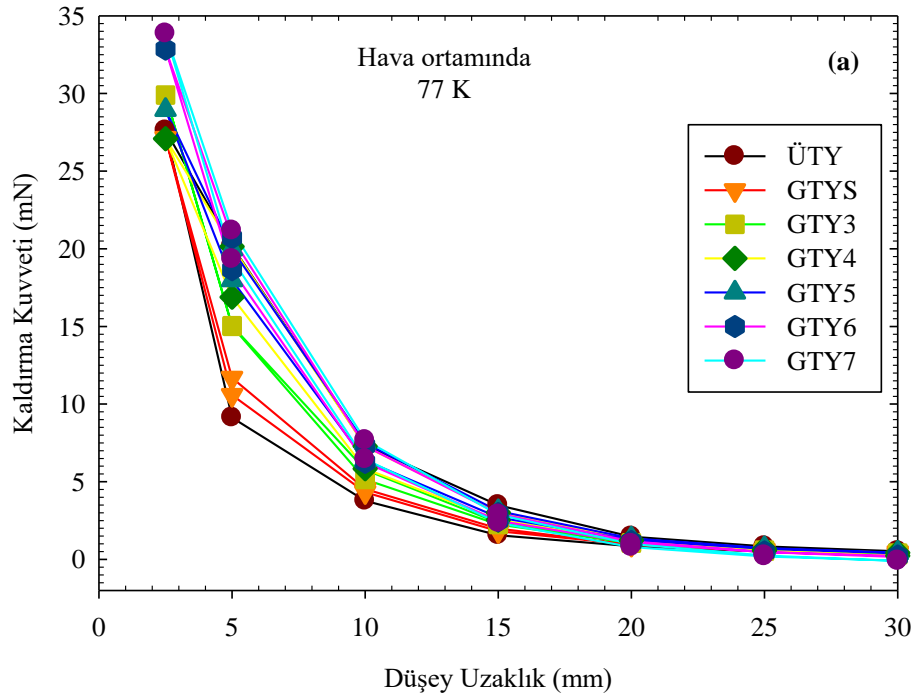


**Şekil 4.39.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY6 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



**Şekil 4.40.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY7 numunesinin mıknatıstan uzaklaşırken (a) Kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı (b) Kaldırma kuvvetinin  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

#### 4.4.5. Sinterlenmiş ve Tavlanmış süperiletken numunelerin kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi ölçüm sonuçları



Şekil 4.41. (a) Sinterlenmiş (hava ortamında) numunelerin kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) 12 saat 600 °C de oksijen verildikten (tavlandıktan) sonra numunelerin kaldırma kuvvetinin düşey uzaklığa bağlı değişimi

Kaldırma kuvveti ile ilgili yapılan benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Ren vd., 30 mm çapında 18 mm kalınlığında %1 Pt katkılı YBCO numunesinin üzerine Sm123 ve Nd123 tohumu konularak üretilen süperiletkenin 77 K sıcaklığında alansız soğutma yaparak en yakın (5 mm) uzaklığında ölçtükleri kaldırma kuvveti sonuçlarını 95-98 N bulmuşlardır (Ren vd., 2004).
- Lee vd., 30 mm çapında Y1.5 numunesi üzerine Sm1.8 tohumla numuneyi ayıran Y211 tampon köprü kullanarak ürettikleri süperiletken numunelerin 77 K sıcaklığında alansız soğutma yaparak en yakın (0,1mm) uzaklığında ölçtükleri kaldırma kuvveti sonuçları 42-49 N bulmuşlardır. (Lee vd., 2011).
- Wu vd., 50 mm çapında Y123 ve Y211 süperiletkenlerini değişik oranlarda karıştırarak ürettikleri numunelerini 77 K sıcaklığında, alansız soğutma yaparak en yakın (0,2 mm) uzaklığında ölçtükleri kaldırma kuvveti sonuçları 274-302 N bulmuşlardır (Wu vd., 2008).
- Park vd., 50x50x22 mm ebatlarında Yb ile dış cephesi sıvanmış Y1.5 süperiletkeninin 77 K sıcaklığında alansız soğutma yaparak en yakın (1 mm) uzaklığında ölçtükleri kaldırma kuvveti değerlerini 185-225 N bulmuşlardır (Park vd., 2009).
- Yang vd., 30 mm çapındaki üstten tohumlama metodu ile üretilen YBCO süperiletkeninin değişik sayıda mıknatıs kullanarak ölçtüğü kaldırma kuvveti değerlerini 18.8 ve 49 N olarak ölçmüş. Ayrıca manyetik duyarlılığın mıknatıs sayısı ile ve dolayısıyla kutuplanma sayısı ile değiştiğini rapor etmiştir (Yang vd., 2001).
- Choi vd., 3x3x2 cm<sup>3</sup> boyutlarında dikdörtgenler prizması şeklindeki YBCO numunesini Sm123 tohum kullanarak çoklu tohumlama (1-5 tohum) yöntemi ile üretmişler. Üretilen bu numunelerin manyetik kaldırma kuvveti ölçümlerini 77 K de alansız soğutma kullanarak hesaplamışlar. Tek tohumlu numunenin 0,1 mm mıknatıs uzaklığında 18,2 N ölçmüşler. Tohum sayısı arttıkça manyetik kaldırma kuvvetinin azaldığını 12-14 N rapor etmişler (Choi vd., 2008).
- Yang vd., 30 mm çapında 12 mm yüksekliğinde üstten tohumlama metodu ile üretilen YBCO süperiletkeninin ZFC ortamında 77 K sıcaklığında manyetik

kaldırma kuvvetini 40 N bulmuşlar. Daha sonra numuneyi ikiye ve dörde böldüklerinde manyetik kaldırma kuvvetini 20 N ve 10 N rapor etmişlerdir.

#### 4.4.6. Kaldırma kuvveti ile ilgili nümerik çalışmalar

**Çizelge 4.4.** Hava ortamında süperiletken permanent magnete yaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları

Numune	$F = F_0 e^{-bz}$		$r^2$
	$F_0$	b	
GTYS	58.9429	0.3174	0.9869
GTY3	54.5535	0.2458	0.9968
GTY4	44.1297	0.1945	0.9991
GTY5	47.0522	0.1940	0.9994
GTY6	56.6064	0.2192	0.9996
GTY7	58.7437	0.2210	0.9984

**Çizelge 4.5.** Hava ortamında süperiletken permanent magnettene uzaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları

Numune	$F = F_0 e^{-bz}$		$r^2$
	$F_0$	b	
GTYS	54.0609	0.2833	0.9913
GTY3	53.0311	0.2360	0.9951
GTY4	42.2617	0.1659	0.9948
GTY5	45.1975	0.1727	0.9984
GTY6	53.6474	0.1942	0.9992
GTY7	55.5126	0.1959	0.9973



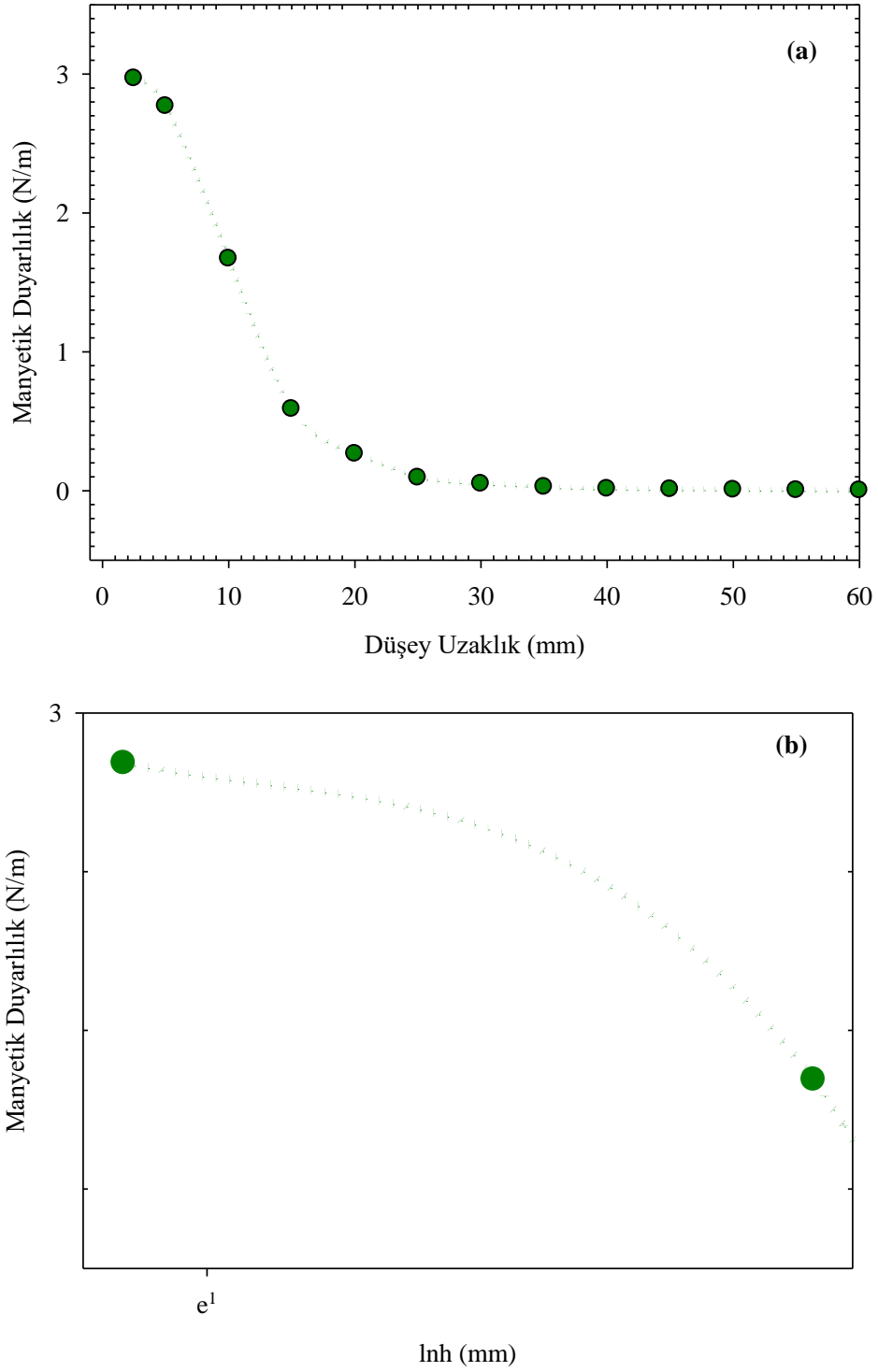
**Çizelge 4.6.** Oksijen ortamında süperiletken permanent magnete yaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları

Numune	$F = F_0 e^{-bz}$		$r^2$
	$F_0$	b	
GTYS	90.2724	0.3320	0.9938
GTY3	79.0347	0.2715	0.9985
GTY4	89.0924	0.2845	0.9972
GTY5	90.3484	0.2454	0.9996
GTY6	87.1874	0.1954	0.9920
GTY7	66.2041	0.2037	0.9994

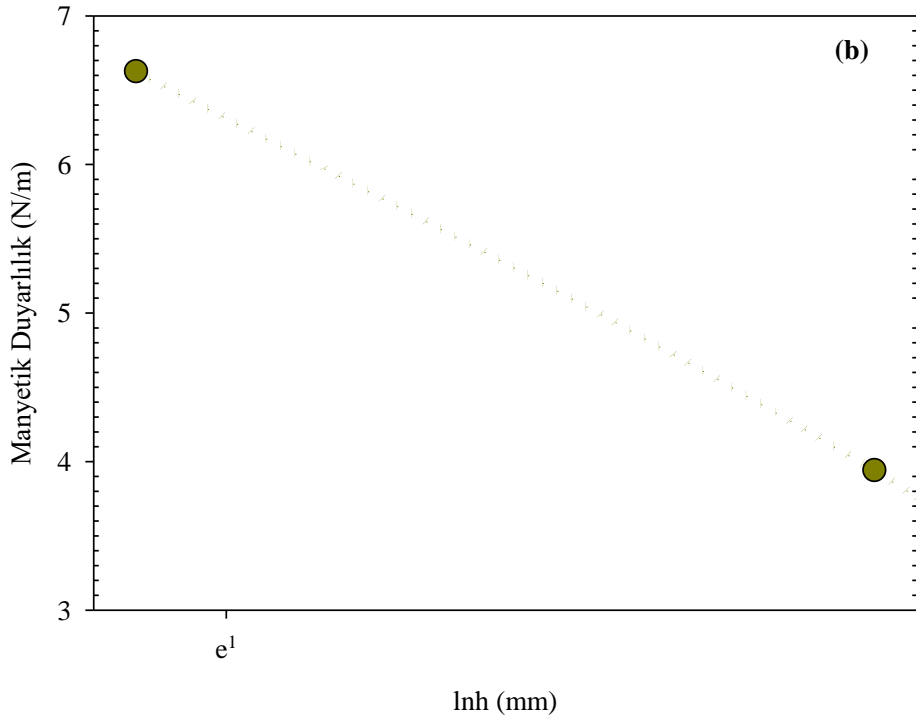
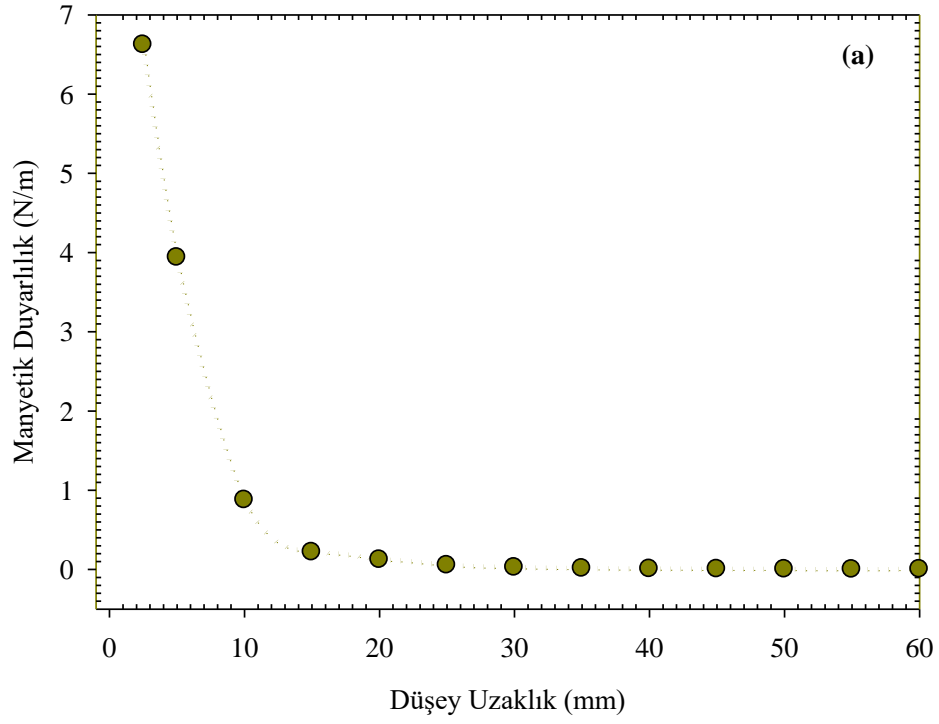
**Çizelge 4.7.** Oksijen ortamında süperiletken permanent magnetten uzaklaşırken elde edilen en iyi fit sonuçları

Numune	$F = F_0 e^{-bz}$		$r^2$
	$F_0$	b	
GTYS	86.0407	0.3047	0.9658
GTY3	76.9065	0.2589	0.9925
GTY4	82.3102	0.2522	0.9943
GTY5	84.8022	0.2207	0.9958
GTY6	84.8846	0.1737	0.9834
GTY7	66.1201	0.1736	0.9791

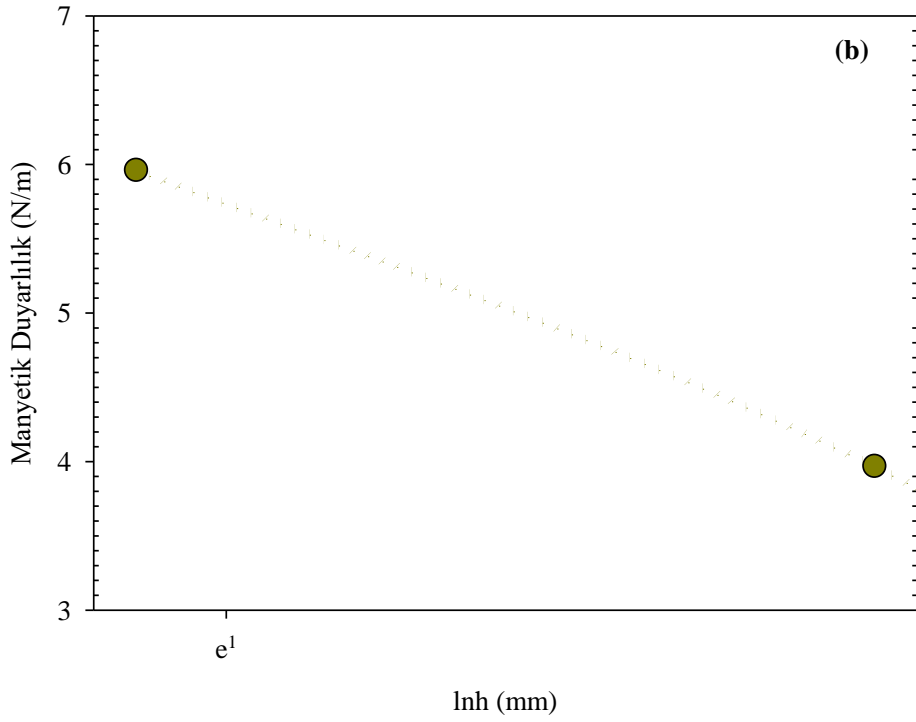
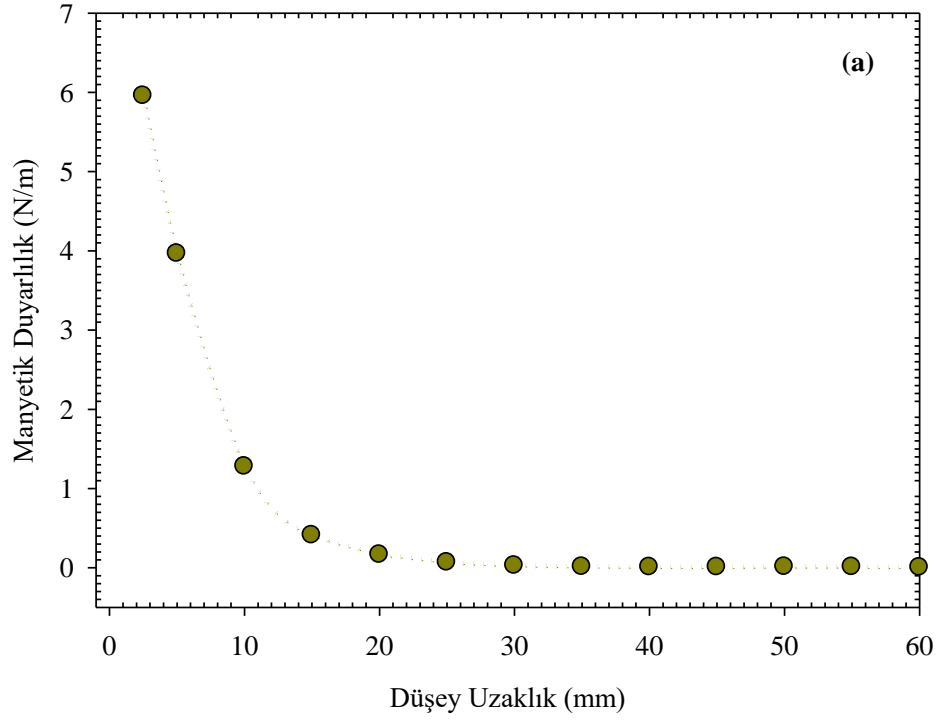
#### 4.4.7. Manyetik duyarlılık ölçüm sonuçları



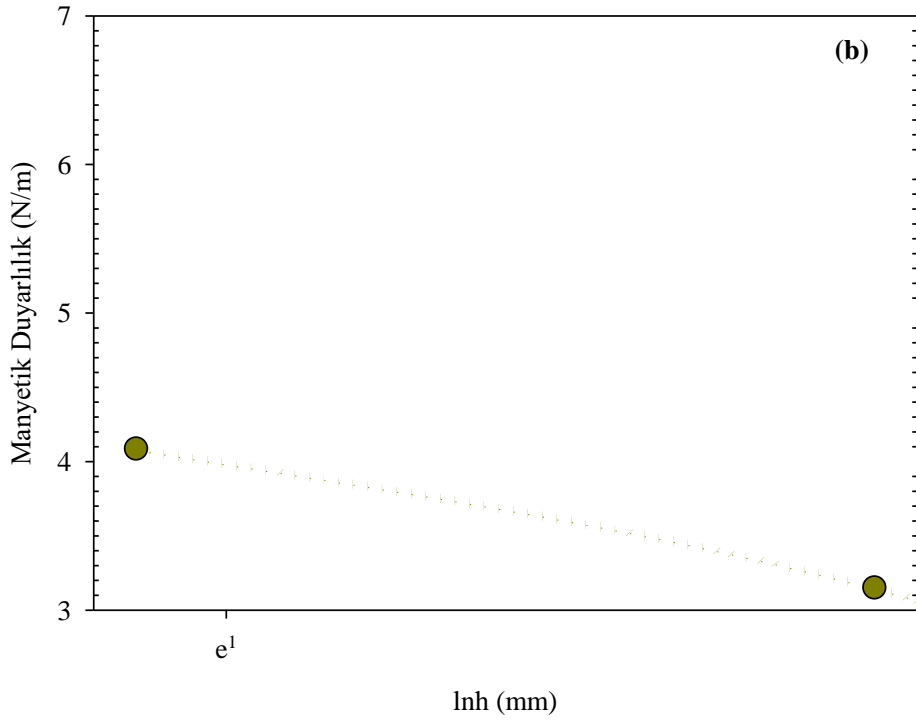
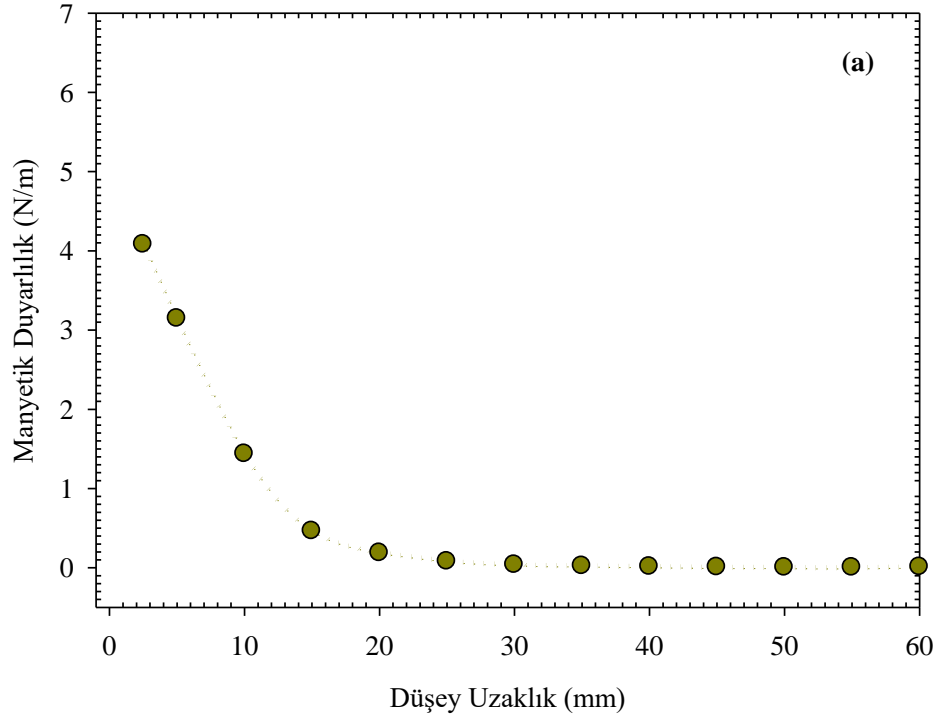
Şekil 4.42. Hava ortamında üretilen ÜTY numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık  $\ln h$ ' a bağlı değişimi



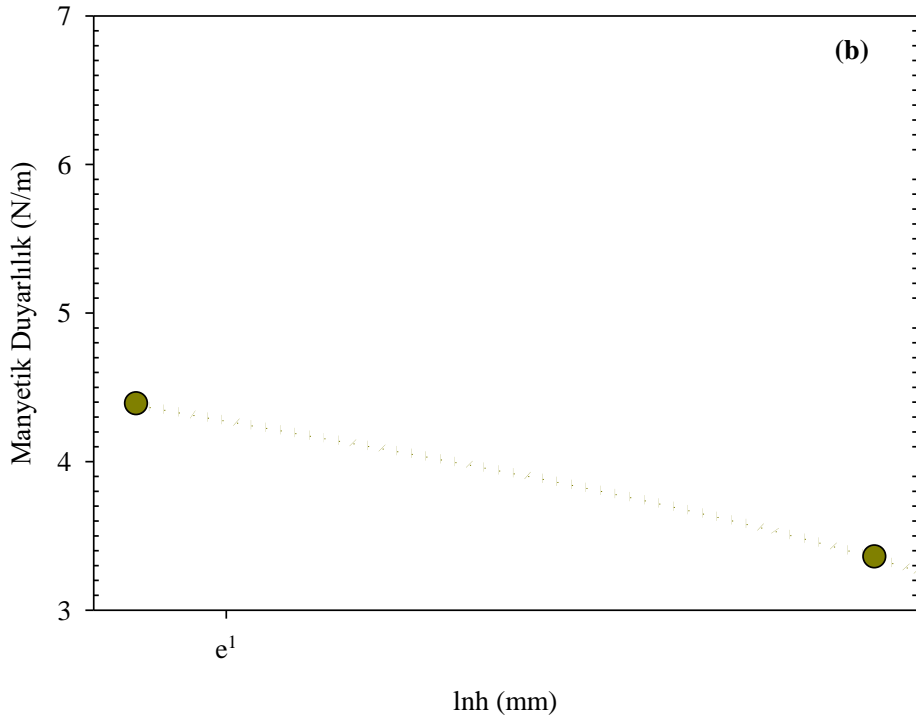
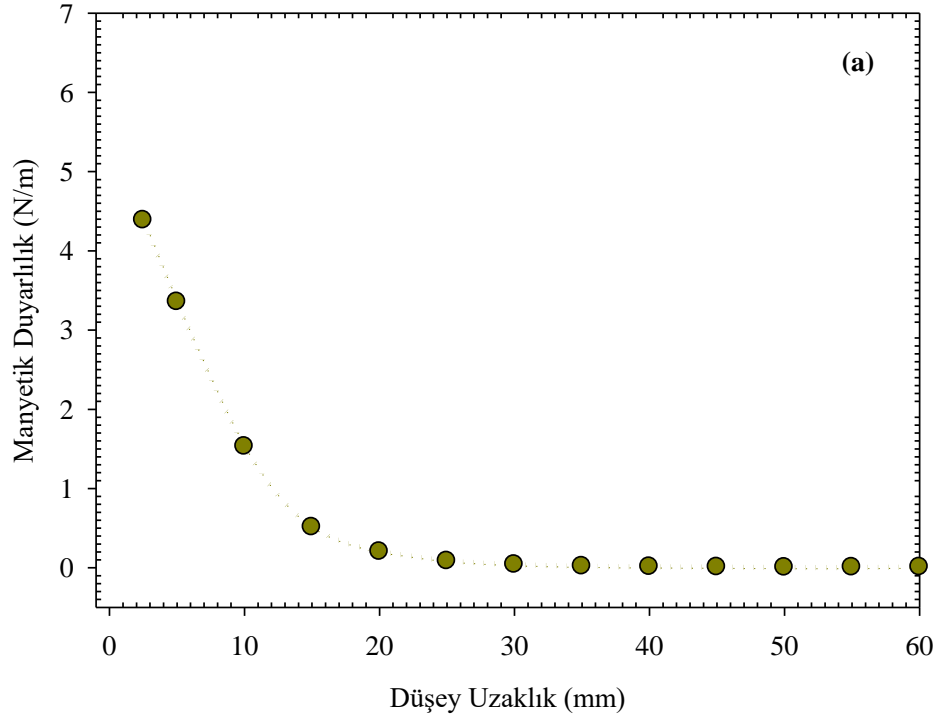
**Şekil 4.43.** Hava ortamında üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık  $\ln h$ ' a bağlı değişimi



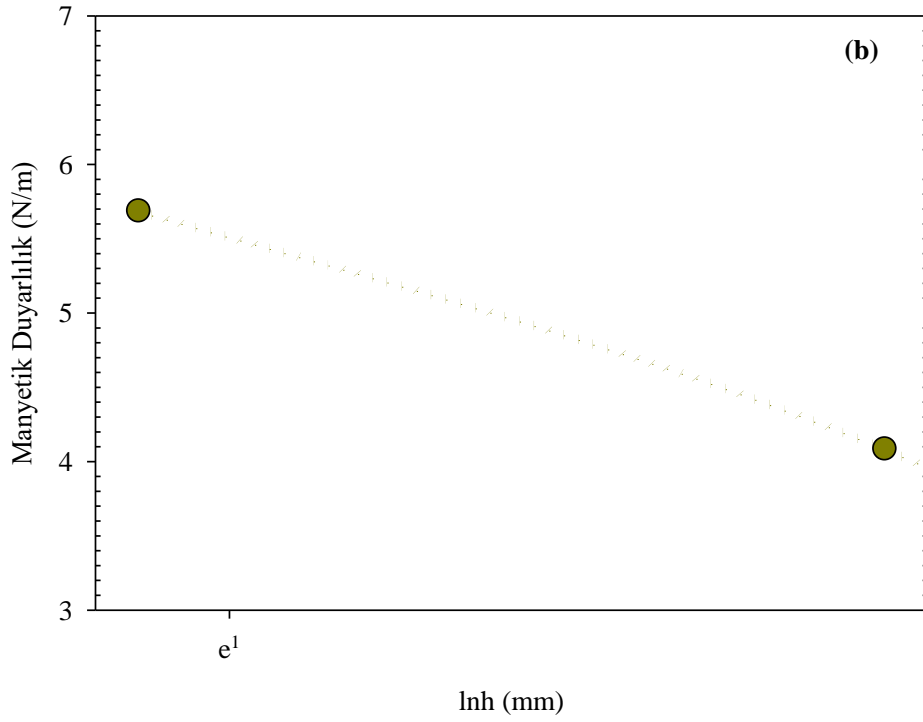
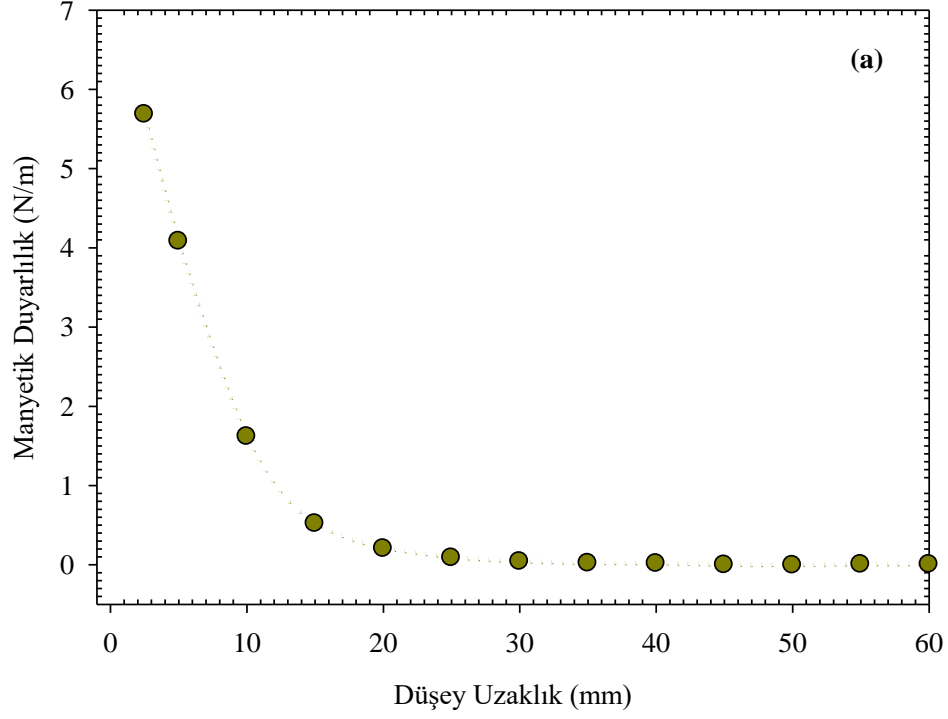
**Şekil 4.44.** Hava ortamında üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık  $\ln h$ ' a bağlı değişimi



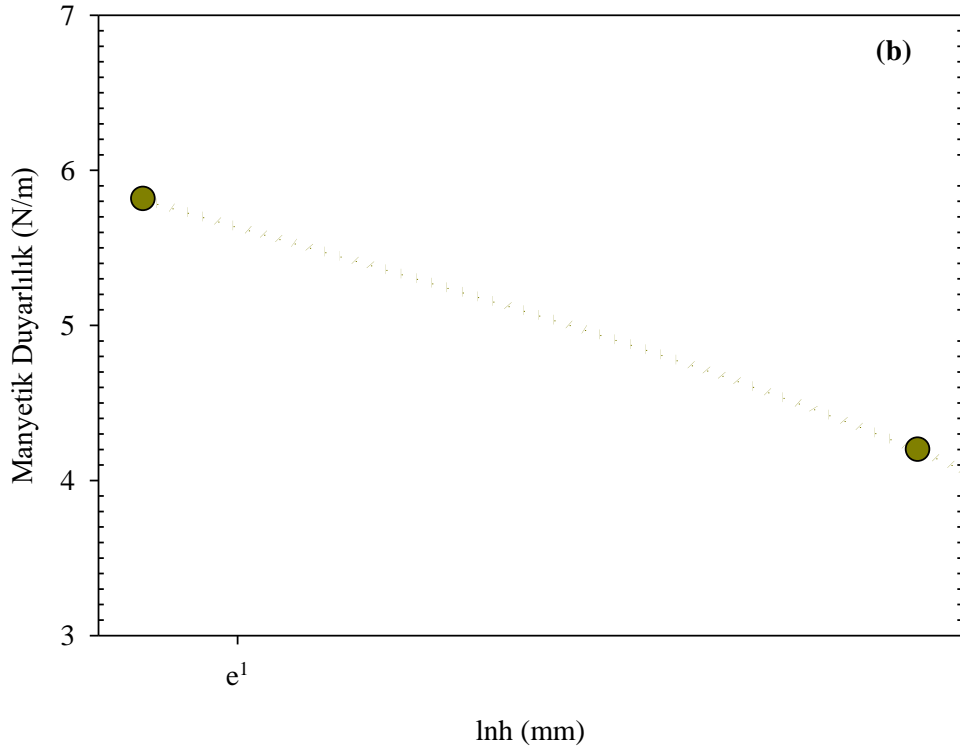
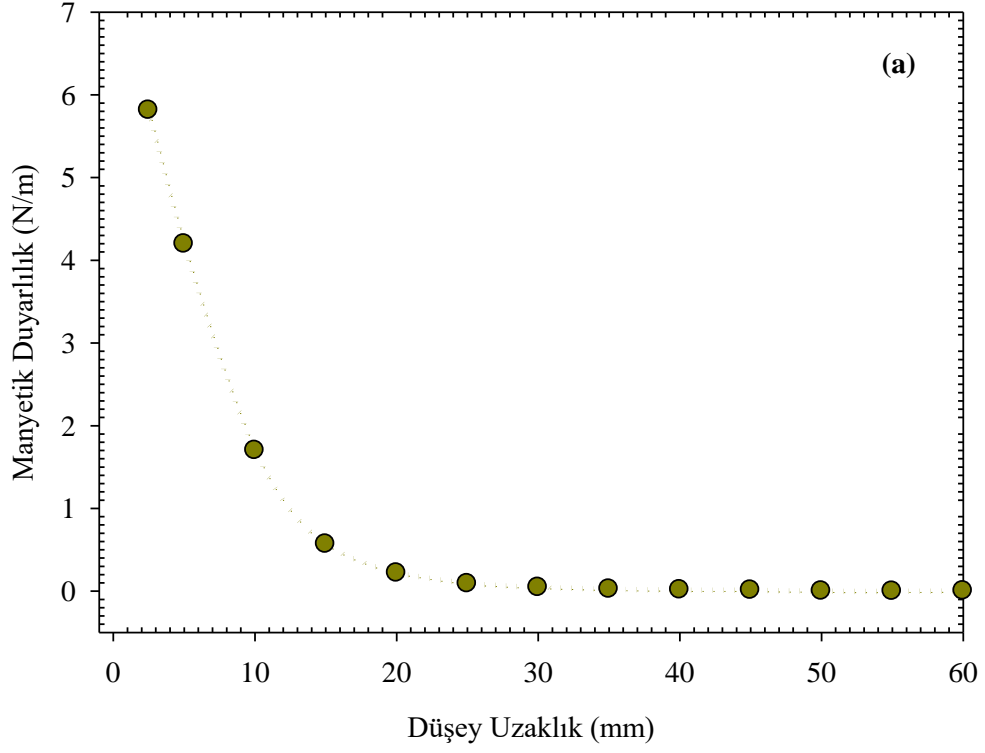
**Şekil 4.45.** Hava ortamında üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık  $\ln h$ ' a bağlı değişimi



**Şekil 4.46.** Hava ortamında üretilen GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık  $\ln h$ ' a bağlı değişimi



**Şekil 4.47.** Hava ortamında üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik duyarlılık  $\ln h$ ' a bağlı değişimi



**Şekil 4.48.** Hava ortamında üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) manyetik duyarlılık  $Inh$ ' a bağlı değişimi



Şekil 4.42. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen ÜTY numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.42.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTYS numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,002'lik artış değerlerini aldığı ve 0,002-0,01 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **2,96 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.42 den görülmektedir.

Şekil 4.43. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.43.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTYS numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,01'lik artış değerlerini aldığı ve 0,01-0,02 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **6,62 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.43 den görülmektedir.

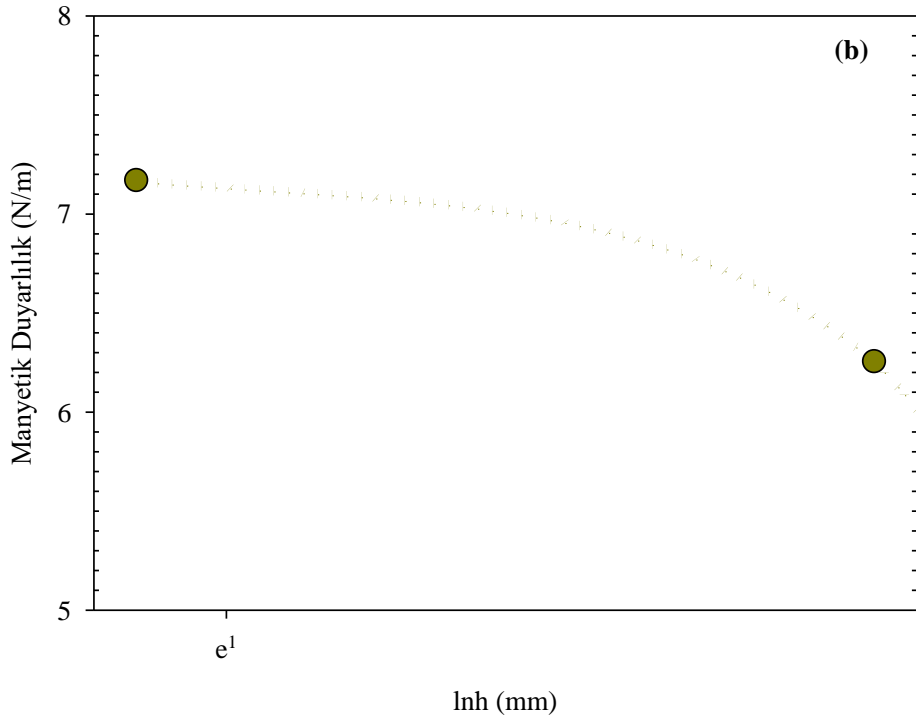
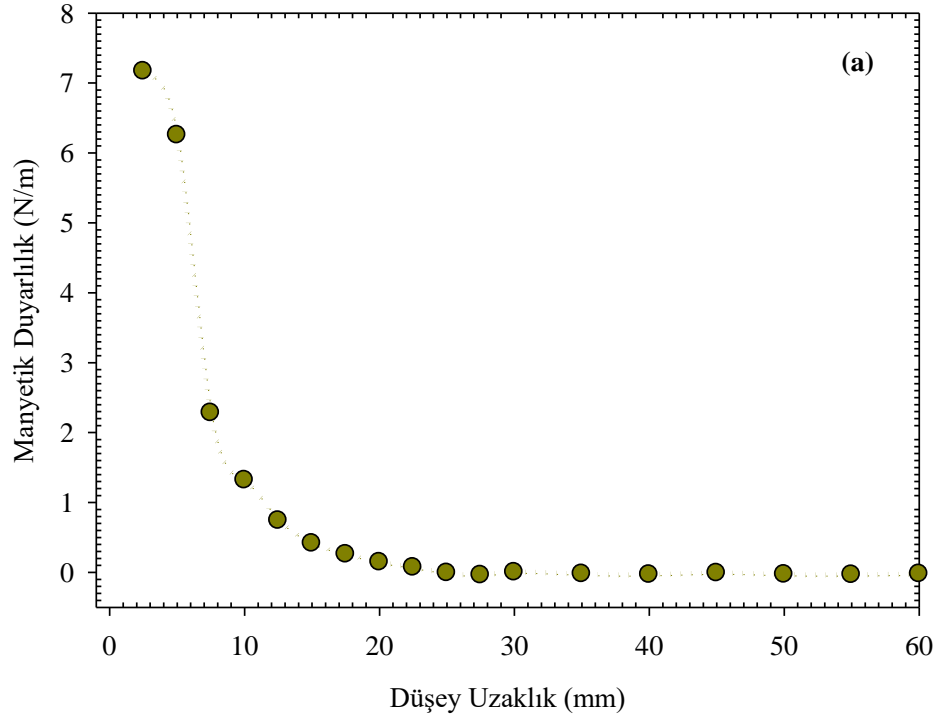
Şekil 4.44. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.44.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY3 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,001'lik artış değerlerini aldığı ve 0,001-0,002 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **5,95 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.44 den görülmektedir.

Şekil 4.45. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.45.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY4 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,007'lik artış değerlerini aldığı ve 0,005-0,009 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **4,08 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.45 den görülmektedir.

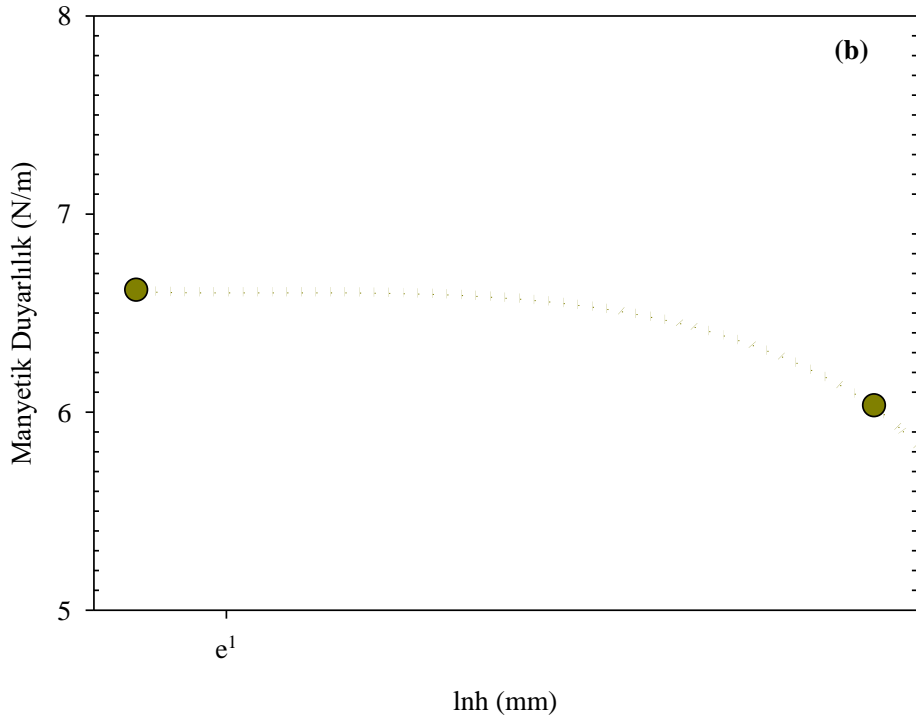
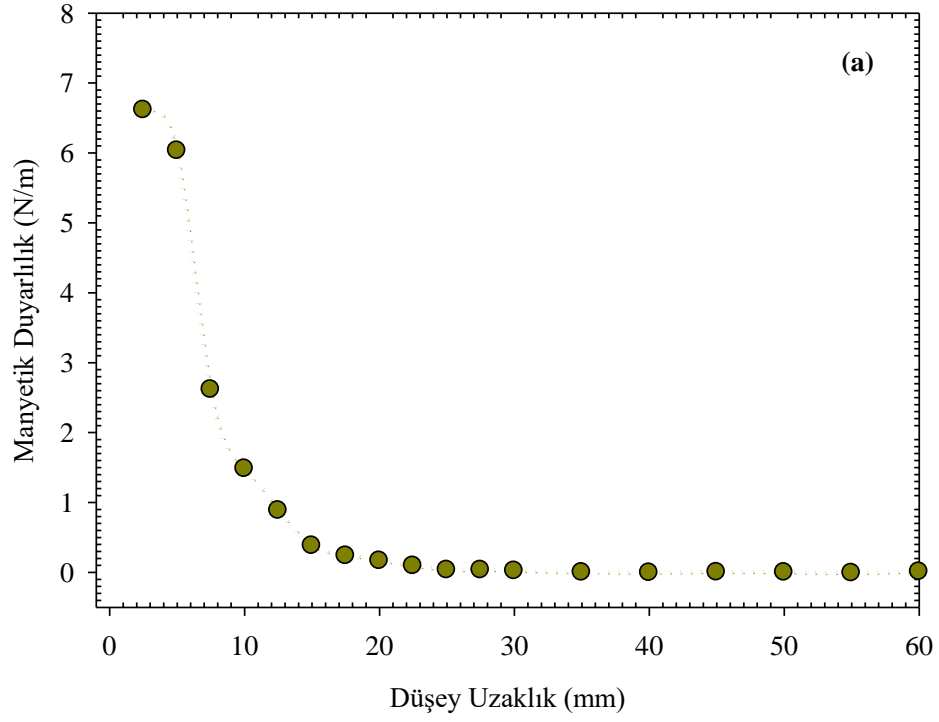
Şekil 4.46. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.46.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY5 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,007'lik artış değerlerini aldığı ve 0,006-0,009 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **4,38 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.46 den görülmektedir.

Şekil 4.47. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.47.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY6 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,01'lik artış değerlerini aldığı ve 0,01-0,02 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **5,68 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.47 den görülmektedir.

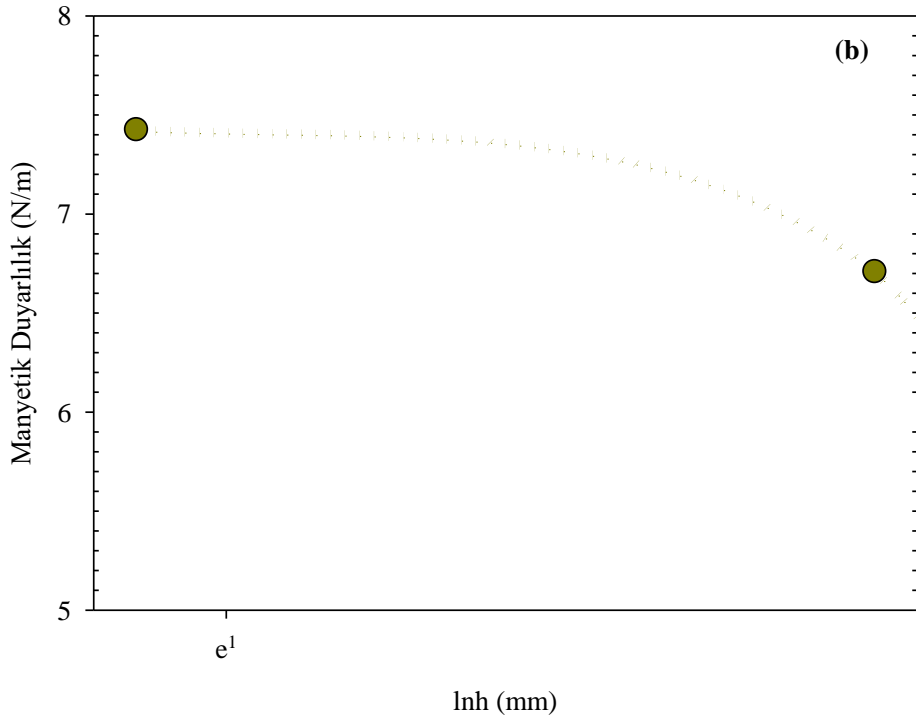
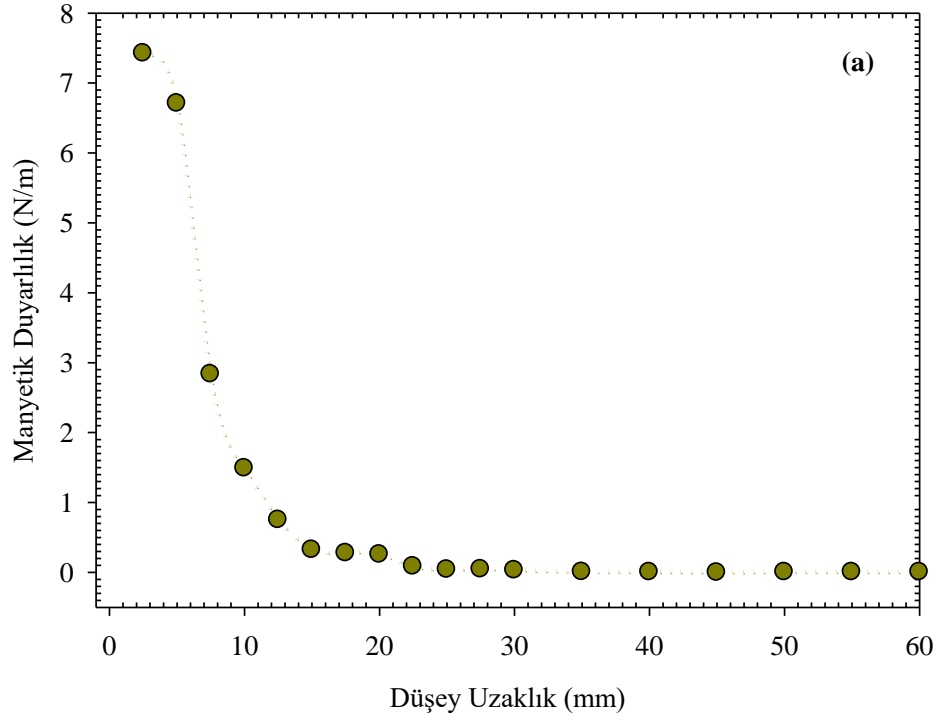
Şekil 4.48. de sinterlenerek (hava ortamında) üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.48.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY7 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,015'lik artış değerlerini aldığı ve 0,001-0,02 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **5,81 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.48 den görülmektedir.



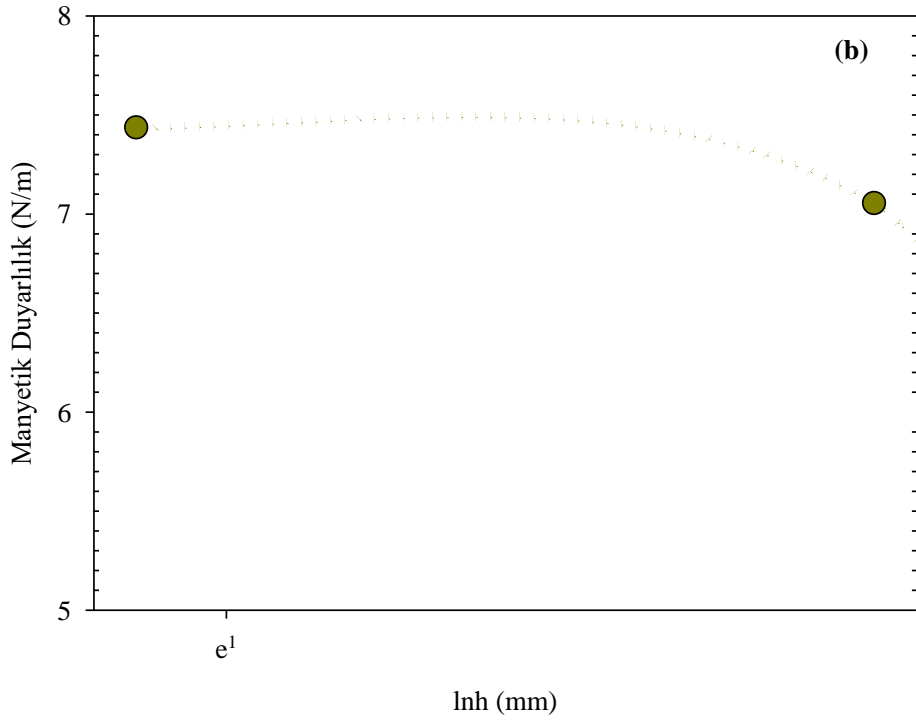
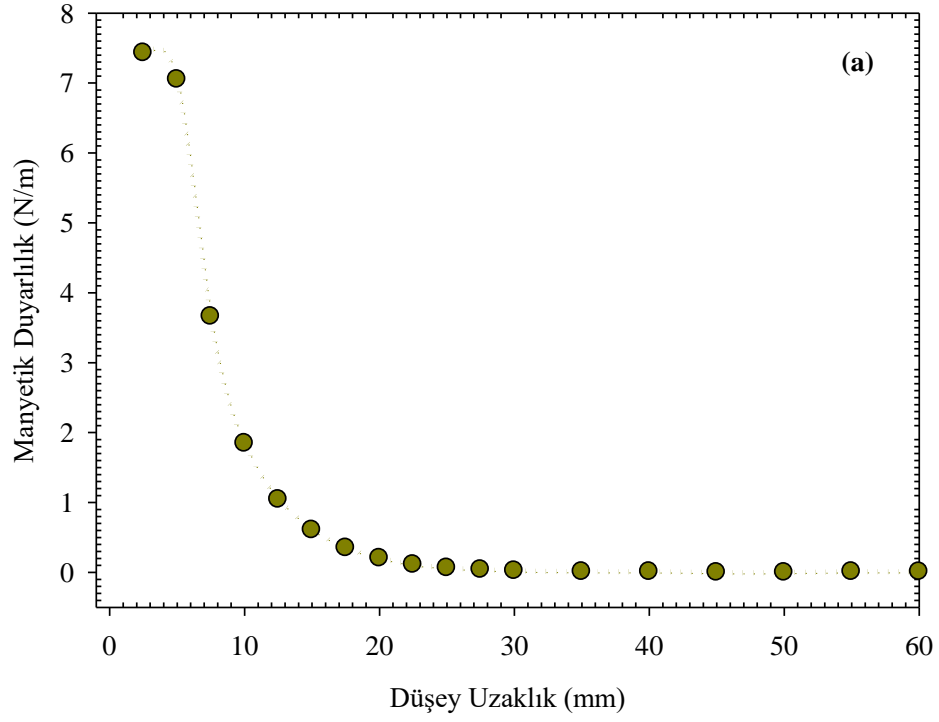
**Şekil 4.49.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



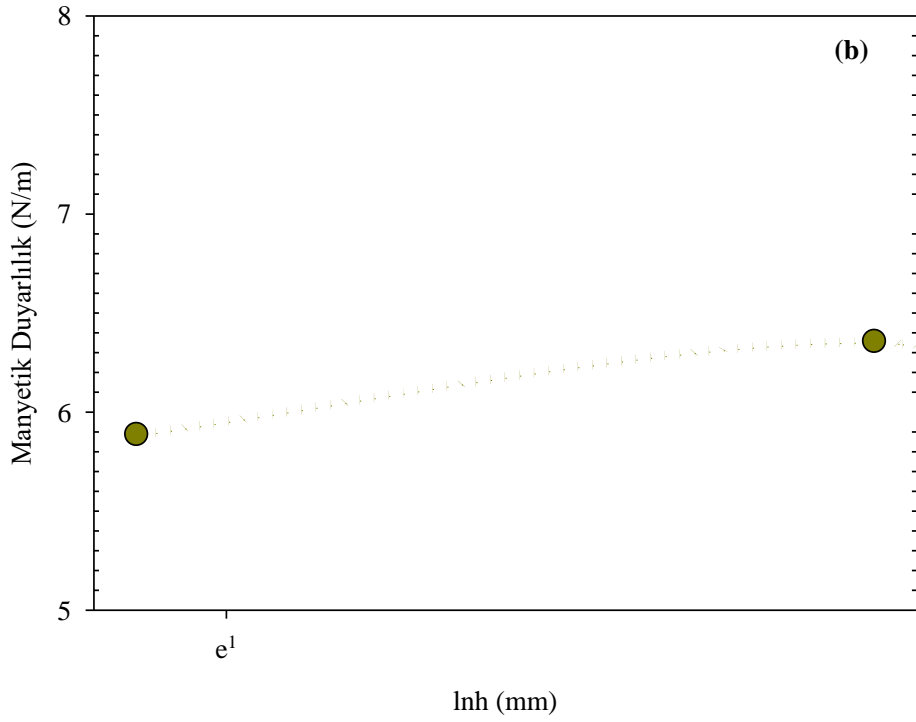
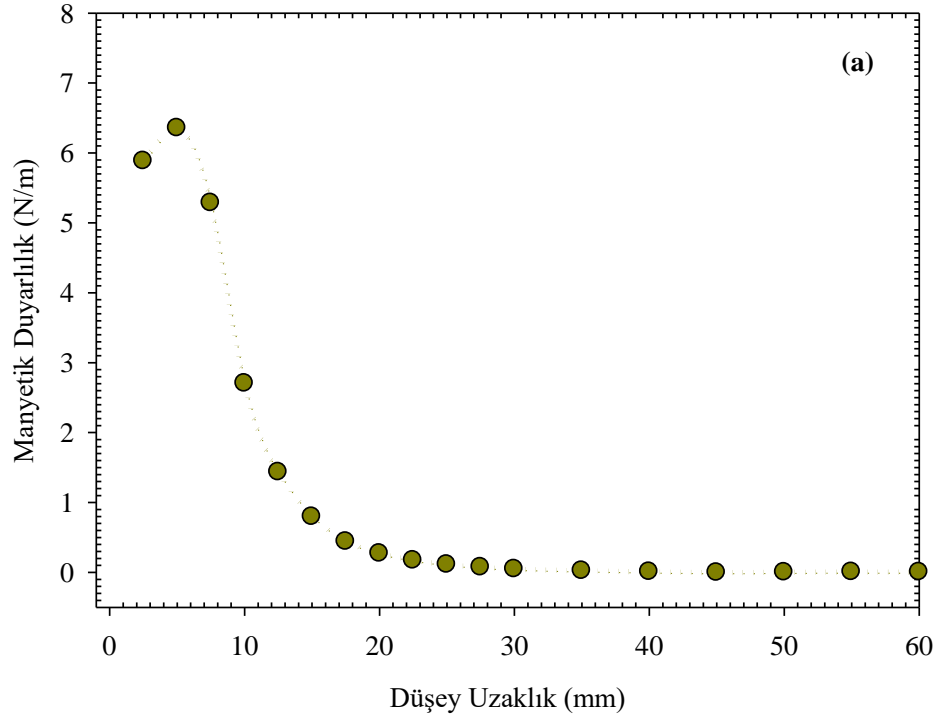
**Şekil 4.50.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



**Şekil 4.51.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

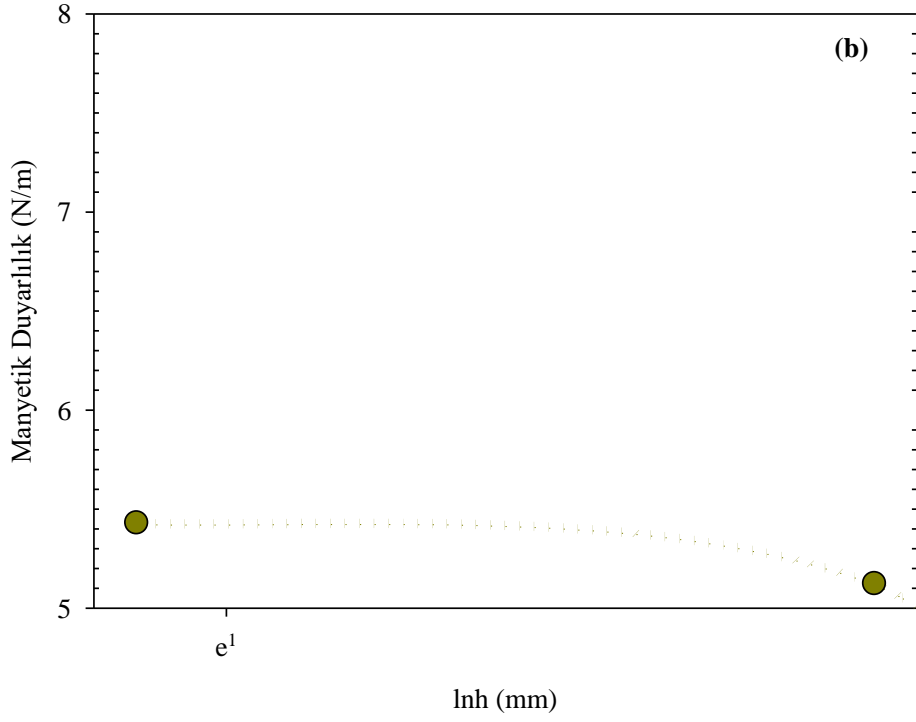
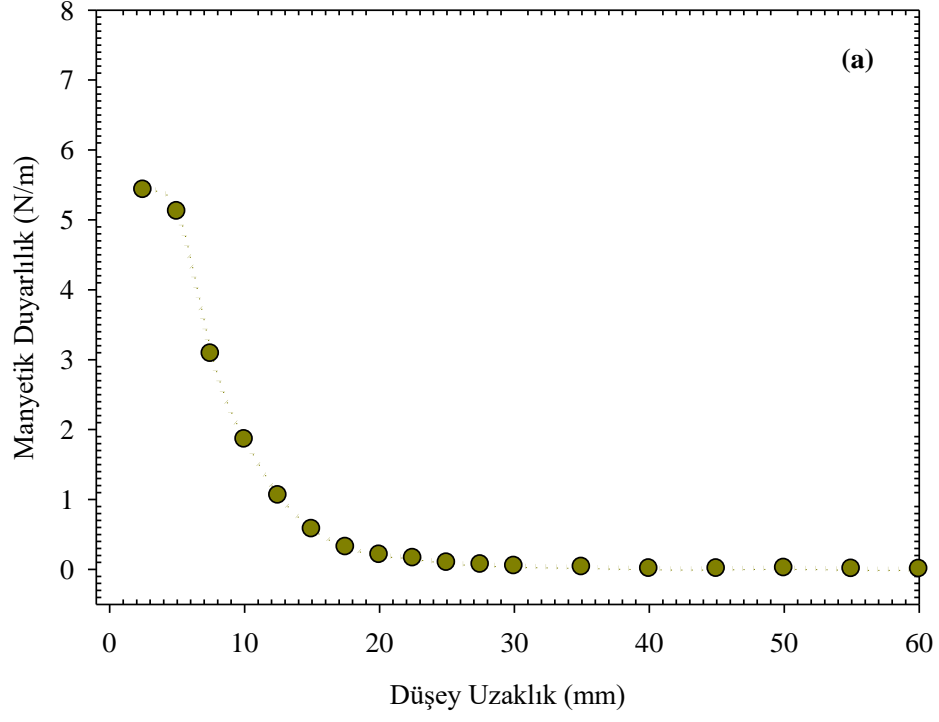


**Şekil 4.52.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık  $\ln h$ 'a bağlı değişimi



**Şekil 4.53.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık  $\ln h$ 'a bağlı değişimi





**Şekil 4.54.** 12 saat 600 °C de oksijen verildikten sonra GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) manyetik duyarlılık düşey uzaklığa (b) manyetik duyarlılık  $\ln h$ 'a bağlı değişimi

Şekil 4.49. de tavlانarak (oksijen ortamında) üretilen GTYS numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.49.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTYS numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,015'lik artış değerlerini aldığı ve 0,01-0,02 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **7,16 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.49 den görülmektedir.

Şekil 4.50. de tavlانarak (oksijen ortamında) üretilen GTY3 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.50.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY3 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,001'lik artış değerlerini aldığı ve 0,001-0,002 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **6,61 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.50 den görülmektedir.

Şekil 4.51. de tavlانarak (oksijen ortamında) üretilen GTY4 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.51.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY4 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,04 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **7,42 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.51 den görülmektedir.

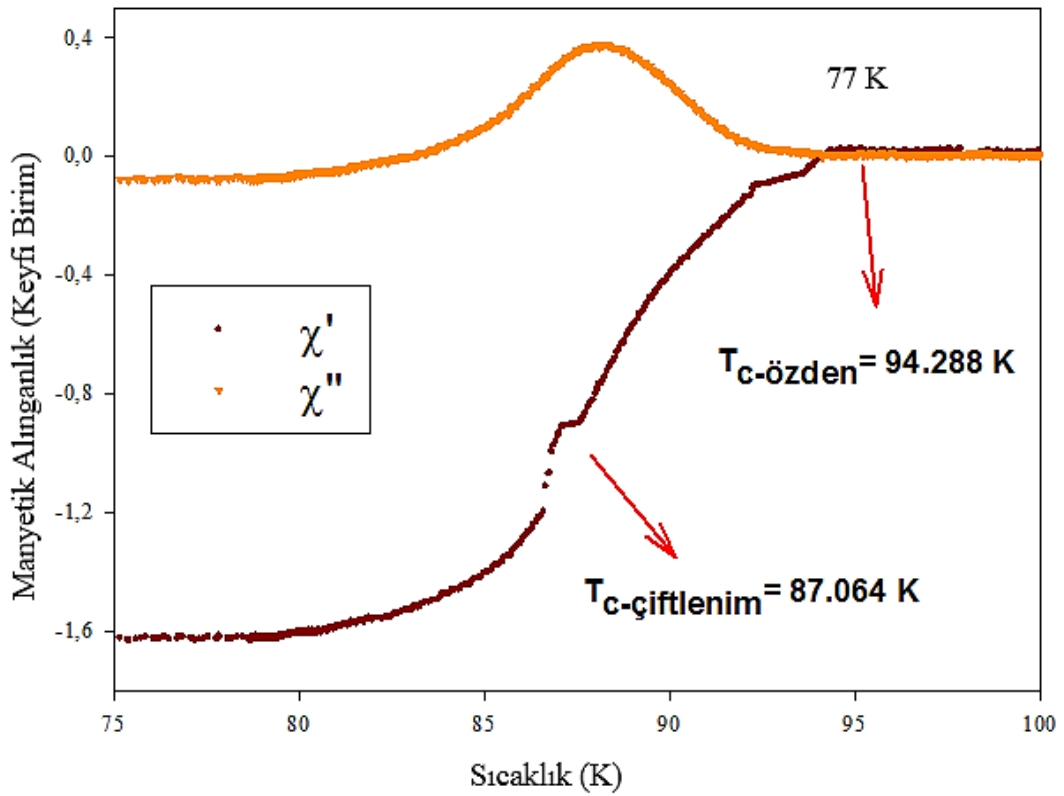
Şekil 4.52. de tavlansarak (oksijen ortamında) üretilen GTY5 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.52.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY5 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,01'lik artış değerlerini aldığı ve 0,01-0,02 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **7,43 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.52 den görülmektedir.

Şekil 4.53. de tavlansarak (oksijen ortamında) üretilen GTY6 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.53.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY6 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,02'lik artış değerlerini aldığı ve 0,02-0,04 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **5,88 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.53 den görülmektedir.

Şekil 4.54. de tavlansarak (oksijen ortamında) üretilen GTY7 numunesinin mıknatısa yaklaşırken (a) Manyetik Duyarlılığın düşey uzaklığa bağlı değişimi (b) Manyetik Duyarlılığın  $lnh'$  a bağlı değişimi görülmektedir. Şekil 4.54.(a) dan da görüleceği gibi manyetik duyarlılık, süperiletken GTY7 numunesinin sürekli mıknatısa olan uzaklığı 60-30 mm aralığında 30 mm'ye gelinceye kadar hemen hemen aynı 0,01'lik artış değerlerini aldığı ve 0,015-0,02 aralığında ki N/m değerlerinin sabit kabul edilebileceği görülmektedir. Uzaklığa göre kuvvet artışlarının daha yüksek değerler aldığı uzaklık aralığı ise 30-2,5 mm olduğu, bu aralığa bakıldığında en düşük uzaklık 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın **5,42 N/m** olarak ölçüldüğü Şekil 4.54 den görülmektedir.

#### 4.5. AC Alınganlık

Tohum olarak da kullanılan  $\text{Sm}_{1,46}\text{Ba}_{1,54}\text{Cu}_{3,20}\text{O}_y$ 'ya ait 4 Oe manyetik alan ve 1 KHz frekans değerlerinde 77 K sıcaklığında ölçülen a.c. alınganlık sonuçları Şekil 4.55'de gösterilmektedir. Şekil 4.55'den de görüleceği gibi özden kritik sıcaklığı 94.288 K ve çiftlenim kritik sıcaklığı 87.064 K olarak ölçülmüştür. Bu ölçüm, malzemenin ana yapısını oluşturan Sm123 kompozisyonunun süperiletken özellik gösterdiğini ispatlamaktadır. Belli bir sıcaklığın altına inildiği durumlarda malzemenin direncini kaybetmesi sonucu süperiletken hale geçtiği bilinmektedir (Sharma, 2015). Malzemenin ana yapısının süperiletken özellik gösterdiği levitasyon ölçümlerinin yanı sıra alınganlık ölçüm sonuçlarıyla desteklenmiştir.



Şekil 4.55.  $\text{Sm}_{1,46}\text{Ba}_{1,54}\text{Cu}_{3,20}\text{O}_y$  ait AC alınganlığın sıcaklığa bağlı değişimi

Benzer AC. alınganlık çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Gümüş altlık üzerinde üretilen ince film Y123 süperiletken numunesinin geçiş sıcaklık aralığını Zalecki vd., 89-91 K aralığında ölçmüşlerdir (R. Zalecki vd, 2012).
- Oksijende tavlannış Y123 tek kristal süperiletken numunesinin geçiş sıcaklığını Moreno ve Bekeris, 92,5 K lmşlerdir (Moreno ve Bekeris, 2000).
- 1060 C de üretilen Sm123 süperiletkeninin geçiş sıcaklığını Pinto vd., 90.6 K olarak ölçmüşlerdir (Pinto vd., 2013).
- Sakamoto ve Akune stten Tohumlama Yöntemi ile ürettikleri Sm123 süperiletkeninin geçiş sıcaklığını 92,5 K olarak ölçmüşlerdir (Sakamoto ve Akune, 2011).
- 1080 C de 1 saat bekletildikten sonra 1040 C ye soğutularak üretilen Sm1.8 numunelerinin değişik CeO<sub>2</sub> katkısıyla elde edilen geçiş sıcaklık değerleri 89,1-89,2-90,5 K olarak lmlmştir (Park vd., 1996).
- Lee vd., üstten tohumlama yöntemi ile Sm123 tohum kullanarak ürettikleri Y123 süperiletken numunelerinin geçiş sıcaklığını 89-92 K aralığında bulmuşlardır (Lee vd., 2011).

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin üretimine esas olan tohumlama yöntemi iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler;

- i. Üstten tohumlama yöntemi ile  $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.20}O_y$  tohumu kullanılarak Sm-YBCO karışımından oluşan yapı içerisinde üretimi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda üstten tohumlama yönteminin araştırılması için en az 0-1700 °C'lik çalışma sıcaklık aralığına sahip yüksek sıcaklık fırınları gerektirdiği görülmüştür.
- ii. Gömülü tohumlama yöntemi kullanılarak eritme ile malzeme üretimi yapılmıştır. Bu yöntemde üretilen malzemelerin manyetik özellik açısından yapılan kaldırma kuvveti ölçümleri sonucu üstten tohumlama yöntemine göre daha iyi olduğu ölçülmüştür. Bu sebeple gömülü tohumla yönteminin geliştirilmeye ihtiyaç duyduğu açıktır.

Bu çalışmada denenmiş olan her iki yöntemde literatürde bahsedilen üstten tohumlama yönteminden, tohumlamanın kullanıldığı ana yapının % 50 Sm123 ve % 50 Y123 yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin karışımının kullanılmasıyla tamamen farklıdır. Böylece üretimi yapılan malzemelerin manyetik kaldırma kuvvetleri sonuçları hemen hemen literatürde belirtilen sonuçlarla eşit veya daha yüksek elde edilmiştir.

Üretilen tohumun ve ana yapının yapısal ve fiziksel özellikleri

- 1- X-Işını sonuçlarına göre üretimi yapılan malzemelerin kristal oluşumlarının gerçekleştiği ve literatürle uyum içerisinde olan genel yapının tetragonal ve çoğunlukla ortorombik birim örgü hücrelerine sahip olduğu Çizelge 4.2 de verilen örgü parametreleri değerlerinden görülmektedir.
- 2- Elektron mikroskopu görüntüsü (SEM), Fotoğraf 4.1 de Sm123 ana yapısını oluşturan  $Sm_{1.46}Ba_{1.54}Cu_{3.20}O_y$  bileşiğinin yapısı sütünsal büyüme göstermiş ve bu

sütünsal yapı tabakalar halinde üst üste binerek oluşmuştur. En küçük tane boyutu  $1\ \mu\text{m}$  civarında iken en büyük tane uzunluğu yaklaşık  $4\ \mu\text{m}$  civarında olmuştur.

3- AC alınganlık ölçümleri sonucunda malzemenin süperiletkenlik kritik geçiş sıcaklığı  $T_C = 94.288\ \text{K}$  olarak ölçüldü. Bu sonuç bize malzemelerimizin kristalleştiği ve düşük sıcaklıklarda süperiletken hale geçtiğini göstermektedir.

4- Manyetik kaldırma kuvveti deneysel sonuçlarından,

Sinterleme işlemi sonucunda ÜTY ile üretilen numunenin permanent magnete uzaklığı  $2,5\ \text{mm}$  ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin en yüksek değeri ( $F_K$ ) **27,61 mN** olarak ölçüldü.

Sinterleme işlemi sonucunda GTY ile üretilen numunenin permanent magnete uzaklığı  $2,5\ \text{mm}$  ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin en düşük değeri GTYS numunesinde kaldırma kuvveti ( $F_K$ ) **27,12 mN**, en yüksek değeri de GTY7 numunesinde kaldırma kuvveti ( $F_K$ ) **33,86 mN**, olarak ölçüldü.

Tavlama işlemi sonucunda GTY ile üretilen numunenin permanent magnete uzaklığı  $2,5\ \text{mm}$  ye ulaşıldığında kaldırma kuvvetinin en düşük değeri GTYS numunesinde kaldırma kuvveti ( $F_K$ ) **39,72 mN**, en yüksek değeri de GTY6 numunesinde kaldırma kuvveti ( $F_K$ ) **51,56 mN**, olarak ölçüldü.

5- Manyetik kaldırma kuvveti deneysel sonuçları kullanılarak manyetik duyarlılık (Magnetic Stiffness) hesaplamaları yapıldı. Manyetik duyarlılık hesaplamalarında mesafe süperiletken ve sürekli mıknatıs arasındaki uzaklık azalırken alınan değerler kullanıldı.

Sinterleme işlemi sonucunda ÜTY ile üretilen numunenin permanent magnete uzaklığı  $2,5\ \text{mm}$  ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın en yüksek değeri **2,96 N/m** ölçüldü.

Sinterleme işleminin sonucunda GTY ile üretilen numunenin permanent magnete uzaklığı 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın en düşük değeri GTY4 numunesinde **4,08 N/m**, en yüksek değeri de GTY3 numunesinde **5,95 N/m** olarak ölçüldü.

Tavlama işleminin sonucunda GTY ile üretilen numunenin permanent magnete uzaklığı 2,5 mm ye ulaşıldığında manyetik duyarlılığın en düşük değeri GTY7 numunesinde **5,42 N/m**, en yüksek değeri de GTY5 numunesinde **7,43 N/m** olarak ölçüldü.

Manyetik duyarlılık (Magnetic Stiffness) hesaplamalarında, süperiletken ve sürekli mıknatıs arasındaki uzaklık artarken alınan değerlerin içerisinde süperiletkenlerin kendine has manyetik davranışı olan Meissner ve Girdap bölgelerinin aynı anda oluşması ve açık bir şekilde sonuçlarda karmaşa çıkaracağından dolayı bu sonuçlar kullanılmamıştır.



## KAYNAKLAR

- Abrikosov, A. A., “On the magnetic properties of superconductor of the second group”, *Soviet Phys. JETP*, 5, 1174, 1957.
- Akbulut, Ş., “Eritme yöntemi ile üretilen külçe (Sm123)<sub>1-x</sub>(Yb211)<sub>x</sub> süperiletkeninin, manyetik akı çivileme ve kaldırma kuvveti özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 2010.
- Arkadiev, V., “A Floating Magnet”, *Nature*, 160, 330, 1947.
- Arkadiev, V., “Hovering a Magnet over a Superconductor”, *Journal. Phys. (USSR)*, 9, 148, 1945.
- Ateş, A., “YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> süperiletkenlerinin “Eritme-Hızlı Soğutma-Büyütme” metodu ile üretilmesi, yapısal ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 2-3, 1998.
- Aydiner, A., Yanmaz, E., Çakır, B., Başoğlu, M. ve Karaoğlu, K., “Tek ve Çoklu Külçe Süperiletkenlerde Tuzaklanan Manyetik Alanın Hesaplanması ve Külçe Süperiletken Üretimi”, *Proje No: 107T751, Tübitak Projesi*, 2011.
- Babu, N. H., Shi, Y. H., Pathak, S.K., Dennis, A.R. and Cardwell, D.A., “Developments in the processing of bulk (RE)BCO superconductors”, *Physica C*, 471, 2011.
- Barden, J., Cooper, L. N. and Schrieffer, J. R., “Theory Of Superconductivity”, *Physical Review*, 108, 1175, 1957.
- Bean, C. P., “Magnetization of Hard Superconductors”, *Phys. Rev. Lett.* 8,6, 250-253, 1962.
- Bednorz, J.G. and Muller, K.A., “Possible High Tc Superconductivity in the La-Ba-Cu-O System”, *Z.Phys. B-Condensed Matter*, 64, 189-193, 1986.
- Bierlich, J., Habisreuther, T., Litzkendorf, D., Dubs, C., Müller, R., Kracunovska, S. and Gawalek, W., “Growth and investigation of melt-textured SmBCO in air for preparation of Sm123 seed crystal”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, 194–197, 2005.

- Boffaa, M., Cucolo, A.M., Cucolo, M.C. and Monaco, R., “Realization of highly epitaxial (Y,Nd,Sm)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> films for microwave applications”, *Physica C*, 384, 419–424, 2003.
- C. P. Bean., “Magnetization of High-Field Superconductors”, *Review of Modern Physics*, 36, 31-38, 1964.
- Calzona, V., Cimberle, M. R., Ferdeghini, C., Putti, M. and Siri, A. S., “AC Susceptibility and Magnetization of High-Tc Superconductors: Critical State Model for the intergranular Region”, *Physica C.*, 157, 425-430, 1989.
- Cansız, A., Force, Stiffness and Hysteresis Losses in High Temperature Superconducting Bearings, , Phd Thesis, *Illinois Institute of Technology*, Chicago, 3, 1999.
- Cava, R. J., Batlogg, B., Chen, C. H., Rietman, E. A., Zahurak, S. M. and Werder, D., “Oxygen stoichiometry, superconductivity and normal-state properties of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub>”, *Nature*, 329, 423, 1987.
- Chen, I. G., Chang, F. C. and Wu, M. K., “Enhancement of the superconducting properties of air-processed melt-growth Sm–Ba–Cu–O with the addition of Sm<sub>2</sub>BaO<sub>4</sub>”, *Supercond. Sci. Technol.*, 15, 717–721, 2002.
- Choi, J. S, Park, S. D., Jun, B. H., Han, Y. H., Jeong, N. H., Kim, B. G., Sohn J. M. and Kim C.J., “Levitation force and trapped magnetic field of multi-grain YBCO bulk superconductors”, *Physica C*, 468, 1473–1476, 2008.
- Chun, Y. D. and Lee, Ju., “Comparison of magnetic levitation force between a permanent magnet and a high temperature superconductor using different force calculation methods”, *Physica C*, 372–376 1491–1494, 2002.
- Coote, R. I., Campbell, M. A. and Evetts, J. E., “Flux Line Pinning by Large normal Particles in Type-II Superconductors”, *Canad. J. Phys.*, 50, 421-427, 1972.
- Dikici, M. ve Nezir, S., “Süperiletkenlik, Katıhal Fiziği”, *Seçkin Yayıncılık*, 2.Baskı, Ankara, 11.Bölüm, 345, 2012.
- El-Husseini, M. H., Bennani, A., Spronck, J. W., Polinder, H., Eijk, J., and Compter, J. C., “7<sup>th</sup> International Symposium on Magnetic Suspension Technology”, 37-43, 2003.

Eugene, I. R., “Stiffness and Damping in Mechanical Design”, *Marcel Dekker Inc.*, New York Basel, 1999.

Fröhlich, H., “Theory of Superconducting State. I. The Ground State at the Absolute Zero of Temperature”, *Physical Review*, 79, 5, 845-856, 1950.

Fujimoto, H., “Technical Issues of a High-Tc Superconducting Bulk Magnet”, *Supercond. Sci. Technol.*, 13, 827-829, 2000.

Fujimoto, H., Kamijo, H., Higuchi, T., Nakamura, Y., Nagashima, K., Murakami, M. and Yoo, S.I., “Preliminary Study of a Superconducting Bulk Magnet for the Maglev Train”, *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, 9, 2, 301-304, 1999.

Fujimoto, H., Murakami, M., Gotoh, S., Shiohara, Y., Koshizuka, N. and Tanaka, S., “Melt Processing of YBaCuO Oxide Superconductors”, *Adv. Supercond.*, 1., 285-288, 1989.

Ginzburg, V. L. and Landau, L. D., “On The Theory Of Superconductivity”, *Zh.Exsperim, i Thor. Fiz.* 20, 1064, 1950.

Ginzburg, V.L. and Andryushin, E.A., “Superconductivity”, *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*, Singapore, 371, 2004.

Goldfarb, R. B., Lelental, M. and Thompson, C.A., “Alternating-Field Susceptometry and Magnetic Susceptibility of Superconductors”, *Plenum Press*, New York, 1992.

Goldfarb, R.B., Lelental, M. and Thompson, C.A., “Alternating-Field Susceptometry and Magnetic Susceptibility of Superconductors”, Published in: Hein, R.A., Francavilla, T.L., Liebenberg, D.H. (Editors), *Magnetic Susceptibility of Superconductors and Other Spin Systems*, *Plenum Press*, New York, 1991.

Grossin, D., Harnois, C., Marinel, S. and Noudem, J.G., “YBCO bulk superconductor, prepared by top-seed floating zone under microwave heating”, *Journal of the European Ceramic Society* 25, 2939–2942, 2005.

Hazen, R. M., Finger, L. W., Angel, R. J., Prewitt, C. T., Ross, N. L., Hadidiacos C. G., Heaney P. J., Veblen, D. R., Sheng, Z. Z., El-Ali, A. and Hermann, A. M., “100 K Superconducting Phases in the Tl-Ca-Ba-Cu-O System”, *Phys. Rev. Lett.*, 60, 16, 1657-1660, 1988.

- Hsieh, P. C., Chen, S. Y., Chen, I. G. and Wu, M. K., “Flux pinning at high magnetic field in melt-processed  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  with nanocrystalline  $\text{Sm}_{211}/\text{Nd}_{422}$  additives”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, 111–118, 2005.
- Hu, J., Yao, X., Fu, Z., Zeng, X. and Zhang, X., “RE123 epitaxial growth on  $\text{Sm}_{211}$  whiskers”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, 587–591, 2005.
- Hull, J., R., “Superconducting Bearings”, *Supercond. Sci. Technol.*, 13, R1-R15, 2000.
- Iida, K., Babu, N. H., Shi, Y. and Cardwell, D. A., “Seeded infiltration and growth of large, single domain Y–Ba–Cu–O bulk superconductors with very high critical current densities”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, 1421–1427, 2005.
- Ikedo, Y., Takano, M., Hirio, Z., Oda, K., Kitaguchi, H., Takada, J., Miura, Y., Takeda, Y., Yamamoto, O. and Mazaki, H., “The High-Tc Phase with a New Modulation Mode in the Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O System”, *Jpn. Journal of App. Phys.*, 27, 11, 2067-2070, 1988.
- Jia-Zhan Chen “Study of top seed melt growth process  $\text{SmBaCuO}$  Bulk”, Phd Thesis, *National Cheng Kung Univ.* Material Science and Engineering, P 99, 2002.
- Jin, S., Tiefel, T. H., Sherwood, R. C., Dover, R. B., Davis, M. E., Kammlott, G. W. and Fastnacht, R. A., “Melt-texture growth of polychrystalline  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  with high transport  $J_c$  at 77 K”, *Phys. Rev. B.*, 37, 7850, 1988.
- Jun, B., H., Jung, S.-A., Park, S.-D., Park, B.J., Han, Y.H. and Kim, C.-J., “Effects of  $\text{Y}_2\text{O}_3$  additions on the oxygen diffusion in top-seeded melt growth processed  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  superconductors”, *Physica C*, 471, 876–879, 2011.
- Karaca, İ., “Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerin Üretimi ve Katkı Maddelerinin Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 2, 2001.
- Kaya, F., “Termal Analiz Yöntemleri”, Ders Notu, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 2012.
- Kim, C. J., Jee, Y. A., Lee, K. W., Sung, T. H., Chulhan, S., Kuk, I. H. and Hong, G. W., “Low temperature melt process of  $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  using a liquid infiltration technique”, *Applied Superconductivity*, 6, 149-156, 1998.

Komatsu, T., Sato, R., Meguro, H., Matusita, K. and Yamamashita, T., “Effect of Cooper content on Glass Formation and Superconductivity in the Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O System”, *J. Material Science*, 26, 683-688, 1991.

Kondoh, A., Kagiya, S., Takaichi, H, Sakai, N., Murakami, M., Fujimoto, H., Nakamura, N., Koshizuka, N. and Tanaka, S., “Proc. Int. Workshop on Superconductivity”, *ISTEC-MRS, Honolulu, Hawaii*, 272, 1992.

Koyama, S., Endo, U. and Kawai, T., “Preparation of Single 110 K Phase of the Bi-Sr-Ca-Cu-O Superconductor”, *Jpn. Journal of App. Phys.*, 27, 10, 1861-1863, 1988.

Krabbes, G., Fuchs, G., Canders, W.R., May, H. and Palka R., “High Temperature Superconductor Bulk Materials: Fundamentals-Processing-Properties-Control-Application Aspects”, *John Wiley & Sons Ltd.*, England, 202, 2006.

Krauns, Ch., Sumida, M., Tagami, M., Yamada, Y. and Shiohara Y. Z., “Solubility of RE elements into Ba-Cu-O melts and the enthalpy of dissolution”, *Phys. B*, 96, 207-212, 1994.

Kuznetsov, M., Krauns, C., Nakamura, Y., Izumi, T. and Shiohara, Y., “Ternary phase diagram of Sm<sub>1.5</sub>-BaO-CuO<sub>y</sub> System for melt Processing”, *Physica C*, 357-360, 1068-1072, 2001.

Lee, B. J., and Lee, D. N., “Thermodynamic Evaluation for The Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-BaO-CuO<sub>x</sub> System”, *J. Am. Ceram. Soc.*, 74, 78-84, 1991.

Lee, J. H., Jun, B. H., Park, S. D., Park, B.J., Han, S. C., Lee, S. H. and Kim, C. J., “Suppression of samarium diffusion in top seeded melt growth processed Y123 superconductors using a Sm123 seed”, *Physica C*, 471, 863-866, 2011.

Lindemer, T. B., Hunley, J. F., Gates, J. E., Sutton, A. L., Brynestad, J., Hubbard, C. R. and Gallagher P. K., *J. Am. Ceram. Soc.*, 72, 1775, 1989.

London, F. H., “The Electromagnetic Equation of Supraconductor”. *Proc. Roy. Soc.*, London, A149, 71, 1935.

Maeda, A., Noda, K., Uchinokura, K., and Tanaka, S., “Study on the preparation and the physical properties of a 110 K (Bi,Pb)<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> Superconductor”, *Jpn. Journal of App. Phys.*, 28, 4, 576-579, 1989.

- Maeda, H., Tanaka, Y., Fukitomi, M. and Asano, T., “A New-High Tc Oxide Superconductor without a Rare Earth Element”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 27, 2, 209-210, 1988.
- Matsushita, T., “Critical Current Characteristics in Superconducting Oxides with High Critical Temperature”, *World Scientific, Progress in High Temperature Superconductivity*, 15, 49-56, 1988.
- Maxwell, E., “Isotope Effect in Superconductivity of Mercury”, *Physical Review*, 78, 477, 1950.
- Mazaki, H., Takano, M., Takada, J., Kitaguchi, H., Miura, Y., Ikeda, Y., Tomii, Y. and Kubozoe T., “Complex Susceptibility of Bi,Pb-Sr-Ca-Cu-O Superconductors”, *Jpn. Journal of App. Phys.*, 27, 1639-1641, 1988.
- Meignan, T., McGinn, P.J. and Varanas, C., *Supercond. Sci. Technol.*, 10, 109, 1997.
- Meissner, W.H. and Ochsenfeld, R., “Kurze Originalmitteilungen”, *Die Naturwissenschaften*, 21, 787, 1933.
- Michel, C., Hervieu, M., Borel, M. M., Gradlin, A., Deslandes, F., Provost, J. and Raveau, B., “Superconductivity in the Bi-Sr-Cu-O System” *Z. Phys. B-Condensed Matter*, 68, 421-423, 1987.
- Minxian Liua and Yan Wang, *Physica C*, 472, 75–77, 2012.
- Mizutani, U., Latha, B., Yoshikawa, M., Yanagi, Y., Yamada, T., Itoh, H. and Ikuta, H., “Position dependence of superconducting properties of large single domain Sm–Ba–Cu–O bulk superconductors prepared under various conditions”, *Physica C*, 392–396, 521–525, 2003.
- Moon, F.C., “Superconducting Levitation: Applications to Bearings and Magnetic Transportation”, *John Wiley & Sons*, New York, 110, 1994.
- Moon, F.C., “Superconducting Levitation”, *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, 2<sup>nd</sup> edition, Weinheim, 1<sup>st</sup> chapter, 4, 2004.
- Moreno, A.J. and Bekeris, V., “AC susceptibility in deoxygenated YBCO single crystals”, *Physica C*, 329, 178–184, 2000.
- Morita, M., Takebayashi, S., Tanaka, M. and Kimura, K., *Adv. Superconductor*, 3, 733, 1991.

- Murakami, M., “Measurements of Trapped-Flux Density for Bulk High-Temperature Superconductors”, *Physica C*, 357-360, 751-754, 2001.
- Murakami, M., “Melt Processed High-Temperature Superconductors”, *World Scientific, Singapore*, 1992.
- Murakami, M., Morita, M., Doi, K. and Miyamoto, K., “A New Process with the Promising of High  $J_c$  in Oxide Superconductors”, *Jpn. J. Apply. Phys.*, 28, 1189, 1989.
- Murakami, M., Oyama, T., Fujimoto, H., Gotoh, S., Yamaguchi, K., Shiohara, Y., Koshizuaka, N. and Tanaka, S., “Melt Processing Of Bulk High  $T_C$  Superconductors and Their Application”, *IEEE Transactions On Magnetism*, 27, 2, 1479-1486, 1991.
- Murakami, M., Sakai, N., Higuchi, T. and Yoo, S. I., “Melt-processed light rare earth element-Ba-Cu-O”, *Supercond. Sci. Technol.*, 9, 1015-1032, 1996.
- Muralidhar, M., Jirsa, M., Sakai, N. and Murakami, M., “Progress in melt-processed (Nd–Sm–Gd)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> superconductors”, *Supercond. Sci. Technol.* 16 R1–R16, 2003.
- Nagashima, K., Otani, T. and Murakami, M., *Physica C*, 328, 137-144, 1999.
- Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M. and Hirabayashi, I., “Formation of defects in precursors for melt-textured RE–Ba–Cu–O superconductors and effect of organic binder addition”, *Physica C*, 463–465, 308–313, 2007.
- Nariki, S., Sakai, N., Murakami, M. and Hirabayashi, I., “High critical current density in RE–Ba–Cu–O bulk superconductors with very fine RE<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> particles”, *Physica C*, 412–414, 557–565, 2004.
- Nikolo, M. and Goldfarb, R. B., “Flux Creep and Activation Energies at the Grain Boundaries of Y-Ba-Cu-O Superconductors”, *Phys. Rev. B.*, 39, 10, 6615-6618, 1989.
- Nishimura, Y., Doktora Tezi, *PhD. Dissertation*, Tohoku University, 1996.
- Nobuyoshi Sakamoto and Tadahiro Akune, “AC Susceptibility Studies of Anisotropy in Sm-123 Superconductors”, *IEEE Transactions On Applied Superconductivity*, 21, 2011.
- Ogawa, N., Hirabayashi, I. and Tanaka, S., “Preparation of a high- $J_c$  YBCO bulk superconductor by the platinum doped melt growth method”, *Physica C.*, 177, 101-105, 1991.

Onnes H.K., *Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden*, 119-120 ve 122, 1911.

Öztürk, K., “Gadolinium ve iterbiyum difüzyonunun  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  bileşiğinin yapısal ve süperiletkenlik özelliklerine etkisi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 2006.

Park, H. W., Kim, K. B., Lee, K. W., Kuk, I. H., Hong, G. W. and Kim, C. J., “Sm<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> refinement via an attrition milling and CeO<sub>2</sub> addition in Sm-Ba-Cu-O systems melt-textured at oxygen partial pressures of 0.001–1 atm” *Supercond. Sci. Technol.* 9, 694–705, 1996.

Park, S. D., Jun, B. H., Park, B. J., Jung, S. Y., Seong, B. S. and Kim, C. J., “Effects of oxide coating on the growth of single grain YBCO bulk superconductors”, *Physica C*, 469, 1161–1164, 2009.

Pinto, J. N., Passos, C. A., Orlando, M. T. and Rouver, A., “Investigation of the influence of grain boundary on the magnetic properties of superconducting ceramics of Sm-123”, *Blucher Proceedings*, 2013.

Ren, H. T., Xiao, L., Jiao, Y.L. and Zheng, M. H., “Processing and characterization of YBCO superconductors by top-seeded melt growth method in batch process”, *Physica C*, 412–414, 597–601, 2004.

Rose-Innes, A.C. and Rhoderick, E.H., “Introduction to Superconductivity”, 2<sup>nd</sup> edition, *Pergamon Press Ltd.*, England, 1980.

Sakamoto, N. and Akune, T., “AC Susceptibility Studies of Anisotropy in Sm-123 Superconductors”, *Transactions on Applied Superconductivity*, 21, 3, 2011.

Salama, K., Selvamanickam, B., Gao, L. and Sun, K., “Influences of Y<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> particle size and content on the transport critical current density of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> superconductor”, *Apply. Phys. Lett.*, 54, 2352, 1989.

Sangster, A. J., “Fundamentals of Electromagnetic Levitation”, *Published by The Institution of Engineering and Technology*, London, 1<sup>st</sup> edition, 7<sup>nd</sup> chapter, 152-157, 2012.

Sawano, K., Morita, M., Tanaka, M., Sasaki, T., Kimura, K., Takebayashi, S., Kimura, M. and Miyamoto, K., *Jpn. J. Appl. Phys.*, 30, 1157, 1991.



- Schilling, A., Cantoni, M., Guo, J. D. and Ott, H. R., *Nature*, 363, 56, 1993.
- Schukken, M., S., Roy, R., E. and Cox, R. H., *Polimer Science*, Part C., 6, 18, 1964.
- Sharma R, G., “Superconductivity Basics and Applications to Magnets”, *Springer Series in Materials Science*, Switzerland, 214, 2015.
- Sheng, Z. Z, and Hermann, A. M., “Superconductivity in Rare-Earth-Free Tl-Ba-Cu-O System Above Liquid-Nitrogen Temperature”, *Nature* 332, 55-59, 1988.
- Shi, Y., Babu, N. H. and Cardwell, D. A., “Development of a generic seed crystal for the fabrication of large grain(RE)–Ba–Cu–O bulk superconductors”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, 13–16, 2005.
- Shiohara, Y. and Endo, A., “Chrystal growth of bulk high-Tc Superconducting oxide materials”, *Materials Science and Engineering*, [nature.com](http://nature.com), 19, 1-86, 1997.
- Simon, I., “Forces Acting on Superconductors in Magnetic Fields”, *Journal Apply. Phys.*, 24, 19, 1953.
- Sun, L., Li, W., Liu, S., Mertelj, T. and Yao, X., “Growth of a high performance SmBCO bulk superconductor with the addition of a Sm<sub>2</sub>Ba<sub>4</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>9</sub> phase”, *Supercond. Sci. Technol.*, 22, 125008, 2009.
- Umakoshi, S., Ikeda, Y., Wongsatanawarid, A., Kim, C.-J. and Murakami, M., “Top-seeded infiltration growth of Y–Ba–Cu–O bulk superconductors”, *Physica C*, 471, 843–845 2011.
- Varanasi, C. and McGinn, P. J., “Y<sub>2</sub>BaCuO<sub>5</sub> Particle Coarsening During Melt Texturing”, *Mater. Lett.*, 17, 205, 1993.
- Wang, F. and Lee, D. H., “The electron-pairing mechanism of iron-based superconductors”, *Science*, 332, 6026, 2011.
- Wang, L., “Chemical solution deposition for YBCO Superconducting films and Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> buffer layers on single chrystal and biaxially textured metallic substrates”, PhD Thesis, Institue Superconducting and Electronic Materials, Faculty of Engineering *University of Wollongong*, Australia, 2011.

- Wu, M.K., Ashburn, J. R., Torng, C. J., Hor, P. H., Meng, R.L., Gao, L., Huang, Z. J., Wang, Y. Q. and Chu, C. W., “Superconductivity at 93 K in a New Mixed-Phase Y-Ba-Cu-O System at Ambient Pressure”, *Phys. Rev. Lett.* 58, 9, 908-910, 1987.
- Wu, X., Xu K. X., Qiu, J., Pan, P. and Zhou, K., “Effects of  $Y_2BaCuO_5$  content and the initial Temperature of slow-cooling on the growth of YBCO bulk”, *Physica C*, 468, 435–441, 2008.
- Wu, X., Xu, K. X. and Pan, P., “Study on single domain growth of Ag-doped Sm–Ba–Cu–O bulk using cold seeding technique”, *Physica C*, 469, 225–229, 2009.
- Yamachi, N., Sakai, N., Sawa, K. and Murakami, M., “Measurements of Three-Dimensional Fields of Bulk Superconductors in Varying External Fields”, *Supercond. Sci. Technol.*, 18, S67-S71, 2005.
- Yang, W.M., Zhou, L., Feng, Y., Zhang, P.X., Wang, J.R., Zhang, C.P., Yu, Z.M., Tang, X.D. and Wei, W., “The effect of magnet configurations on the levitation force of melt processed YBCO bulk superconductors”, *Physica C*, 354, 5-12, 2001.
- Yang, W. M., Zhou, L., Feng, Y., Zhang, P. X., Zhang, C. P., Yu, Z. M. and Tang, X. D., “The relationship of levitation force between single and multiple YBCO bulk superconductors”, *Physica C*, 371, 219–223, 2002.
- Yanmaz, E., Abell, J. S and Harris, I.R., “ $YBa_2Cu_3O_{7-y}$  Superconducting Oxides Obtained by Arc-Casting”, *Journal of the Less-Common Metals*, 164-165, 193-194, 1990.
- Yanmaz., E., Drake, A., Harris, I. R. and Abell, J.S., “Melt Processing of Powdered Arc-Cast  $YBa_2Cu_3O_{7-y}$  Materials”, *Journal of Alloys and Compounds*, 195, 23-26, 1993.
- Yaylacı, Eyüp, “DTA’nın Toz Analizinde Kullanılması”, Ders Notu, *Dumlupınar Üniversitesi*, Kütahya, 2010.
- Young, A. J., Hong, G. W., Kim, C. J. and Sung, T. H., “Dissolution of  $SmBa_2Cu_3O_{7-y}$  seed crystals during top-seeded melt growth of  $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ ”, *Supercond. Sci. Technol.* **11**, 650–658, 1998.
- Zalecki, R., Woch, W.M., Chrobak, M. and Kolodziejczyk, A., “Resistance and AC Susceptibility of YBCO 1:2:3 Films on Silver Substrates”, *Acta Physica Polonica A*, 121, 2012.

## ÖZ GEÇMİŞ

Nihat ŞİMŞEK 13.01.1974 tarihinde Nevşehir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’ de tamamladı. 1993 yılında girdiği Erciyes Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü’ nden 1998’ de mezun oldu. 1999 yılında MEB Mehmetçik İlköğretim Okulu’ nda öğretmenlik görevine başladı. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Başkanlığı’nda 2003 yılında başladığı yüksek lisans çalışmasını “Fe-%0,3Ni-%0,8Cr-%0,2Mn-%0,2V alaşımında ortaya çıkan faz dönüşümleri ve bunların fiziksel özelliklerinin incelenmesi” başlıklı tezini Şubat-2006 yılında vererek tamamladı. 2010 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında doktora öğrenimine başladı. Halen Fizik öğretmeni olarak MEB Bor Toki Anadolu Lisesi’nde görevine devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

## TEZ ÇALIŞMASINDAN ÜRETİLEN ESERLER

Bu tez çalışmasından, 1 (bir) adet uluslararası makale ve 4 (dört) adet uluslararası bildiri üretilmiştir.

Nihat ŞİMŞEK, İbrahim KARACA, “Embedded Sm123 Seed In To Y123 And Sm123 Superconductor Effects On Magnetic Levitation”, *BPL (Balkan Physics Letter)*, 23, 231008, pp. 70 – 81, .2015.

İbrahim Karaca, Nihat Şimşek, Şahin Ünlüer, Halil Uğur Taşdemir, “Sn Katkılı R-123 Süperiletkenlerine ait ESR Spektrumlarının İncelenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü. *20. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı*, P82, 26 Aralık, 2014.

İbrahim Karaca, Nihat Şimşek, M.İkbal Gökler, Deniz Yıldırım, “Sn Katkılı Sm-123 Süperiletkenlerinin Kaldırma Kuvveti Açısından İncelenmesi”, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü. *20. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı*, P84, 26 Aralık, 2014.

İbrahim Karaca, Nihat Şimşek, Deniz Yıldırım, “ESR studies of SnO added in Sm-Ba-Cu-O high-Tc superconductor”, *International Conference of Nanoscale Magnetism (ICNM-2013)*, September 2-6, İstanbul, Turkey.

İbrahim Karaca, Nihat Şimşek, “Amount Of The Sm-123 Seed Effect On The Y-123 High Temperature Superconductor”, *Türk Fizik Derneği 31. Uluslararası Fizik Kongresi*, 03-PP48, 21-24 Temmuz, 2014.